



**ТРУДЫ
КАРАДАГСКОЙ
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ
им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНОГО
ЗАПОВЕДНИКА РАН**

Выпуск 1(13)

2020

УДК 06 (477.75)

Главный редактор: Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук
Заместитель главного редактора: В. И. Мальцев, канд. биол. наук
Технические редакторы: Т. Ю. Горбунова, Л. В. Знаменская

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

П. Н. Баранов, д-р геол.-минерал. наук,
д-р геол. наук
М. М. Бескаравайный, канд. биол. наук
В. А. Боков, д-р геогр. наук
Ю. И. Будашкин, канд. биол. наук
Б. А. Вахрушев, д-р геогр. наук
Ю. В. Глибин
Н. А. Давидович, д-р биол. наук
А. В. Ена, д-р биол. наук
Е. И. Ергина, д-р геогр. наук
С. П. Иванов, д-р биол. наук
В. В. Майко, д-р ист. наук
В. А. Миноранский, д-р с.-х. наук
Е. Л. Неврова, д-р биол. наук

Э. Б. Петрова, д-р ист. наук
Ю. В. Плугатарь, чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук
Е. А. Позаченюк, д-р геогр. наук
М. А. Поляков, канд. биол. наук
В. В. Рожнов, академик РАН, д-р биол. наук
А. А. Родионов, канд. ист. наук
И. И. Руднева, д-р биол. наук
Ю. А. Силкин, канд. биол. наук
Т. Н. Смекалова, д-р ист. наук
А. А. Солдатов, д-р биол. наук
А. В. Фатерыга, канд. биол. наук
В. В. Фатерыга, канд. биол. наук
И. В. Флоринский, д-р техн. наук
А. Л. Чепальга, д-р геогр. наук

Все материалы, подаваемые в «Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН», проходят двойное независимое анонимное рецензирование

Издатели

Ассоциация по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных
«Живая природа степи»
347511, Ростовская область, Орловский район, пос. Орловский, ул. Пролетарская, д. 34.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О.Ковалевского РАН»
299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2.

Адрес редакции

ул. Науки, 24, пгт Курортное, г. Феодосия, Республика Крым, 298188
Телефон +7 36562 26212
E-mail: karadag.trudy@yandex.ru

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», 2020

Ассоциация по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных
«ЖИВАЯ ПРИРОДА СТЕПИ»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Научный журнал

Основан в мае 2016 г.

Периодическое издание

Выходит 4 раза в год

Выпуск 1 (13)
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Изучение биоразнообразия и экологический мониторинг

- Рябушко В.И., Козинцев А.Ф., Тоичкин А.М.* Содержание мышьяка в акватории Карадагского природного заповедника (Чёрное море) 3
- Троценко О.А., Ковригина Н. П., Лисицкая Е.В., Родионова Н.Ю., Капранов С. В., Еремин И.Ю.* Абиотические и биотические характеристики прибрежных вод района Карадага в мае 2019 г. 10
- Алёмов С.В., Алёмова А.С.* Структурные характеристики популяции двустворчатого моллюска *Lentidium mediterraneum* (O.G. Costa, 1829) в южной части Азовского моря . . . 20
- Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П.* Особенности вертикального строения древостоев коренных муссонных тропических лесов Вьетнама 27
- Le Van Huong, Nguyen Ngoc Kieng, Nguyen Dang Hoi, Dang Hung Cuong* Applying Multivariate Statistical Methods for Predicting Pinus Forest Fire Danger at Bidoup-Nui Ba National Park . 45

Экспериментальная гидробиология

- Головина И.В.* Особенности энергетического обмена и содержания низкомолекулярных антиоксидантов в тканях *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) и *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в нерестовый период 54

Географические, геологические и палеонтологические исследования

- Федоров В.М.* Контрастность годовых инсоляционных температур и тенденции многолетних изменений приповерхностной температуры воздуха 64
- Зуев А.В., Летухова В. Ю., Зуева Е.А.* Климатические изменения как фактор трансформации растительного покрова на примере Карадагского ландшафтно-экологического стационара . 77

Association for the Conservation and Recovery of Rare and Endangered Animals
«LIVING NATURE OF THE STEPPE»

Federal State Budget Scientific Institution
Federal Research Center

«A.O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF BIOLOGY OF THE SOUTHERN SEAS OF RAS»
T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION –
NATURE RESERVE OF THE RAS

PROCEEDINGS OF T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION – NATURE RESERVE OF THE RAS

Scientific Journal

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

Issue 1 (13)
2020

CONTENT

Biodiversity Researches and Environmental Monitoring

- Ryabushko V.I., Kozintsev A.F., Toichkin A.M.* Arsenic Concentrations in the Karadag Nature Reserve Area (Black Sea) 3
- Troshchenko O.A., Kovrigina N.P., Lisitskaya E.V., Rodionova N.Yu., Kapranov S.V., Eremin I.Yu.* Abiotic and Biotic Characteristics of Coastal Waters in the Karadag Area in May 2019 10
- Alyomov S.V., Alyomova A.S.* Population Characteristics of the Bivalve *Lentidium mediterraneum* (O.G. Costa, 1829) in the South Part of the Azov Sea 20
- Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P.* Features of the Vertical Structure of Stands of Indigenous Monsoon Tropical Forests of Vietnam 27
- Le Van Huong, Nguyen Ngoc Kieng, Nguyen Dang Hoi, Dang Hung Cuong* Applying Multivariate Statistical Methods for Predicting Pinus Forest Fire Danger at Bidoup-Nui Ba National Park 45
-

Экспериментальная гидробиология

- Golovina I.V.* Features of Energy Metabolism and Content of Low-Molecular Antioxidants in Tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) and *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Spawning Period 54
-

Geographical, Geological and Paleontological Researches

- Fedorov V.M.* Contrast of Annual Insolation Temperatures and Tendencies of Long Term Variations of Surface Air Temperature 64
- Zuev A.V., Letukhova V.Ju., Zueva E.A.* Climate Change as a Factor of the Vegetation Transformation on the Example of the Karadag Landscape-Ecological Stationary 77

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

УДК 594.124 : 574.64 (262.5)

СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В АКВАТОРИИ КАРАДАГСКОГО ПРИРОДНОГО
ЗАПОВЕДНИКА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)*

Рябушко В.И., Козинцев А.Ф., Тоичкин А.М.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: rabushko2006@yandex.ru

Выбросы загрязняющих веществ, способных оказывать токсическое воздействие на животных и растения, являются одним из основных факторов влияния человека на морские прибрежные экосистемы. Мышьяк широко присутствует в окружающей среде и имеет острые и хронические токсические свойства по отношению к гидробионтам и человеку. Загрязнение акваторий As может быть обнаружено в районах, изначально не связанными с активной деятельностью человека. Поэтому цель данной работы – исследование распределения мышьяка в воде, донных осадках и мягких тканях двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* в прибрежной акватории Карадагского природного заповедника (полуостров Крым, Чёрное море). Отбор проб воды, осадков и моллюсков проведены в 2017 г. в 96 рейсе, а также моллюсков в 1999 г в 53 рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Концентрация As в воде акватории заповедника изменялась в диапазоне от 6,78 до 16,6 мкг·л⁻¹, что меньше или ненамного превышало норматив ПДК в воде для рыбохозяйственных водоёмов. Концентрации As в донных осадках варьировали от 25,5 до 106,0 мкг·г⁻¹_{сух.} Концентрации мышьяка в мидиях из Карадагского заповедника значительно ниже предельно допустимых концентраций, установленных для пищевых продуктов.

Ключевые слова: мышьяк, вода, донные отложения, мидия *Mytilus galloprovincialis*, Карадагский заповедник, Чёрное море.

Введение

Мышьяк – распространённый в природе микроэлемент, и, в зависимости от концентрации, может проявлять токсичность по отношению к животным и растениям. Степень влияния As на живые организмы зависит как от интенсивного краткосрочного воздействия, так и от хронического многолетнего, что делает исследуемый микроэлемент важным загрязнителем природной морской среды (Smedley, Kinniburgh, 2002; Akter et al., 2005). Исследование концентрации токсикантов в морских гидробионтах имеет значение не только для изучения загрязнения морской среды, но и оценки возможного использования прибрежных акваторий для марикультуры. Для того, чтобы охарактеризовать прибрежные морские акватории по уровню загрязнения каким-либо элементом, необходимо иметь данные о его концентрации в морской воде, донных осадках и гидробионтах-биоиндикаторах.

В Чёрном море мидия является одним из самых распространённых двустворчатых моллюсков. Она является биофильтром, преобразующим потоки загрязняющих веществ, в том числе и As, и соответственно, биоиндикатором антропогенного воздействия на морскую среду. Двустворчатые моллюски имеют ряд преимуществ, как биоиндикаторы,

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А18-118021350003-6.

перед другими морскими организмами. Мидии ведут прикрепленный образ жизни, имеют фильтрационный тип питания, высокую толерантность к загрязняющим веществам, широкий ареал обитания, легкодоступны при отборе проб. С помощью организмов-индикаторов, таких как мидия, которые накапливают химические элементы в своих тканях в зависимости от концентрации этих поллютантов в водной среде, можно получить интегральную характеристику уровня загрязнения прибрежных акваторий (Goldberg, 1975; Rainbow, Phillips, 1993; Beliaeff et al., 1997; Goldberg, Bertine, 2000; Farrington et al., 2016; Beyer et al., 2017; Azizi et al., 2018).

Цель работы – исследование распределения мышьяка в воде, донных осадках и мягких тканях двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* в прибрежной акватории Карадагского природного заповедника (полуостров Крым, Чёрное море).

Материалы и методы

Материалом для исследований выбран двустворчатый моллюск *Mytilus galloprovincialis* Lam., обитающий в районе Карадагского природного заповедника. Пробы мидий собраны в 1999 г. в 53 рейсе НИС «Профессор Водяницкий», на глубине 45 м (рис. 1, станция № 5). Повторная экспедиция в этот район состоялась в 2017 г. в 96 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (рис. 1, станции № 1–4). Пробы донных осадков и моллюсков отобраны дночерпателями «ОКЕАН-50» и «Бокс-корер», пробы воды – кассетой батометров «Rozetta». Количество проб в 96 рейсе: воды – 14, грунта – 12, моллюсков – 20 на глубинах от 35 до 54 м. Данный район относительно благополучен по загрязнению, т. к. на территории заповедника отсутствуют какие-либо предприятия и отмечена малая плотность населения.

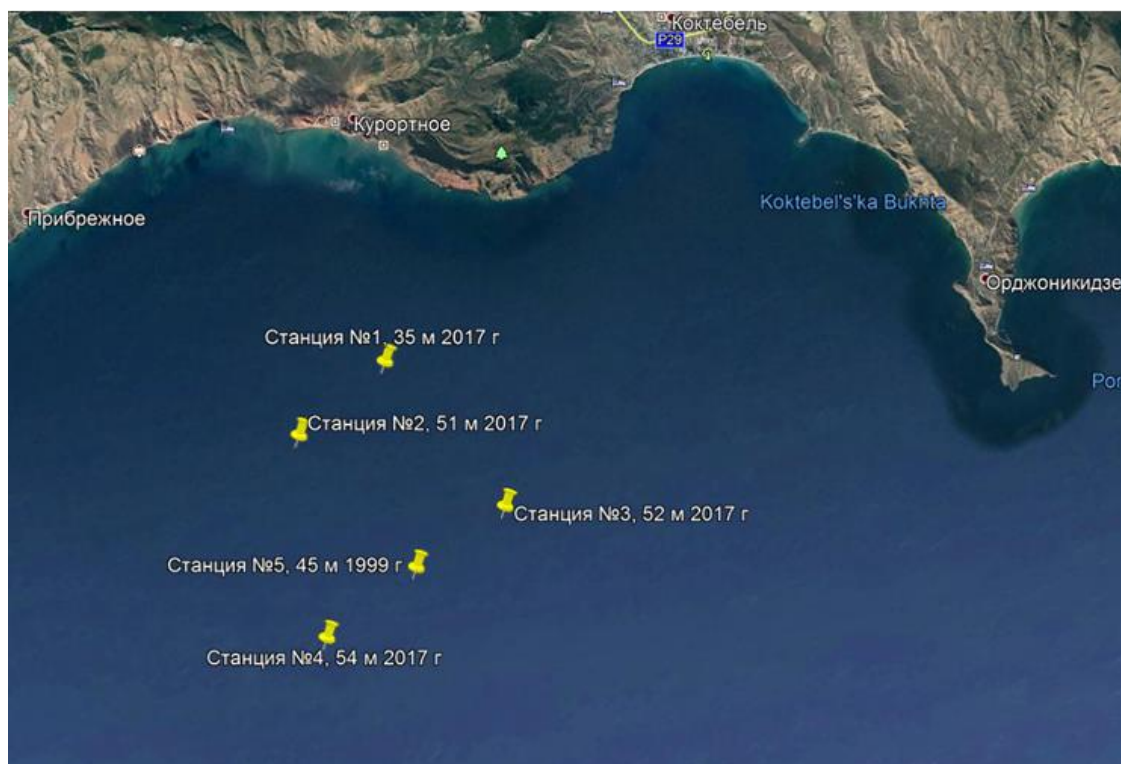


Рис. 1. Станции отбора проб в акватории Карадагского природного заповедника

Для анализа размерной структуры мидийных поселений у отобранных моллюсков измеряли длину створок с помощью штангенциркуля по наибольшему расстоянию от макушки до противоположного края раковины с точностью до 0,1 мм. Массу целой мидии, сырых мягких тканей и раковин определяли взвешиванием на аналитических

весах с точностью до 0,01 г. Индивидуальный возраст мидии определяли методом, разработанным В.Н. Золотаревым (Золотарев, 1974, 1989; Шурова, Золотарев, 1988), который основан на подсчете сезонных слоев роста в раковинах при их распиле. Для этого раковины мидии разрезали алмазной пилой по линии от макушки к заднему краю, чтобы на срезе были охвачены все последовательные линии нарастания слоёв. Срез шлифовали и подсчитывали слои роста при помощи бинокля МБС-10. Метод В.Н. Золотарёва даёт возможность определить возраст мидии с точностью до полугода.

Подготовку проб для определения концентрации As в пробах осуществляли методом сухого сжигания образцов в муфельной печи (ГОСТ 26929-94). Ткани мидии высушивали при температуре 105°C. Образцы использовали для анализа содержания As в мидии в зависимости от длины раковин и индивидуального возраста моллюсков. Анализ концентрации As в пробах моллюсков за 1999 г. проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра ААС-30, (Славин, 1971; Хавезов, Цалев, 1983). Концентрацию As в минерализате раствора проб, отобранных в 2017 г., определяли методом инверсионной вольтамперометрии с использованием анализатора АВА-3 (Методика ..., 2017). Определение массовой концентрации ионов As проведены с использованием метода добавок градуировочных растворов As, полученных из стандартного образца, концентрацией 1,0 мг·л⁻¹. Погрешность определения As в воде составляла 40 %, грунте – 10 %, мягких тканях – 15 % при доверительной вероятности P = 0,95. Пределы воспроизводимости R% при P = 0,95, m = 2 равны для воды – 35%, грунта – 25%, мягких тканей – 26%.

Для сравнения полученных данных с нормой предельно допустимых концентраций (ПДК) (Технический регламент ..., № 880) концентрацию As рассчитывали в мкг на 1 г сырой массы, используя коэффициент перехода от сырой массы к сухой, который для мягких тканей мидий, в среднем, равен 5,3 (Козинцев, 2006).

Результаты и обсуждение

Содержание мышьяка в морской воде. При оценке состояния окружающей среды можно использовать нормативы ПДК и безопасных уровней вредных веществ, растворённых в воде, влияющих на гидробионты (Приказ ... № 552). Согласно указанным нормативам ПДК As в воде для рыбохозяйственных водоёмов составляет 0,01 мг·л⁻¹ или 10 мкг·л⁻¹. Концентрация As в акватории Карадагского заповедника на глубинах 35–54 м изменялась в диапазоне от 6,78 до 16,6 мкг·л⁻¹. В среднем, содержание As в воде составляет 11,35 ± 2,18 мкг·л⁻¹ и незначительно превышает указанный норматив.

Если сравнить полученные нами величины концентрации As с аналогичными данными из других акваторий Чёрного моря, то следует отметить, что в воде Карантинной бухты (г. Севастополь) концентрация As изменялось в течение года в диапазоне от 4,3 до 16,7 мкг·л⁻¹ (Рябушко и др., 2017а). Таким образом, в прибрежных водах южного Крыма содержание As имеет сходные значения. По данным предшествующих исследователей существуют незначительные отличия в концентрации As в воде из разных районов Чёрного моря. Так, согласно данным (Митропольский и др. 1982; Митропольский и др., 2006) в прибрежных водах Крыма среднее значение концентрации As равно 1,3 мкг·л⁻¹, а в центральных районах моря – 1,4 мкг·л⁻¹. Однако следует отметить, что в прибрежье уровни концентрации как As, так и других элементов, могут в значительной мере изменяться как в пространстве, так и во времени. Причиной таких изменений могут быть вызваны различными факторами среды, такими как апвеллинг, течения, сгонно-нагонными явлениями и локальными антропогенными загрязнениями.

Содержание мышьяка в донных отложениях. Концентрация As в донных отложениях находится более в стабильном состоянии, чем в воде. Поэтому уровень

концентрации As в донных осадках является достаточно надежным показателем продолжительности воздействия данного загрязнителя на живые организмы в исследуемых районах.

Согласно международным нормативам, так называемым «голландским листам», допустимый уровень концентрации As (ДК) в донных отложениях морских водоёмов равен $29 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$ (Neue ..., 1995). Хотя донные станции в акватории заповедника располагались относительно недалеко друг от друга на глубинах 35–54 м, концентрации As в осадках имели большой размах варьирования – от 25,5 до $106,0 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$. Вероятно, объяснить такую разницу можно неоднородностью рельефа морского дна и влиянием химического состава горных пород, составляющих основу геоморфологических образований, как на суше, так и в прибрежных акваториях. В среднем, содержание As в осадках составляет $65,8 \pm 44,7 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$. В близлежащем Феодосийском заливе минимальная концентрация As составила $5,6 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$, а максимальная – $86 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$ вблизи акватории порта (Котельянец, Коновалов, 2008). В осадках Керченского пролива уровень концентрации As составлял менее $20 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$ (Котельянец, Коновалов, 2012).

В целом, концентрация As в верхнем слое донных отложений Чёрного моря находится в диапазоне от 2,3 до $145 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$ (Митропольский и др., 1982). Для побережья Крымского полуострова распределение концентрации As в донных осадках отличается значительной мозаичностью.

Содержание мышьяка в мидии. Для стран Таможенного союза разработаны гигиенические требования безопасности к пищевой продукции, в том числе для двустворчатых моллюсков, в частности по содержанию мышьяка в морских организмах. По данным Технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) ПДК As для моллюсков составляет $5 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$ (Технический регламент ..., 2011 г. № 880).

Выборка мидий из акватории Карадагского заповедника в 1999 г. состояла из возрастных групп от 0,25 до 3,0 лет (рис. 1, станция №5). Диапазон изменений концентраций As в тканях составлял от 0,1 до $0,7 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$ (рис. 2). В среднем, уровень концентрации As в мягких тканях мидий равен $0,26 \pm 0,10 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}_{\text{сух.}}$. Концентрации As в мягких тканях разновозрастных групп моллюсков в выборке 1999 г. не имели статистически значимых различий.

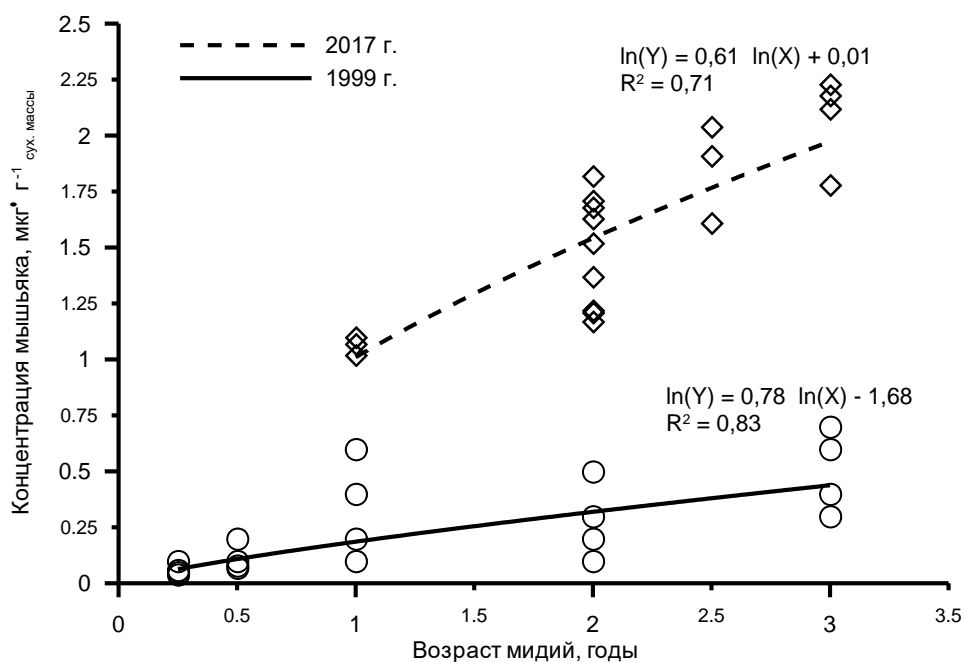


Рис. 2. Концентрация мышьяка в мягких тканях мидий *Mytilus galloprovincialis* из акватории Карадагского заповедника. X – возраст; Y – концентрация As ($p \leq 0,95$; $n = 20$)

При аналогичном отборе проб в 2017 г. выборка мидий состояла из возрастных групп от 1,5 до 3,0 лет (рис. 1, станции №1–4). Концентрация As варьировала от 1,17 до 2,23 $\text{мкг}\cdot\text{г}^{-1}_{\text{сух}}$. (рис. 2). Из рисунка видно, что с увеличением возраста моллюсков в тканях мидии накапливается мышьяк. В среднем, уровень концентрации As в мидий составлял $1,60 \pm 0,19 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}_{\text{сух}}$. В 2017 г. концентрация As в тканях мидий выше содержания As в 1999 г. в 6 раз. Возможно, что за почти 20-летний период возрос уровень антропогенной нагрузки на прилежащие к Карадагскому заповеднику акватории. Тем не менее, содержание As в мидии в указанный период значительно меньше ПДК, равной $5 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}_{\text{сух}}$.

Сравним полученные нами значения As в мягких тканях мидий с аналогичными данными из других районов Чёрного моря. Так, концентрации As в мидии из марихозьяства, расположенного в Карантинной бухте, составляет в среднем $2,89 \pm 0,12 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}_{\text{сух}}$. (Рябушко и др., 2017а). Для мидии из различных бухт г. Севастополя диапазон концентраций As в мягких тканях варьировал от 0,33 до $8,89 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}_{\text{сух}}$. (Рябушко и др., 2017б). Турецкие ученые установили, что концентрации As в мягких тканях мидий изменяются от 2,64 до $3,57 \text{ мкг}\cdot\text{г}^{-1}_{\text{сух}}$. (Tere, Süer, 2016). Таким образом, у мидий из акватории Карадагского заповедника концентрации As значительно ниже ПДК.

Выводы

Содержание мышьяка в акватории Карадагского природного заповедника меньше или ненамного превышает норматив ПДК As в воде для рыбохозяйственных водоёмов. В целом, существенного загрязнения водной среды этим токсикантом зафиксировать трудно, поскольку содержание As в воде имеет значительную вариабельность из-за апвеллингов, течений, сгонно-нагонных явлений и локального антропогенного влияния.

В донных осадках максимальное содержание As отмечено на глубине 54 м. Значения, зафиксированные на этой станции, в 3 раза превышают допустимые концентрации, установленные международными нормами. Однако на меньшей глубине концентрации As значительно ниже. Поэтому из полученных данных затруднительно сделать вывод об уровне загрязнения этим токсикантом донных осадков заповедника.

Сравнение данных по содержанию As в мягких тканях мидий, полученных в 1999 г., показывает значительное увеличение концентрации As в 2017 г. Тем не менее, концентрации мышьяка в мидиях из Карадагского заповедника значительно ниже ПДК, установленных для пищевых продуктов.

Список литературы

1. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов.
2. Золотарев В.Н. Определение возраста и темпов роста мидий Граяна (*Crynomytilus grayanus* (Dunker)) // Докл. АН СССР. – 1974. – Т. 216, № 5. – С. 1195–1197.
3. Золотарев В.Н. Склерохронология морских двустворчатых моллюсков. – К.: Наук. думка, 1989. – 112 с.
4. Козинцев А.Ф. Сезонная динамика содержания тяжёлых металлов в мидии (*Mytilus Galloprovincialis*) из бухты Казачья Чёрного моря. Морской экол. журнал. – 2006. – № 4. – Т. V. – С. 41–47
5. Котельянец Е.А., Коновалов С.К. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях Феодосийского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – Вып. 17. – С. 171–175.
6. Котельянец Е.А., Коновалов С.К. Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива // Морской гидрофиз. журнал. – 2012. – № 4. – С. 50–60.

7. Методика измерений массовой концентрации ионов мышьяка методом инверсионной вольтамперометрии. – М 03-АРВЦ-2017, № 223.0006/RA.RU.311866/2017 от 30.01.2017.
8. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Черного моря. – К.: Наукова думка, 1982. – 114 с.
9. Митропольський О.Ю., Насєдкін Є.І., Осокіна Н.П. Екогеохімія Чорного моря. – К.: Академперіодика, 2006. – 279 с.
10. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. От 13 декабря 2016 года N 552. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 12 октября 2018 года). Документ с изменениями, внесенными: приказом Минсельхоза России от 12 октября 2018 года N 454 (Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 28.02.2019, N 0001201902280022).
11. Рябушко В.И., Козинцев А.Ф., Тоичкин А.М. Концентрация мышьяка в тканях культивируемой мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., воде и донных осадках (Крым, Черное море) // Морской биол. журнал. – 2017а. – Т. 2. – № 3. – С. 68–74. DOI: 10.21072/mbj.2017.02.3.06.
12. Рябушко В.И., Козинцев А.Ф., Тоичкин А.М. Концентрация мышьяка в мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. 1819 из бухт Крымского полуострова (Черное море) // Вода: химия и экология. – 2017б. – № 10(112). – С. 30–36.
13. Славин В. Атомно-абсорбционная спектроскопия. – Л.: Химия, 1971. – 296 с.
14. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011). Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880.
15. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. – Л.: Химия, 1983. – 144 с.
16. Шурова Н.М., Золотарев В.Н. Сезонные слои роста в раковинах мидии Черного моря // Биол. моря. – 1988. – № 1. – С. 18–22.
17. Akter K.F., Owens G., Davey D.E., Naidu R. Arsenic speciation and toxicity in biological systems // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. – 2005. – Vol. 184. – P. 97–149. DOI: 10.1007/0-387-27565-7_3.
18. Azizi G., Akodad M., Baghour M., Layachi M., Moumen A. The use of *Mytilus* spp. mussels as bioindicators of heavy metal pollution in the coastal environment. A review // J. Mater. Environ. Sci. – 2018. – 9(4). – P. 1170–1181. DOI: 10.26872/jmes.2018.9.4.129.
19. Beliaeff B., O'Connor T.P., Daskalakis D.K., Smith P.J. U.S. Mussel Watch data from 1986 to 1994: temporal trend detection at large spatial scales // Environ. Sci. Technol. 1997. – 31(5). – P. 1411–1415. DOI: 10.1021/es9606586.
20. Beyer J., Green N.W., Brooks S., Allan I.J., Ruus A., Gomes T., Bråte I.L.N., Schøyen M. Blue mussels (*Mytilus edulis* spp.) as sentinel organisms in coastal pollution monitoring: A review // Mar. Environ. Res. – 2017. – 130. – P. 338–365. DOI: 10.1016/j.marenvres.2017.07.024
21. Farrington J.W., Tripp B.W., Tanabe Sh., Subramanian A., Sericano J.L., Wade T.L., Knap A.H., Edward D. Goldberg's proposal of “the Mussel Watch”: Reflections after 40 years // Mar. Pollut. Bull. – 2016. – 110(1). – P. 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.074>.
22. Goldberg E.D. The mussel watch – a first step in global marine monitoring // Mar. Pollut. Bull. – 1975. – Vol. 6. Iss. 7. – P. 111. [doi.org/10.1016/0025-326X\(75\)90271-4](https://doi.org/10.1016/0025-326X(75)90271-4).
23. Goldberg E.D., Bertine K.K. Beyond the Mussel Watch – new directions for monitoring marine pollution // Sci. Total Environ. – 2000. – 247(2-3). – P. 165–174.
24. Neue Niederlandische Liste // Altlasten Spektrum. – 1995. 3/95. – 200 p.

25. *Rainbow P.S., Phillips D.J.H.* Cosmopolitan biomonitors of trace metals // *Mar. Pollut. Bull.* – 1993. – 26(11). – P. 593–601. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90497-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90497-8)
26. *Smedley P. L., Kinniburgh, D. G.* A Review of the Source, Behavior and Distribution of Arsenic in Natural Waters // *Applied Geochemistry*. – 2002. – Vol. 17, No. 5. – P. 517–568. [http://dx.doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5).
27. *Yalçın Tepe, Nilgün Süer.* The levels of heavy metals in the Mediterranean mussel (*Mytillus Galloprovincialis* Lamarck 1819); Example of Giresum coast of the Black Sea, Turkey // *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. – 2016. – Vol. 45(2). – P. 283–289.

ARSENIC CONCENTRATIONS IN THE KARADAG NATURE RESERVE AREA (BLACK SEA)

Ryabushko V.I., Kozintsev A.F., Toichkin A.M.

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: rabushko2006@yandex.ru*

Emissions of pollutants capable of toxifying animals and plants are one of the main factors of the anthropogenic impact on marine coastal ecosystems. Arsenic is widely present in the environment and has acute and chronic toxic effects on aquatic organisms and humans. Arsenic pollution of water can be detected in areas intrinsically unaffected by human activity. In view of this, the aim of this work is to study the concentration of arsenic in water, bottom sediments, and soft tissues of the bivalve *Mytillus galloprovincialis* in the coastal waters of Karadag Nature Reserve (Crimea, Black Sea). The samples of mollusks were taken in 1999 in cruise number 53 of R/V *Professor Vodyanitsky*, and the samples of water, sediments and mollusks were taken in 2017 in cruise number 96 of the same research vessel. The concentration of As in seawater of this nature reserve ranged from 6.78 to 16.6 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, which is smaller or slightly higher than the maximum permissible concentration (MPC) in water for fisheries. The arsenic concentrations in bottom sediments varied from 25.5 to 106.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight. The concentration of arsenic in mussels from the Karadag Nature Reserve area is significantly lower than the MPC established for food products.

Key words: arsenic, water, sediments, mussel *Mytilus galloprovincialis*, Karadag Natural Reserve, Black Sea.

Рябушко Виталий Иванович	доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: rabushko2006@yandex.ru
Козинцев Александр Фёдорович	кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: armor33@mail.ru
Тоичкин Александр Маевич	ведущий инженер отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: toichkin80@mail.ru

Поступила в редакцию 11.03.2020 г.

УДК [556+551/464+574/5](262.5)

АБИОТИЧЕСКИЕ И БИОТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД РАЙОНА КАРАДАГА В МАЕ 2019 г.*

Трощенко О.А., Ковригина Н.П., Лисицкая Е.В., Родионова Н.Ю., Капранов С.В.,
Еремин И.Ю.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: maricultura@mail.ru

Представлены результаты гидролого-гидрохимических и гидробиологических исследований, проведенных в мае 2019 г. в прибрежной акватории Карадагского природного заповедника и прилегающей к нему Коктебельской бухте. Показано, что съемка 14 мая проходила на фоне развития локального апвеллинга с пониженными значениями температуры и повышенными величинами солености в районе мыса Мальчин. Локальное загрязнение хозяйственными водами отмечено в Коктебельской бухте – по пониженному содержанию кислорода и максимальной концентрации азота аммонийного; в районе мыса Мальчин – по высоким величинам окисляемости. Влияние азовоморских вод прослеживалось на 10 станциях из 14 по низким (<30%) значениям отношения $R_{мин}:R_{общ}$. Распределение гидрохимических показателей в 2-метровой полосе моря было неравномерно: их значения были в 1,3–3,5 раз выше по сравнению с прилегающей акваторией. Таксономический состав меропланктона практически не отличался от данных, полученных в прошлые годы, однако его численность в Коктебельской бухте была в 2,5–3 раза ниже, чем в акватории Карадагского заповедника, что, вероятно можно объяснить динамикой вод у берегов заповедника.

Ключевые слова: гидролого-гидрохимические показатели, меропланктон, азовоморские воды; прибрежная зона Карадага, Черное море.

Введение

Комплексные гидролого-гидрохимические и гидробиологические экспедиции в районе Карадага проводятся сотрудниками отдела аквакультуры и морской фармакологии ФИЦ ИнБЮМ начиная с 2004 г. Ежегодно выполняется от 1 до 3 съемок. За годы исследований выполнено 33 съемки, результаты которых опубликованы, в основном, в изданиях Карадагской научной станции («Летописи природы» и «Труды Карадагской научной станции...»). Обобщение полученных результатов было представлено в монографии под редакцией Н.С. Костенко (Биология Черного моря..., 2018).

Регулярное проведение исследований позволяет проследить тенденции в изменении изучаемых параметров, отметить влияние органических веществ или потенциальных загрязнителей на акваторию заповедника, а также изучить пространственно-временное распределение некоторых биологических (в данной статье – численность и видовой состав меропланктона) характеристик.

Таким образом, цель данной работы – выявление особенностей пространственной изменчивости некоторых гидролого-гидрохимических и биологических показателей в сравнении с материалами прошлых лет, а также оценка степени загрязнения прибрежной зоны Карадагского заповедника и Коктебельской бухты.

* Работа подготовлена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», номер регистрации АААА-А18-118021350003-б.

Материалы и методы

В мае 2019 г. выполнена комплексная съемка, охватывающая четыре разреза по нормали к береговой линии и две прибрежные станции: устье реки Отузки и очистные сооружения поселка Курортное (рис. 1). Пробы отбирали на 14 станциях с поверхности и у дна (глубина до 30 м). Дополнительно с берега в 2-метровой полосе моря отобраны четыре пробы: в районе камней Кузьмича, на западной границе заповедника, на пляже и в районе стока из дельфинария (рис. 1, врезка). Всего отобрано 32 пробы, в которых согласно общепринятым методикам было выполнено около 363 гидрохимических анализа, (Руководство, 1977; Методы, 1988; Методические, 1966). В комплекс гидролого-гидрохимических исследований входило измерение температуры, солености, растворенного кислорода, биохимического потребления кислорода на пятые сутки (БПК₅), перманганатной окисляемости в щелочной среде, кремния, органических и неорганических форм азота и фосфора.



Рис. 1. Схема станций отбора проб на Карадагском взморье и в узкой прибрежной зоне (врезка) в 2019 г.

Сбор проб меропланктона выполнен 14 мая 2019 г. на прибрежных станциях 1, 4, 7, 13 (рис. 1). Облавливали слой воды 10–0 м; пробы отбирали сетью Джели (диаметр входного отверстия 12 см, размер ячеек мельничного газа – 100 мкм). Обработку проводили на живом материале путем тотального подсчета личинок в камере Богорова под бинокляром МБС–10, для уточнения видовой принадлежности использовали световой микроскоп Микмед–5.

Результаты исследований

Структура термохалинных полей по результатам съемки 14 мая 2020 г была сложной (рис. 2 а, б). Наиболее холодные и соленые воды находились в районе мыса Мальчин, при этом «язык» более соленых вод вдоль берега заходил в Коктебельскую

бухту. Такое распределение связано с развитием кратковременного (через сутки он уже не наблюдался) локального апвеллинга, что видно на космическом снимке (рис. 2 в). При этом прибрежные течения были направлены с запада на восток.

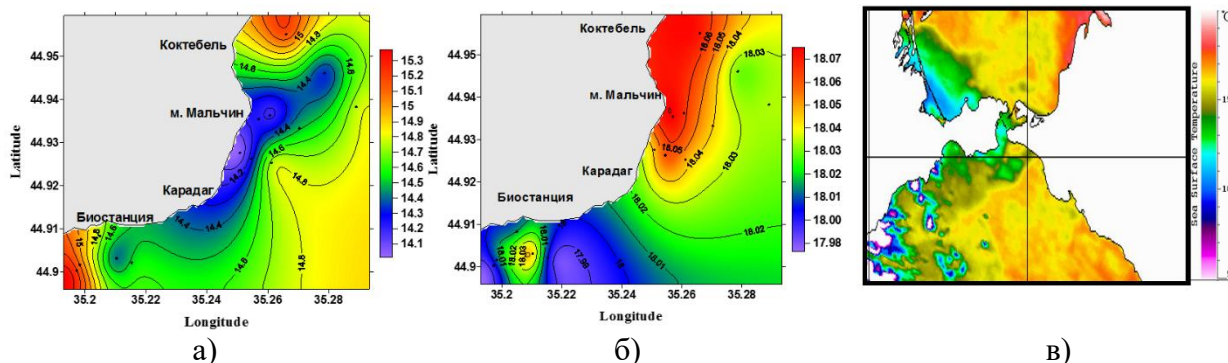


Рис. 2. Распределение поверхностной температуры (а), солености (б) по данным съемки 14 мая 2019 г. и поверхностная температура (в) по данным ИСЗ NOAA-19 14 мая. Снимок взят с официального сайта ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»

Температура изменялась в диапазоне 13,9–15,4°C, что соответствует среднемноголетним значениям. Вертикальная термическая структура так же была типична для середины мая. В поверхностном слое формировался верхний квазиоднородный слой летнего типа. Его мощность была невелика – от 2 до 3 м. Глубже располагался сезонный термоклин со средними градиентами 0,2–0,3°C/м.

Значения солености были выше среднемноголетних показателей приблизительно на 0,3‰, что соответствует тенденциям последнего десятилетия (Биология Черного моря..., 2018). Соленость изменялась в диапазоне 17,98–18,08‰. Самые низкие показатели наблюдались в районе выпуска очистных сооружений поселка Курортное (ст. 21). Повышение солености с глубиной было очень незначительным – вертикальный градиент не превышал 0,05‰/м. В районе мыса Мальчин, несмотря на процесс апвеллинга, в прибрежной зоне (ст. 1, 3) соленость с глубиной понижалась (табл. 1). Это говорит о вероятной субмариной разгрузке, которая неоднократно отмечалась здесь и ранее (Биология Черного моря..., 2018). По гидрохимическим показателям это подтверждается вертикальным распределением нитратов (табл. 1).

В мае вся исследуемая акватория характеризовалась высокой обеспеченностью кислородом. Средние в слое от поверхности до дна величины составляли 6,90 мл/л и 104,3% насыщения. Максимальное содержание (9,15 мл/л и 144,2% насыщения) кислорода отмечено на горизонте 3 м в районе очистных сооружений поселка Курортное. Минимальное (6,52 мл/л и 93,9% насыщения) содержание кислорода отмечено в бухте Коктебель соответственно на поверхности прибрежной станции 13 и в придонном слое мористой станции 11 (рис. 3). Отклонение от средней по слою величины (6,90 мл/л) кислорода в сторону понижения было незначительно и составило 0,38 мл/л, а в сторону повышения было гораздо существеннее и доходило до 2,15 мл/л.

Величины БПК₅ на поверхности всей акватории изменялись от 0,61 до 1,80 мг/л и были ниже ПДК=2,0 мг/л по рыбохозяйственным нормативам (Нормативы качества воды..., 2010). Величины окисляемости только на двух станциях (ст. 1 и ст. 5) превышали ПДК (4,0 мгО/л), на остальных имели более низкие значения. Средняя величина для окисляемости составляла 3,73 мгО/л, что указывает на незагрязненность исследуемой акватории.

Биогенные вещества имели низкие и однородные величины, характерные для незагрязненных прибрежных вод. Концентрация фосфатов в слое от поверхности до дна изменялась в пределах 0,7–10,1 мкг/л.; максимальная концентрация отмечена в придонном слое на ст. 11 (бухта Коктебель) при средней для этого слоя величине, равной 3,5 мкг/л.

Таблица 1.

Распределение величин гидролого-гидрохимических показателей на поверхности и в придонном слое во время весенней съемки 2019 г.

№ ст.	Н, м	Т, °С	S, ‰	O ₂		БПК ₅ , мг/л	NO ₂	NO ₃	NH ₄	Nорг	PO ₄	Pорг	Si	Окис., мгО/л
				мл/л	%									
13	0	15,30	18,07	6,52	103,9	0,87	0,6	3,0	14,5	857	1,9	8,9	80,9	3,58
	10	12,80	18,12	6,85	103,5		0,7	4,0	4,4	931	2,4	9,0	94,9	3,17
12	0	14,20	18,02	6,97	108,5	1,03	0,2	2,8	6,0	872	1,3	8,6	95,2	3,77
	21	10,2	18,14	6,74	96,1		1,3	5,9			5,8		185,7	
11	0	14,8	18,03	6,67	105,2	0,78	0,2	2,7	4,6	854	2,5	5,0	115,7	3,76
	30	9,9	18,07	6,63	93,9		1,2	3,4			10,7		227,7	
2	0	14,5	18,04	6,79	106,3	0,80	0,3	2,4	2,4	884	2,3	6,7	99,7	3,21
	30	9,8	18,10	6,87	97,1		0,5	3,1			4,0		241,4	
3	0	14,0	18,06	6,72	104,2	0,88	0,3	2,6	2,4	956	0,7	7,4	67,8	3,38
	24	10,4	18,01	6,76	96,8		0,4	2,1			1,9		152,5	
1	0	14,3	18,08	6,71	104,6	0,82	0,4	5,0	4,0	999	1,4	6,1	140,0	4,78
	14	10,7	17,97	6,90	99,5		0,5	1,7			2,7		125,6	
4	0	13,9	18,03	7,04	108,8	1,42	0,3	5,6	4,4	984	2,0	5,2	97,2	3,68
	12	11,0	18,03	6,89	100,0		0,5	2,1			2,8		134,5	
19	0	14,2	18,07	6,81	106,0	1,80	0,3	3,7	3,0	1001	2,2	5,7	86,3	3,41
	25	9,9	18,14	6,74	95,5		0,4	10,6			3,4		183,1	
20	0	14,9	18,04	6,70	105,8	0,83	0,4	5,9	2,4	973	1,3	7,8	66,2	3,63
	30	9,8	17,95	6,98	98,6		0,2	3,7			1,4		106,3	
6	0	14,6	17,98	6,75	105,9	1,36	0,7	5,3	3,2	955	2,5	4,8	67,6	3,61
	30	10,1	18,08	6,64	94,4		0,4	2,5			2,6		180,0	
5	0	14,2	18,07	6,76	105,3	0,61	0,5	5,2	5,1	885	2,6	5,5	84,1	5,84
	20	10,2	18,14	6,82	97,3		0,7	1,9			3,5		167,4	
7	0	14,8	18,00	6,77	106,7	0,68	0,4	3,0	8,0	851	3,1	7,0	71,6	3,47
	10	11,7	18,03	6,91	101,9		0,3	2,9			3,4		99,1	
21	0	15,4	17,98	6,71	107,1	0,84	0,5	4,3	13,2	937	2,9	7,1	76,8	3,31
	3	14,8	18,01	9,15	144,2		0,6	1,8			2,7		67,8	
22	0	15,0	18,02	6,78	107,3	0,79	0,5	7,0	13,7	1062	2,0	9,5	100,4	3,32
	5	13,5	18,06	7,49	115,0		0,4	2,8			2,3		67,1	

Средняя концентрация фосфатов на поверхности в Коктебельской бухте (1,9 мкг/л) практически не отличалась от средней на поверхности акватории Карадагского природного заповедника (2,0 мкг/л). Распределение кремния с востока на запад отличалось от аналогичного распределения фосфатов; средняя его величина для поверхности Коктебельской бухты (97,2 мкг/л) была выше средней для поверхности Карадага (87,0 мкг/л), что является подтверждением влияния азовоморских вод во время съемки. Более четко это влияние можно проследить по величинам процентного отношения минеральной формы фосфора к валовой (Р_{мин}:Р_{вал}). В нашем случае величины этого отношения изменялись в пределах от 8,6 до 33,3% и на 10 станциях из 14 имели низкие (<30%) значения отношения Р_{мин}:Р_{общ}, свидетельствующие о влиянии азовоморских вод в Коктебельской бухте, в районе м. Мальчин и в Сердоликовой бухте. В районе Биостанции отношения минеральной формы фосфора к валовой превышали 30%, что указывает на ослабление влияния азовоморских вод.

Концентрации кремния в слое поверхность–дно изменялись в пределах от 66,2 до 241,4 мкг/л; повышенные его величины отмечены в придонном слое на мористых и промежуточных станциях всех разрезов кроме района Биостанции.

Одновременно с повышением концентрации кремния отмечено понижение величин насыщения кислородом от 5,1 до 12,4%. Кроме того, на ст. 12 зафиксирована максимальная (1,3 мкг/л) концентрация нитритов, повышенные концентрации нитратов (5,9 мкг/л) и фосфатов (5,8 мкг/л). На ст. 19 в придонном слое наблюдали максимальную (10,6 мкг/л) концентрацию нитратов, что свидетельствует о возможном присутствии источников пресных вод подземного происхождения.

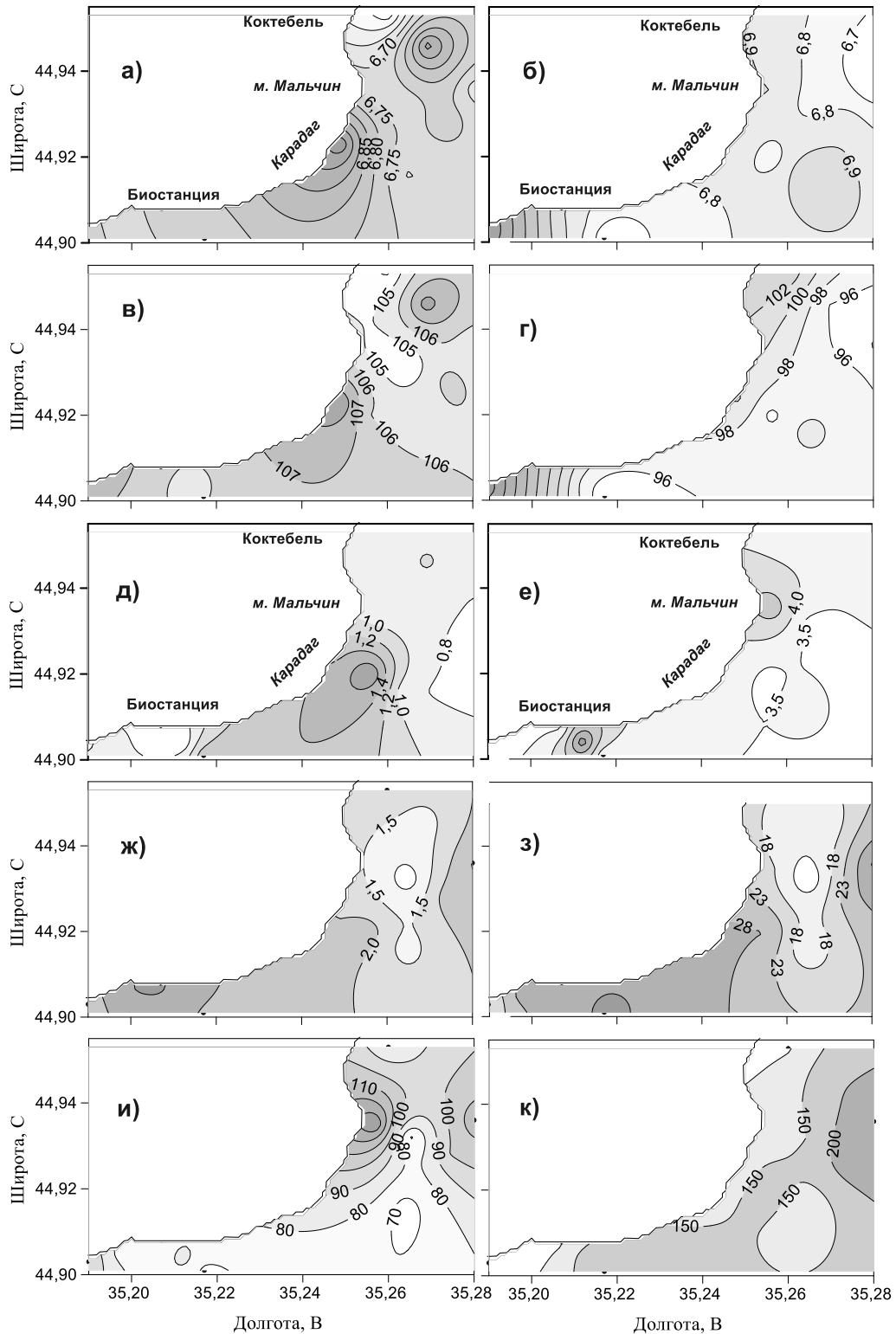


Рис. 3. Распределение гидрохимических показателей на акватории Карадагского природного заповедника и в Коктебельской бухте 14 мая 2019 г.: кислород на поверхности и у дна – мл/л (а, б),% (в, г); БПК₅, мг/л (д); окисляемость, мгО/л (е); фосфаты, мкг/л (ж); R_{мин}:R_{вал},% (з); кремний на поверхности (и), у дна (к), мкг/л.

Величины нитратов в исследованном слое изменялись от 1,7 до 10,6 мкг/л при средних значениях равных 4,2 мкг/л на поверхности и 3,5 мкг/л в придонном слое. Повышенные концентрации нитратов на поверхности в районе м. Мальчин и в бухте Сердоликовой подтверждают влияние азовоморских вод. Концентрация азота аммонийного на поверхности колебалась от 2,4 до 14,5 мкг/л при средней величине,

равной 6,2 мкг/л. Максимальная величина азота аммонийного, отмеченная на прибрежной станции в Коктебельской бухте (ст. 13), совпадает с минимальной величиной растворенного кислорода (6,52 мл/л), что свидетельствует о некотором органическом загрязнении. Повышенные значения азота аммонийного наблюдали так же на прибрежных станциях в районах устья реки Отузки (ст. 22) и очистных сооружений (ст. 21), которым соответствовало небольшое понижение кислорода.

При исследовании *меропланктона* были обнаружены личинки донных беспозвоночных, относящихся к следующим таксонам: Coelenterata, Polychaeta, Gastropoda, Bivalvia, Cirripedia, Decapoda. В мае 2019 г., в отличие от данных предыдущих лет (Биология Черного моря..., 2018), численность меропланктона в Коктебельской бухте (183 экз./м³) была в 2,5 раза ниже, по сравнению с акваторией заповедника, где она достигала 465 экз./м³ у м. Мальчин, 468 экз./м³ в Сердоликовой бухте и 528 экз./м³ у Биостанции. В планктоне доминировали науплиусы усонного рака *Amphibalanus improvisus* Darwin, 1854, находящиеся на разных стадиях развития. Доля науплиусов в суммарном меропланктоне составляла от 39% у Биостанции до 66% в Сердоликовой бухте, а их численность изменялась от 93 до 300 экз./м³ соответственно (рис. 4.).

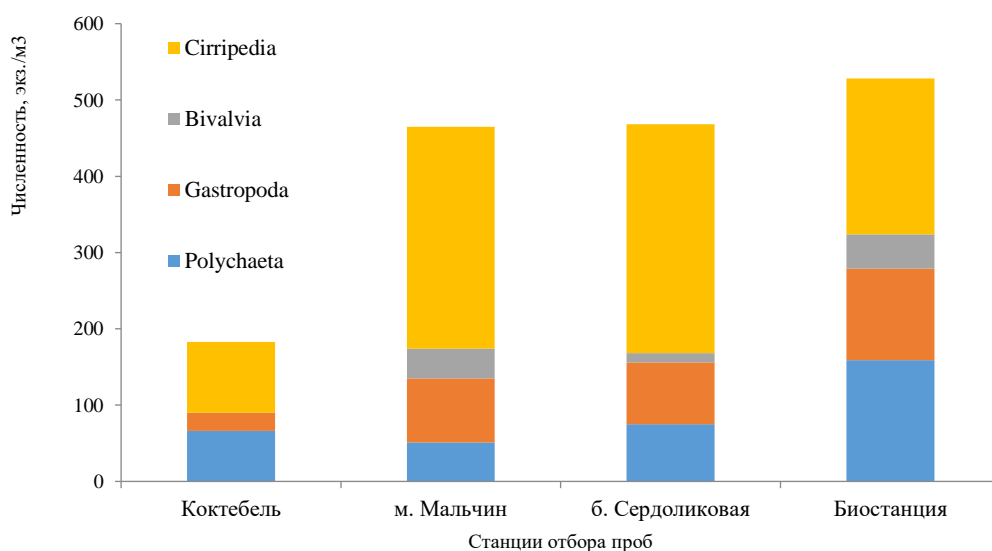


Рис. 4. Таксономическая структура меропланктона в акватории Карадага в мае 2019 г.

В акватории Карадагского природного заповедника около 20% суммарной численности меропланктона составляли личинки Gastropoda, их численность изменялась от 81 до 120 экз./м³, тогда как в Коктебельской бухте не превышала 24 экз./м³, что составляло 11% от общей численности. В мае 2018 г. была отмечена обратная картина – минимальное количество личинок брюхоногих моллюсков зарегистрировали у Биостанции. В планктоне преобладали велигеры *Rissoa splendida* Eichwald, 1830, находящиеся на ранних стадиях развития. У берегов Крыма моллюски данного вида размножаются в весенний период при температуре воды 16–18°C (Чухчин, 1984).

Личинки двустворчатых моллюсков были представлены велигерами и великонхами мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, находящимися на ранних стадиях развития, это позволяет предположить, что нерест мидий прошел в начале мая. Их численность была не велика и не превышала 45 экз./м³, в Коктебельской бухте личинки Bivalvia не обнаружены (рис. 5). Личинки моллюска-вселенца *Mya arenaria* Linnaeus, 1758, отмеченные нами в мае предыдущих лет, в пробах не встречались. Ранее нами было высказано предположение, что великохи мии переносятся в район Карадага с азовоморскими водами (Лисицкая, 2019). Распределение личинок во время съемки в мае 2019 г. может косвенно подтверждать направление течений с запада на восток, о чем говорилось выше.

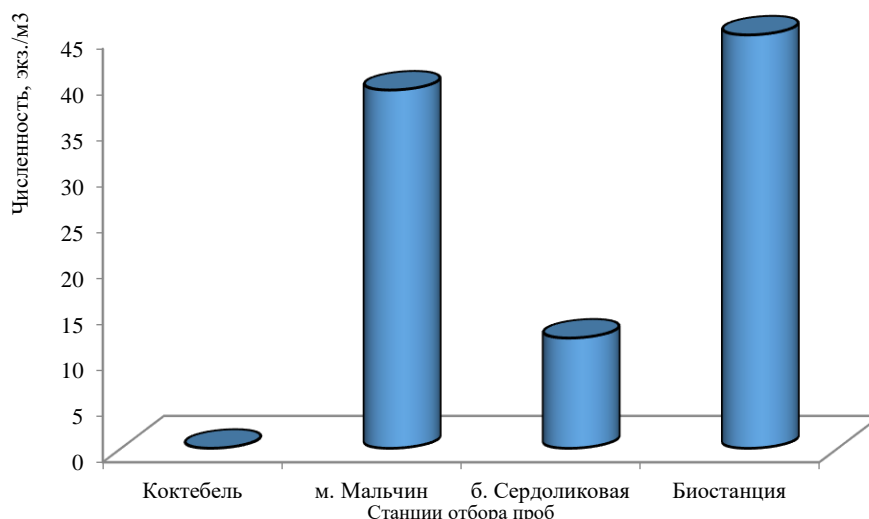


Рис. 5. Численность личинок мидии в акватории Карадага 14.05.2019

Максимальная численность личинок многощетинковых червей зарегистрирована в районе Биостанции – 159 экз./м³, что составляло около 30% суммарного меропланктона. На остальных станциях в акватории заповедника она была невелика (51–75 экз./м³), что не превышало 10–15% от общей численности. В Коктебельской бухте на долю личинок *Polychaeta* приходилось 36%, при численности 66 экз./м³. В планктоне преобладали личинки семейства *Spionidae* (*Spio decorata* Bobretzky, 1870, *Malacoceros fuliginosus* (Claparède, 1870)) – до 57 экз./м³. В период исследований зарегистрирован нерест полихет *Pholoe inornata* Johnston, 1839 и *Alitta succinea* (Leuckart, 1847) – численность трохофор достигала 21 экз./м³. Единично встречались метатрохофоры *Harmothoe reticulata* (Claparede, 1879) и личинки *Capitellidae* gen.sp. Личинки десятиногих раков отмечены не были, вероятно, их массовое размножение еще не началось, так как температура воды к моменту отбора проб не являлась оптимальной для нереста *Decapoda*. Планулы *Coelenterata* встречались только в Коктебельской бухте, их плотность составляла 21 экз./м³.

Таким образом, в мае 2019 г. видовой состав меропланктона соответствовал данным, полученным в прошлые годы и был типичен для прибрежных вод Крыма. Плотность меропланктона в Коктебельской бухте была в 2,5–3 раза ниже, чем в акватории Карадагского заповедника.

Проведенные исследования в 2-метровой прибрежной зоне показали, что значения температуры и солености на 3-х восточных станциях (рис. 1 врезка) были практически одинаковы (около 15,5°C и 18,10‰ соответственно). Возле стока из дельфинария термохалинные показатели резко менялись – температура повысилась до 18,0°C, а соленость понизилась до 16,44‰. Однако, на фоне таких изменений температуры и солености гидрохимические характеристики (за исключением кремния) так сильно не менялись (рис. 6).

Величины БПК₅ изменялись в пределах от 1,33 до 1,90 мг/л и были ниже ПДК, максимум отмечен в районе камней Кузьмича (1,90 мг/л). Окисляемость колебалась в пределах от 1,57 до 3,63 мгО/л с максимальной величиной в районе пляжа, не превышающей ПДК (4,0 мгО/л). Среднее значение окисляемости для 2-метровой полосы (2,96 мгО/л) было ниже среднего значения для прилегающей акватории (3,77 мгО/л). Величины К_з, равные отношению БПК₅ к окисляемости, изменялись от 0,41 до 0,85, средняя величина К_з в 2-метровой полосе по сравнению со средней для прилегающей акватории была в 2 раза выше (0,54), но не превышала 1,0, что характеризует район как «незагрязненный» (Скопинцев Б.А., 1975).

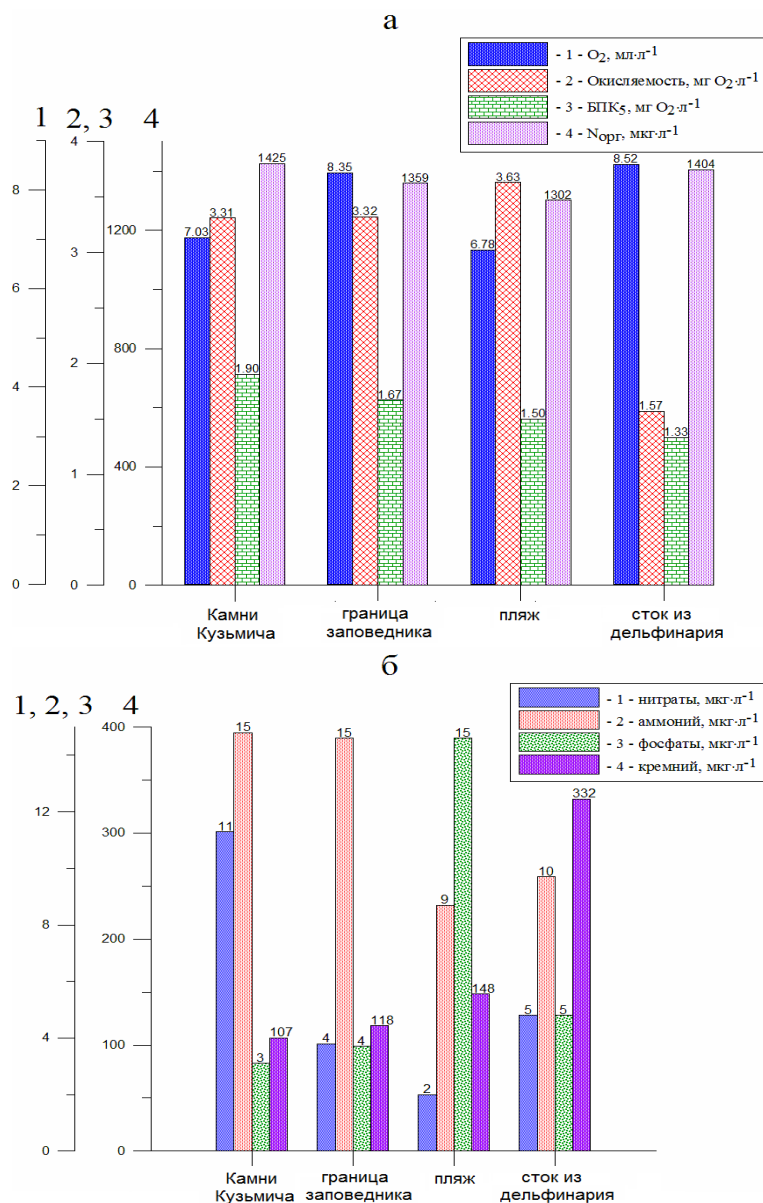


Рис. 6. Распределение гидрохимических показателей на поверхности 2-метровой полосы моря 15 мая 2019 г.: а) кислород, окисляемость, БПК₅, органический азот; б) нитраты, аммонийный азот, фосфаты, кремний.

Величины биогенных веществ в 2-метровой полосе моря превышали их значения в прилегающей прибрежной акватории: нитраты – в 1,3 раза, азот аммонийный – в 1,9, кремний – в 2,0, азот нитритный – в 3,5, фосфаты – в 3,1, азот органический - в 1,5 раза. Средние величины органического вещества по величинам органического фосфора (P_{орг}) в 2-метровой полосе моря и на прилегающей акватории практически не отличались друг от друга.

Поскольку величины перманганатной окисляемости имели низкие значения, то рассчитанные по ним величины растворенного органического углерода (C_{орг}) также были невысоки. Они изменялись в пределах от 2,1 до 4,9 мгС/л и накопления растворенного органического вещества в 2-метровой полосе моря по сравнению с предыдущими исследованиями (Ковригина Н.П., и др., 2018) не показали.

Выводы

Показатели температуры воды в мае 2019 г. в районе Карадага соответствовали среднееголетним значениям, а солёности были выше приблизительно на 0,3‰. На

горизонтальном распределении термohалинных характеристик отразилось влияние прибрежного локального апвеллинга в районе мыса Мальчин с пониженными значениями температуры и повышенными величинами солености.

Локальное загрязнение хозбытовыми водами по пониженному содержанию кислорода и максимальной концентрации азота аммонийного, отмечено в Коктебельской бухте (ст. 13). В районе мыса Мальчин (ст. 1) загрязнение зафиксировано по высоким величинам окисляемости.

Влияние азотоморских вод прослеживалось на 10 станциях из 14 по низким (<30%) значениям отношения $R_{мин}:R_{общ}$ в Коктебельской бухте, в районе мыса Мальчин и в Сердоликовой бухте. В районе Биостанции отношения минеральной формы фосфора к валовой превышали 30%, что указывает на ослабление влияния азотоморских вод.

Возможное влияние пресных вод подземного происхождения на придонных горизонтах в районах Коктебельской бухты, мыса Мальчин и Сердоликовой бухты отмечено по пониженному содержанию солености, кислорода и повышенным величинам кремния.

Распределение гидрохимических показателей в 2-метровой полосе моря было неравномерно и характеризовалось повышением концентраций биогенных веществ до 3,5 раз по сравнению с прилегающей акваторией.

Таксономический состав меропланктона практически не отличался от данных, полученных в прошлые годы, однако его численность в Коктебельской бухте была в 2,5–3 раза ниже, чем в акватории Карадагского заповедника, что, вероятно можно объяснить динамикой вод у берегов заповедника.

Список литературы

1. Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма. Абиотические факторы и условия обитания гидробионтов прибрежной зоны Юго-Восточного Крыма / Под ред. Н.С. Костенко /. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – С. 46-77; 234-244.
2. Киселева М.И. Многочетинковые черви (Polychaeta) Чёрного и Азовского морей. Апатиты: Изд-во. Кольского научного центра РАН, 2004. – 409 с.
3. Ковригина Н. П., Трощенко О. А., Родионова Н. Ю., Капранов С. В., Еремин И. Ю. Исследования абиотических факторов среды на Карадагском взморье в мае и сентябре 2018 г. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – № 1 (9). – С. 61–73.
4. Лисицкая Е.В. Таксономический состав и структура меропланктона в прибрежных водах Карадагского природного заповедника в мае и сентябре 2018 г. // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – № 2 (10). – С. 3–11.
5. Методические указания № 30. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 39 с.
6. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО, 1988. – 119 с.
7. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждено Приказом Федерального агентства по рыболовству №20 от 18.01.2010.
8. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 725 с.
9. Скопинцев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 335 с.
10. Чухчин В.Д. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. Киев: Наукова думка, 1984. – 176 с.

ABIOTIC AND BIOTIC CHARACTERISTICS OF COASTAL WATERS IN THE
KARADAG AREA IN MAY 2019

Troshchenko O.A., Kovrigina N.P., Lisitskaya E.V., Rodionova N.Yu., Kapranov S.V.,
Eremin I.Yu.

*A.O.Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: maricultura@mail.ru*

The results of oceanographic and hydrobiological monitoring of the coastal waters of Karadag Nature Reserve and neighboring Koktebel Bay conducted in May 2019 are presented. The oceanographic survey dated May 14 was shown to be accompanied by the local upwelling development coupled with the temperature decrease and salinity increase near Cape Malchin. The local pollution with sewage effluents was manifested in low dissolved oxygen and maximum concentration of ammonium in Koktebel Bay and in high oxidizability in the area of Cape Malchin. The influence of the Azov-Sea water inflow was detected in the low (<30%) values of the $P_{\text{mineral}}:P_{\text{total}}$ ratio at ten of fourteen stations. The distribution of hydrochemical parameters in the two-meter-wide surf zone was uneven, and they were 1.3-3.5 times higher than in the adjacent nearshore area. The taxonomic composition of meroplankton was not different from that obtained in the past years, but its abundance in Koktebel Bay was 2.5-3 times lower than in Karadag Nature Reserve waters, which can likely be explained by the different hydrodynamic regime near the coasts of Karadag.

Key words: oceanological and hydrochemical parameters, meroplankton, Azov waters, coastal zone of Karadag, Black Sea

Трощенко Олег Александрович	кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: oleg_tr59@mail.ru
Ковригина Неля Петровна	кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: maricultura@mail.ru
Лисицкая Елена Васильевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: e.lisitskaya@gmail.com
Родионова Наталия Юрьевна	младший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: maricultura@mail.ru
Капранов Сергей Викторович	кандидат химических наук, научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: sergey.v.kapranov@yandex.ru
Еремин Игорь Юрьевич	младший научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: igerem@gmail.com

Поступила в редакцию 26.02.2020 г.

УДК 594.1:551.468.3(262.54)

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *LENTIDIUM MEDITERRANEUM* (O.G. COSTA, 1829) В ЮЖНОЙ ЧАСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ*

Алёмов С.В.¹, Алёмова А.С.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Для изучения масс-размерных характеристик *L. mediterraneum* пробы были отобраны в июле 2016 г. в Южной части Азовского моря у основания мыса Казантип. Всего измерено 3021 экземпляр *L. mediterraneum*, индивидуальный вес определен для 671 экземпляров. Составлены размерно-частотные гистограммы для поселений *L. mediterraneum* в прибрежной зоне бухт Русская и Татарская. В исследованных популяциях присутствуют молодь (сеголетки) и особи 2-го года жизни. В составе локального поселения в б. Русская преобладают особи с длиной раковины 1,6–1,9 мм – около 50 % общего количества. В результате проведенных измерений получен ряд степенных уравнений, связывающих высоту раковины с общей массой моллюска. Уравнения, полученные на основе данных по средней массе моллюсков всех размерных групп с диапазоном 1 мм имеют вид: $M = 0,417L^{2,38}$ для б. Русская и $M = 0,321L^{2,41}$ для б. Татарская, и демонстрируют высокую степень достоверности. В б. Татарская отмечается более низкие значения средней массы моллюсков размерных групп 4–7 мм по сравнению с популяцией в б. Русская.

Ключевые слова: Азовское море; двустворчатые моллюски; популяция; размерная структура.

Введение

Макрозообентос – это неотъемлемая составляющая часть экосистемы любых водоёмов, которая играет чрезвычайно важную роль в функционировании водных экосистем. Макробеспозвоночные, обитающие на поверхности и в толще грунта, являющиеся по типу питания фильтраторами и собирателями (детритофаги), играют огромную роль в самоочищении водоёма, формируя тем самым качество среды обитания. Для многих видов рыб, в том числе промысловых, организмы зообентоса являются одним из основных компонентов рациона. Получение фактических данных о видовой структуре донных биоценозов, количественных характеристик, входящих в них видов, выявление пространственных и временных особенностей в распределении бентоса, создает возможности для более объективного прогнозирования изменений в ихтиофауне исследуемых районов.

Роль моллюсков в бентосных сообществах Азовского моря давно определена как доминирующая, а сам водоем В.П. Воробьев называл «...моллюсочным морем» (Воробьев, 1949). Один из широко распространённых видов двустворчатых моллюсков в Азово-Черноморском бассейне – лентидиум средиземноморский (*Lentidium mediterraneum* (O.G. Costa, 1829)). У побережья Румынии, в северо-западной части Чёрного моря от устья Дуная до Одесского залива, в Азовском море он является руководящим видом одноименного биоценоза (Киселева, 1981; Варигин, 2005, 2010; Анистратенко, Халиман, Анистратенко, 2011). Биоценоз лентидиума представляет благоприятную кормовую базу для ряда промысловых видов рыб (Виноградов, 1959;

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», № АААА-А18-118020890090-2.

Болтачев и др., 2016). Как активный фильтратор, лентидиум вносит существенный вклад в процессы самоочищения в прибрежной зоне моря. При максимальной плотности поселений лентидиума (до 150 000 экз./м²) объем биофильтра может достигать 26 тыс. л в сутки (Киселева, 1981). Широкая распространенность и доступность (небольшие глубины обитания) делают этот вид удобным для использования как индикатора состояния прибрежных морских экосистем (Dumitrache et al., 2008). Для Румынского побережья и Одесского залива определены показатели масс-размерных соотношений у *L. mediterraneum* (Gomoiu, 1965; Варигин, 2010), тогда как в Азовском море подобные исследования не проводились.

У побережья Казантипского заповедника *L. mediterraneum* встречается, как правило, при невысоких значениях численности 26–94 экз./м² и биомассы 0,3–1,6 г/м² (Болтачев и др., 2016). Однако, в мелководных песчаных бухтах в основании мыса (б. Татарская, б. Русская), отмечено его массовое поселение с численностью более 15000 экз./м² и биомассой 280 г/м² (Болтачев и др., 2016). Целью работы являлось исследовать размерный состав и определить показатели масс-размерных соотношений локального поселения *L. mediterraneum* в б. Русская и б. Татарская.

Материалы и методы

Для изучения масс-размерных характеристик *L. mediterraneum* пробы были отобраны в июле 2016 года в основании мыса Казантип в прибрежной части бухт Русская и Татарская (рис. 1) при помощи водолазного дночерпателя с площадью захвата 0,08 м² на глубине 1 м. Собранный материал промывали через сита с минимальным размером ячеек 1 мм. Пробу фиксировали 96% этанолом.



Рис. 1. Схема расположения места отбора проб

Последующая обработка фиксированного материала проводилась в лабораторных условиях. Длину раковины определяли с точностью до 0,1 мм с помощью окуляр-микрометра. Массу моллюска определяли с точностью до 0,0001 г. на аналитических весах ВЛР-200. Перед взвешиванием моллюсков вскрывали препаровальной иглой для

удаления фиксирующего раствора из мантийной полости, затем просушивания на фильтровальной бумаге.

Для моллюсков размерных групп свыше 4 мм определяли индивидуальную массу (сырых тканей вместе со створками), для моллюсков менее 4 мм определяли суммарную массу по группам: до 2 мм, 2,0–2,9 мм, 3,0–3,9 мм с последующим расчётом средней индивидуальной массы.

Всего измерено 3127 экземпляров *L. mediterraneum*, индивидуальный вес определён для 671 экземпляров. Полученные данные представляли в виде степенного уравнения (Заика, 2004; Варигин, 2010):

$$M = aL^b$$

где M – масса моллюска со створками (мг), L – длина моллюска (мм), a и b – постоянные величины (a – коэффициент пропорциональности, b – основная искомая аллометрическая постоянная).

Определение возраста моллюска проводили посредством определения колец задержки роста, формирующимися на наружной поверхности раковины с годовой периодичностью (Уваева, Михайлова, 2017). Измеряли длину раковины от макушки до наиболее удаленной части годового кольца. Возраст был определён для 106 экземпляров лентидиума с длиной створок от 5 до 7 мм.

Результаты и обсуждение

В составе локального поселения в б. Русская преобладают особи с длиной раковины 1,6–1,9 мм – около 50 % общего количества (рис. 2). В составе размерной группы 1–3,9 мм наибольшее количество отмечено для особей с длиной раковины 1,7–1,9 мм. В составе размерной группы свыше 4 мм отмечено два локальных пика с максимумами 4,9 мм и 5,5 мм. Возможно, это связано с наличием двух пиков размножения у лентидиума.

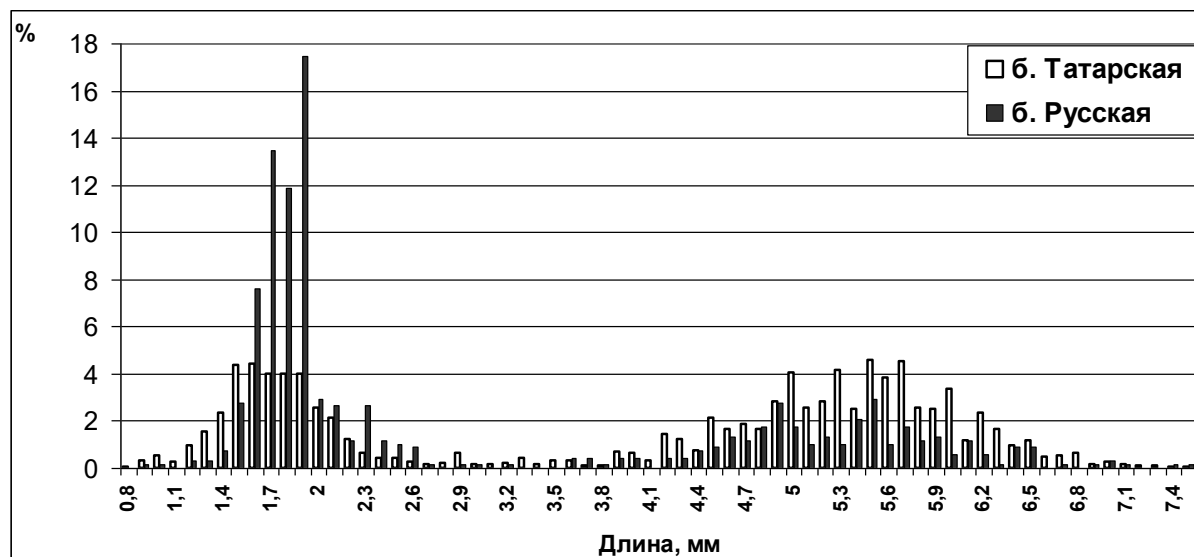


Рис. 2. Размерная структура для поселений *L. mediterraneum* в б. Русская и б. Татарская

В составе локального поселения в б. Татарская доля особей с длиной раковины 1,4–2,0 мм и 4,9–5,9 примерно одинакова (рис. 2). Таким образом, в б. Татарская, при общей более высокой плотности популяции, значительно выше количество особей старших возрастных групп. Особи с длиной раковины более 6,5 мм в обеих бухтах встречены в небольшом количестве, что может быть вызвано выеданием более крупных моллюсков бентосоядными рыбами.

Длина раковины у лентидиума обычно до 10 мм (редко до 12 мм) (Киселева, 1981; Анистратенко, Халиман, Анистратенко, 2011). Есть сведения, что особи лентидиума в Азовском море вырастают в течение первого года до 6–7 мм (Старк, 1955; Карпевич, 1964). В исследованиях в прибрежье м. Казантип, проведенных в мае 2011 г., моллюски размерной группы 1–2 мм присутствовали в минимальном количестве, а размерная группа 2–3 мм отсутствовала. Единично были отмечены особи длиной до 7 мм, а большинство моллюсков (60%) имели длину раковины не более 5 мм (Болтачев и др., 2016). Следовательно, группу моллюсков размером до 3,0 мм, очевидно, можно отнести к сеголеткам, что указывает на наличие пика размножения лентидиума в конце весны – начале лета.

В ходе работы была составлена гистограмма длины первого годового кольца (рис. 3А). Его длина колебалась от 3 до 5,1 мм. Анализ возрастной структуры популяций по группам размеров показал, что за год наибольшее количество моллюсков вырастает на 4–4,5 мм (рис 3Б). Средний размер моллюсков в возрасте 1 год составил 4,3 мм. Моллюски с двумя годовыми кольцами не выявлены, следовательно, в исследованных популяциях присутствуют молодь (сеголетки) и особи 2-го года жизни. Присутствие особей размерных групп от 3–3,8 и более 5 мм в небольшом количестве можно объяснить тем, что эти значения являются крайними значениями в диапазоне роста моллюска.

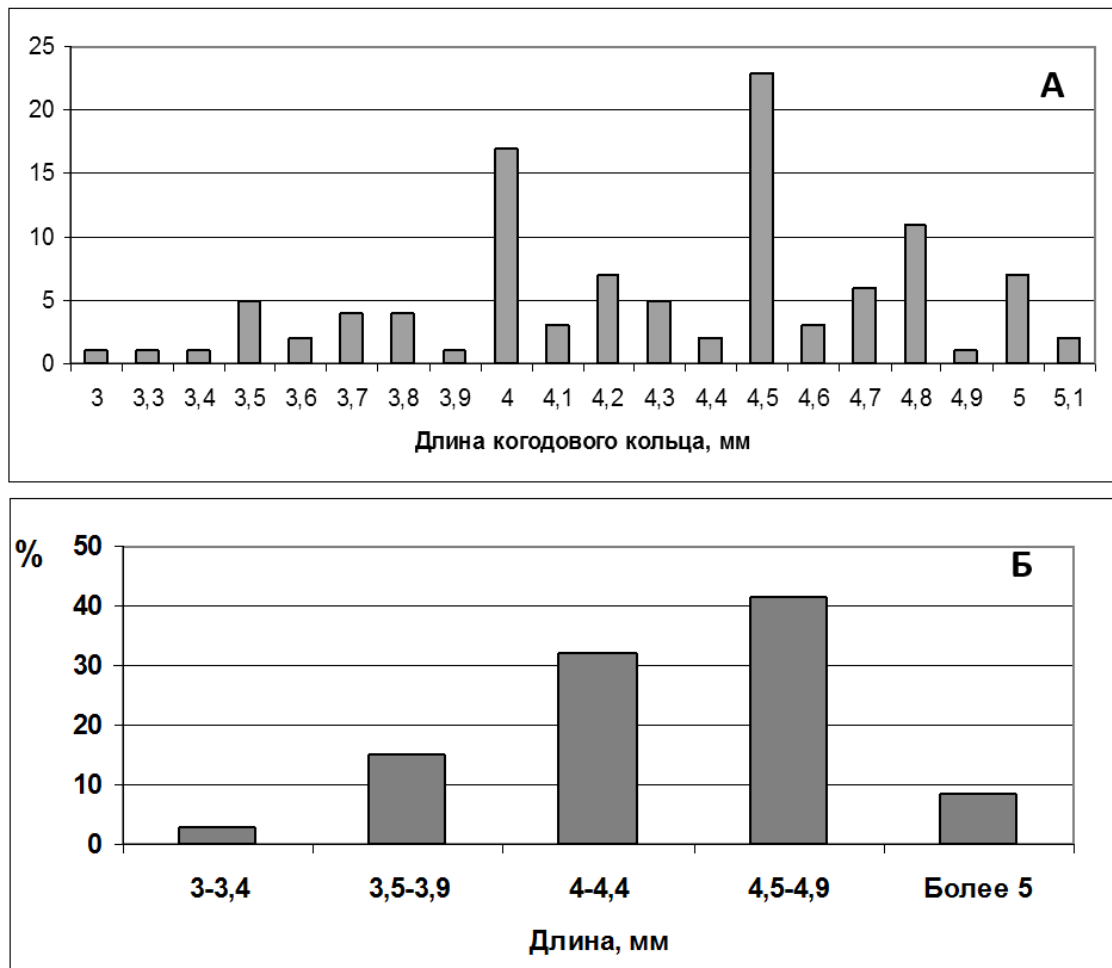


Рис. 3. Количество особей *L. mediterraneum* с различной длиной годового кольца (общее – А, по размерным группам – Б).

На гистограммах размерной структуры поселений лентидиума (рис. 2) видно, что в б. Русской количество сеголеток значительно превышает количество особей, возраст которых больше одного года. Это может быть связано с большим прессом хищников в

б. Русская, которые выедают из популяции моллюсков возрастом больше года (размерных групп от 4,5 до 6,5 мм). В б. Татарская располагается городской пляж, и популяция лентидиума менее подвержена влиянию хищников, поэтому присутствует два примерно одинаковых пика молоди и годовиков.

Для побережья Румынии отмечено, что на глубинах до 1 м более 80 % популяции лентидиума составляют особи длиной 4–6 мм. Молодь (моллюски менее 1,5 мм) отмечены на глубине 1,7–15 м. Данный факт объясняется разрушающим влиянием прибоя на молодь, а также пассивным переносом течениями и активной миграцией взрослых особей в прибрежье (Gomoiu, 1965). Присутствие молоди лентидиума на глубинах до 1 м в исследованных бухтах, очевидно, связано с особенностями гидрологии Азовского моря (менее интенсивное волновое воздействие), а также отсутствием подходящего для данного вида субстрата на глубинах более 3–4 м.

В результате проведенных измерений получен ряд степенных уравнений, связывающих высоту раковины с общей массой моллюска. Длина раковины исследованных моллюсков была в пределах от 0,58 мм до 7,5 мм. Размах колебаний показателей общей массы моллюсков составлял 0,6–40,4 мг. Уравнения, полученные на основе данных по средней массе моллюсков различных размерных групп с диапазоном 1 мм имеют вид: $M = 0,417L^{2,38}$ для б. Русская и $M = 0,321L^{2,41}$ для б. Татарская, и демонстрируют высокую степень достоверности (рис. 4).

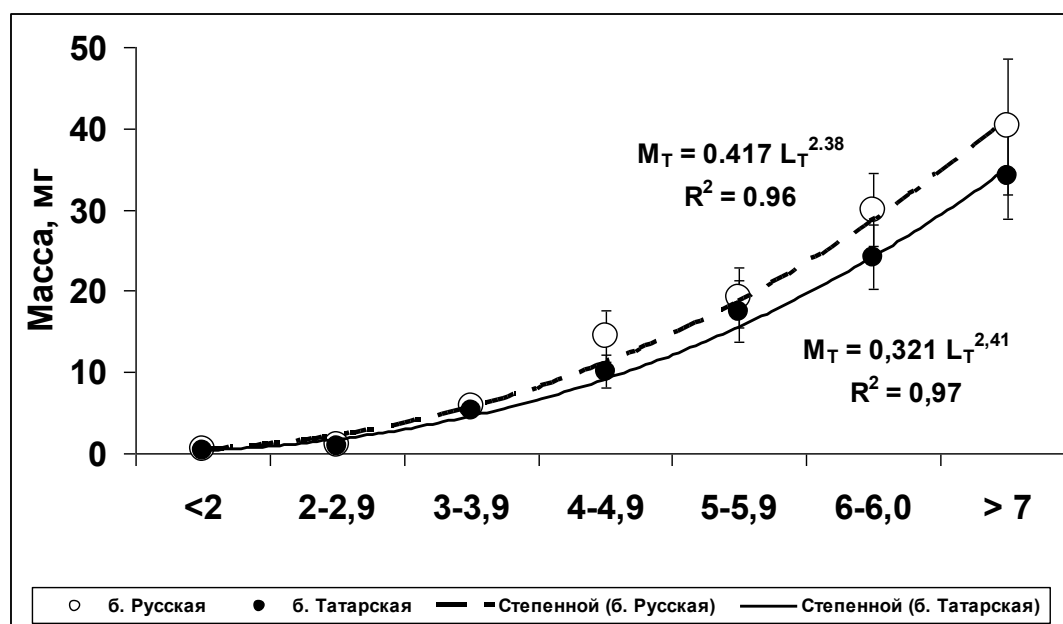


Рис. 4. Зависимость общей массы моллюска и длины раковины *L. mediterraneum*

Расчеты, проведенные для отдельных размерных групп, показали разные значения коэффициентов и различную степень достоверности полученных зависимостей (табл. 1). В б. Русская у моллюсков с длиной раковины 4,0–4,9 мм и 5,0–5,9 мм результаты не столь точные, так как коэффициент корреляции уравнений находится в пределах от 0,31 до 0,37. При размерах моллюсков от 6,0 мм до 7,5 мм показатели масс моллюсков более тесно связаны с длиной их раковины.

В б. Татарская во всех указанных размерных группах коэффициенты корреляции достаточно высоки (0,62–0,75). Возможно, это связано с гораздо большей представленностью данных размерных групп в локальной популяции. При этом, в б. Татарская отмечается тенденция снижения средней массы моллюсков этих размерных групп по сравнению с популяцией в б. Русская. Возможно это связано со значительно большей плотностью популяции (в 4–5 раз) в этом районе.

Таблица 1.

Параметры зависимости общей массы моллюска от длины раковины
L. mediterraneum различных размерных групп

Размерная группа, мм	Бухта Русская			Бухта Татарская		
	a	b	R ²	a	b	R ²
4,0–4,9	0,389	2,34	0,31	0,125	2,87	0,62
5,0–5,9	0,361	2,33	0,37	0,06	3,29	0,75
6,0–7,5	0,530	2,19	0,68	0,109	2,92	0,66

На основании полученных данных, можно сказать, что обе популяции находятся в стабильном состоянии, потому что если взять размерную группу моллюсков 4,5–6,5 мм, то есть моллюсков примерно одного возраста, то мы увидим, что все особи в популяции стремятся к среднему значению роста. Отбор в пользу средних значений является показателем стабилизирующего естественного отбора, который присутствует в популяциях, находящихся в стабильном состоянии.

Выводы

1. Анализ размерно-частотных гистограмм для поселений *L. mediterraneum* в двух бухтах южной части Азовского моря (бухты Русская и Татарская) указывает на наличие двух возрастных групп – сеголеток и годовиков в составе популяции. В б. Татарская доля сеголеток значительно превышает количество годовиков.

2. Определены показатели уравнения масс-размерных характеристик локальных поселений *L. mediterraneum* в южной части Азовского моря. Уравнения, полученные на основе данных по средней массе моллюсков всех размерных групп имеют вид: $M = 0,417L^{2,38}$ для б. Русская и $M = 0,321L^{2,41}$ для б. Татарская.

3. Характер распределения особей различных размерных групп в локальных поселениях бухт примерно одинаков (преобладают особи с длиной раковины 1,4–2,0 мм и 4,9–5,9 мм), но показатели уравнений масс-размерных характеристик несколько различаются. В б. Татарская отмечается более низкие значения средней массы моллюсков размерных групп 4–7 мм по сравнению с популяцией в б. Русская.

4. В исследованных бухтах особи *L. mediterraneum* за год вырастают до 3,5–5 мм. Средний размер моллюсков в возрасте около 1 года составляет 4,3 мм.

Список литературы

1. Анистратенко В.В., Халиман И.А, Анистратенко О.Ю. Моллюски Азовского моря. – Киев: Наукова думка, 2011. – 184 с.
2. Болтачев А.Р., Алемов С.В., Загородняя Ю.А., Карпова Е.П., Манжос Л.А., Губанов В.В, Литвинюк Н.А. Подводный мир Казантипского природного заповедника: К 15-летию Казантипского природного заповедника / Под общ. ред. А. Р. Болтачева, Ю.А. Загородней. – Симферополь: «Бизнес-Информ», 2016. – 112 с.
3. Варигин А.Ю. Аллометрические характеристики двустворчатого моллюска *Abra ovata* (PHILIPPI, 1836) в условиях северо-западной части Черного моря // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Биол. – 2010. – № 3 (44). – С. 38–40.
4. Варигин А.Ю. Современное состояние поселений *Lentidium mediterraneum* в прибрежных районах северо-западной части Черного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. – 2005. – № 4(27). – С. 32–34.
5. Виноградов К.О. До питання про кормові площі донних рыб північно-західної частини Чорного моря // Наук. зап. Одес. біол. ст. – 1959. – Вып. 1. – С. 98–112.
6. Воробьев В.П. Бентос Азовского моря. – Симферополь: Крымиздат, 1949. – 190 с.

7. Заика В.Е. Аллометрия раковины двустворчатых моллюсков // Морск. экол. журн. – 2004. – № 1, Т. 3. – С. 47–50.
8. Карневич А.Ф. Особенности размножения и роста двустворчатых моллюсков солоноватых морей СССР. – В кн. Экология беспозвоночных южных морей СССР. М.: Наука, 1964. – С. 3–60.
9. Киселёва М.И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1981. – 168 с.
10. Старк И.Н. Некоторые данные по биологии корбуломии и других моллюсков // Тр. Азово-Черном. НИИ мор. Рыб. Хоз-ва и океанографии. – 1955. – Вып. 16. – С. 311–326.
11. Уваева Е.И., Михайлова Ю.В. Определение индивидуального возраста у моллюсков // Біологічні дослідження – 2017: Збірник наукових праць. – Житомир: ПП «Рута», 2017. – 103–104.
12. Dumitrache C., Abaza V., Mihnea R., Varga L., Gheorghe L. Establishing the ecological quality status using benthic invertebrates as bio-indicators in marine monitoring // Cercetari marine.– 2008.– №38.– P.119–135.
13. Gomoiu M. The dynamics of Aloidis population // Rev. roum. biol. Ser. Zool. – 1965. – 10, N 5. – P. 353–360.

**POPULATION CHARACTERISTICS OF THE BIVALVE *LENTIDIUM*
MEDITERRANEUM (O.G. Costa, 1829) IN THE SOUTH PART OF THE AZOV SEA
Alyomov S.V.¹, Alyomova A.S.²**

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru

²Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

To study the mass-size characteristics of *L. mediterraneum*, samples were taken in July 2016 in the southern part of the sea of Azov at the base of Cape Kazantip. A total of 3,021 specimens of *L. mediterraneum* were measured, and the individual weight was determined for 671 specimens. The size – frequency histograms for the settlements of *L. mediterraneum* in the coastal zone of The Russian and Tatar bays were compiled. In the investigated populations, there are juveniles (fingerlings) and individuals of the 2nd year of life. The local settlement in Russian Bay is dominated by individuals with a shell length of 1.6–1.9 mm – about 50 % of the total number. As a result of the measurements, a number of power equations were obtained that relate the height of the shell to the total mass of the mollusk. The equations obtained from the data on the average mass of mollusks of all size groups with a range of 1 mm are: $M = 0,417L^{2,38}$ for the Russian bay and $M = 0,321L^{2,41}$ for b. Tatarskaya bay, and demonstrate a high degree of confidence. In the Tatarskaya bay, the average mass of mollusks of size groups 4–7 mm is lower than in the Russian bay population.

Key words: the Azov sea; bivalve molluscs; population; size structure.

Алёмов Сергей Викторович кандтдат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru

Алёмова Александра Сергеевна студент медико-биологического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», e-mail: simacoffee@mail.ru

Поступила в печать 13.03.2020 г.

УДК 253(597)

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ КОРЕННЫХ МУССОННЫХ ТРОПИЧЕСКИХ ЛЕСОВ ВЬЕТНАМА

Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П.

ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук», Москва, Российская Федерация,

Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам

e-mail: forestkuz@mail.ru

Исследователи тропических лесов, рассматривая их вертикальное строение, или указывают на многоярусность, как характерную черту, или придерживаются точки зрения об отсутствии ярусности и даже наличия в тропических лесах «вертикального континуума». В качестве причин, затрудняющих стратификацию лесного полога, помимо разброса высотных параметров деревьев, называется исключительное обилие видов. На основе наших исследований (1989–2017 гг.) в коренных муссонных тропических лесах Вьетнама, предлагается выделение яруса деревьев, с подразделением его на подъярусы. Рассматриваются подходы решения этой задачи. В основу положен экологический подход. Обоснованность стратификации яруса деревьев на подъярусы подтверждается выявленными их функциональными особенностями. На примерах лесов Вьетнама прослежено, что вертикальная структура лесного древостоя может быть простой – с 1–2 подъярусами, среднесложной – с 3 и сложной – с 4 или 5. Леса с простой структурой сформировались на равнинах и низкогорных плато с супесчаными, суглинистыми и глинисто-глеевыми почвами, на участках с близким залеганием от поверхности платформы из кристаллических сланцев и базальта. В ландшафте гор это сосняки, а также моховые облачные леса и криволесье на горных вершинах и открытых гребнях хребтов с отметками 2000–2900 м над ур.м. (верхняя граница распространения лесов). Древостои со среднесложной структурой занимают на равнинах участки с почвами легкого гранулометрического состава и понижения с торфяно-глеевыми почвами, которые сформировались среди дренированных ферраллитных почв, в горах – формируются на склонах и гребнях хребтов, на плато, платообразных вершинах, в котловинах и по долинам рек – на почвах разного гранулометрического состава и разных кор выветривания. Верхняя граница распространения – 2500 м над ур.м. Леса со сложной структурой произрастают на выровненных территориях в благоприятных для деревьев по эдафону и гидрологии условиях. На равнинах формируются на глубоко дренированных ферраллитных почвах с профилем 3–5 м, а также на аллювиальных почвах в межгорных долинах и по берегам рек, в горах – на пологих склонах, обширных террасах, межгорных долинах с глубиной корнеобитаемого слоя не менее 1 м. Верхняя граница распространения лесов с пятью подъярусами – 800 м, с четырьмя – 1850 м над ур. м. Категория сложности вертикальной структуры лесных древостоев определяется температурным режимом, особенностями эдафона и гидрологии, способностью коры выветривания аккумулировать атмосферную воду дождевого сезона. В целом, при переходе лесных почв от глубоко дренированных на градиентах ослабления дренажа и /или уменьшения мощности корнеобитаемого слоя происходит упрощение вертикальной структуры лесных древостоев с сокращением числа древесных подъярусов с пяти до одного.

Ключевые слова: муссонный тропический лес, вертикальная структура тропического леса, Вьетнам.

Введение

Неуклонное сокращение площадей и разнообразия тропических лесов – глобальная тенденция современности (FAO, 2015). Наряду с важностью изучения тропических лесных экосистем, неотложной является задача их сохранения и восстановления. Эта чрезвычайно актуальная научная проблема не может быть решена, если не выработаны подходы к изучению их структурно-функциональной организации. При рассмотрении лесных сообществ влажных тропиков Старого и Нового Света

отечественные и иностранные исследователи подчеркивают многоярусность как характерную черту вертикального строения этих древостоев и выделяют ярусы деревьев / ярусы леса / ярус кустарников или подлесок, ярус / ярусы / подъярусы трав. В публикациях советских авторов положение о многоярусности тропических лесов базируется на работах, проведенных в лесах африканской Ганы (Баранов, 1956) и Южного Китая (Федоров, 1958; Дылис, 1958; Сукачев, 1958; Кабанов, 1971). П. Ричардс, основываясь на собственных наблюдениях и анализируя работы других исследователей, утверждает, что «в сообществах нормального первичного тропического леса, как правило, существует три яруса деревьев (А, В, С), а также ярус гигантских трав и кустарников и ярус низких трав и полукустарников» (1961; Richards, 1996). Такой же точки зрения о принципиальном строении тропического леса придерживаются Г. Вальтер (1968), Е. Добби (1952) и Р.Л. Пендлтон (1966), а также – в обзорных трудах – А.М. Бородин с коллегами (1982) и М.Б. Горнунг (1984). Приводя обобщенное описание тропического леса, Г. Вальтер (1968) уточняет, что часто ярусность выражена недостаточно четко. На это обстоятельство, но уже как на специфическую особенность тропического леса, указывают Т.С. Whitmore (1992), С.М. Разумовский (1999), Б.М. Миркин и Л.Г. Наумова (2012). Таким образом, вопрос о наличии либо отсутствии четкой ярусности в структуре или вертикальной дифференциации полога тропических лесов остается дискуссионным.

Обращаясь к работам по региону (Индокитаю и Южному Китаю), важным представляется следующее. В монографии Н.Е. Кабанова (1971), объединившей результаты исследований в лесах Южного Китая (совместные работы с В.Н. Сукачевым, Ан.А. Федоровым, а позднее и с китайскими ботаниками), для влажнотропических лесов Юньнана указываются 2–3 яруса деревьев, подлесок (кустарники и деревья высотой до 4 м), ярус трав (с 1–2 подъярусами). Французский исследователь Индокитая М. Шмид на примере отдельных районов центра и юга Вьетнама (тогда Аннама и Кохинхины) представил характеристику лесной растительности (Schmid, 1974), где основное внимание уделено составу видов древесных растений и лишь изредка приводит разграничение древостоев на ярусы преобладающих по высоте и подчиненных деревьев. Современные вьетнамские ботаники и лесоводы (Thai Van Trung, 1999; Nguen Nghia Thien, Nguyen Thanh Nhan, 2004) используют понятия ярусы деревьев (не более трех – А1, А2, А3), кустарников (В) и трав (С) при составлении описаний лесных древостоев. При этом они причисляют подрост деревьев верхнего яруса, в зависимости от высоты, к подчиненным ярусам или к ярусу кустарников. Л. Бланк с соавторами (Blanc et. al., 2000) говоря о структуре лесов Национального парка Катъен в Южном Вьетнаме, анализирует в соответствующем разделе статьи распределение на гектарных площадках деревьев разных видов по классам диаметра, без учета их высоты – т.е. вертикальная структура остается вне интересов авторов. По результатам проведенных работ исследователи приходят к выводу, что леса Катъена следует отнести к вторичным. Такое утверждение верно как усредненное для Парка в целом, т.к. до 90-х годов прошлого века здесь велись промышленные рубки. При этом на территории Парка, как показали наши исследования, сохранились участки с коренным (первичным) лесом – характеристика таковых представлена в одной из наших работ (Кузнецов, Кузнецова, 2011). Приоритетность значений диаметров деревьев при представлении структуры лесов провинции Тхуатхиенхюэ (Центральный Вьетнам) нашла отражение в работе В. Иена и Р. Кохарда (Yen, Cochard, 2017). Авторы приводят сведения об общем числе видов деревьев и числе видов по семействам, говорят о трех уровнях высоты деревьев: 25 м и выше (canopy layers), 15–25 м (stratum), 5–15 м (understory growth), для которых указывают три, четыре и два вида деревьев, соответственно, добавляя «и другие виды». До настоящего времени отсутствуют публикации аналитического плана с обобщением данных о вертикальном строении коренных лесов Вьетнама. Имеющиеся работы

направлены на рассмотрение таксономического состава древесных растений на уровне семейств и родов с указанием наиболее характерных и, наоборот, редких и эндемичных видов деревьев из верхней части полога (Rundel, 1999; Thai Van Trung, 1999; Chien, 2006). Широко цитируемая работа Л.В. Аверьянова с соавторами (Averyanov et al., 2003) посвящена фитогеографическому обзору Вьетнама и прилегающих районов Восточного Индокитая.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являются коренные тропические леса Вьетнама (далее – леса), сформировавшиеся в условиях муссонного климата. Среднегодовые температуры воздуха преимущественно более 20°C, в год выпадает 1500–3000 мм осадков. По режиму дождей выделяются два основных сезона – сухой (с редкими дождями) и влажный или дождевой (Ву Ты Лап, 1980). Рельеф – преимущественно эрозионно-аккумулятивный, с включением первичных горных образований. Три четверти территории страны занимают холмогорья и горы (наивысшая точка – вершина Фансипан, высота 3146 м), одну четверть – равнины. Почвы относятся, согласно М.В. Фридланду (1964), к классу влажнотропических, подразделяются на пять подклассов: ферраллитные – наиболее широко распространены, ферраллитно-маргалитные, аллювиальные и приморские, болотные и засоленные почвы. Леса произрастают от морских побережий до гребней горных хребтов с отметками 2900 м над ур. м., это орографическая граница распространения лесов (Кузнецов, 1998).

География районов наших исследований, которые проводились с 1989 по 2017 гг. во время экспедиционных и стационарных работ, организованных в рамках плановых НИР Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, а также проектов международных природоохранных организаций Frontier Vietnam, BirdLife International, WWF Indochina и Fauna and Flora International (FFI) (Кузнецов, 1998, 2001; Кузнецов, Кузнецова, 2003, 2011а, 2011б, 2012; Кузнецов и др., 2013; Kuznetsov, 2003, 2006; Kuznetsov et al., 2008; Eames et al., 2001), приведена на схеме (рис. 1). Полевым исследованиям предшествовала работа в гербарии Института Экологии г. Хошимина (бывший гербарий Национального музея Сайгона) и практическое знакомство с основными, имеющими коммерческую древесину видами лесных деревьев – при содействии сотрудников лесохозяйственных предприятий.

Работы 1989–1991 и 1993–1994 гг. носили, преимущественно, стационарный характер и велись круглогодично в равнинном высокоствольном диптерокарповом лесу на экологической станции Мада (пров. Донгнай, Южный Вьетнам) (Кузнецов, 2003).

В отличие от положений методики «50 га» (Manokaran, Lafrankie et al., 1990), которой руководствуются иностранные коллеги при работе в тропических лесах, когда деревом принято считать объект с диаметром ствола свыше 10 см (Vandekerckhove, Wulf et al., 1993; Nouragues: Dynamics and Plant-Animal Interactions ..., 2001; Slik, 2003; Slik, Pooli, 2013), нами учитывались все имеющиеся на пробных площадках деревья, в т.ч. и тоньше 10 см. При пренебрежении последними из поля зрения исследователя выпадают деревья нижней части полога леса (с диаметром ствола 1,5–9 см и высотой от 1 до 8 м) и, следовательно, при таком подходе состав видов и пространственная характеристика лесов окажутся неполными.

Изучение лесных растительных сообществ в экспедиционном режиме – исходя из основных целей работ, которые заключались в выявление таксономического состава растений и в составлении характеристик видового состава и вертикальной структуры различных (в зависимости от условий произрастания) лесных древостоев – проводилось маршрутным обследованием территории. Обследовано более 40 лесных районов Вьетнама и заложено свыше 700 временных пробных площадей. Для фиксации

фенологических явлений, первичные обследования, проводимые, как правило, весной или в начале лета, дополнялись повторными работами в этих лесных районах в другое время года. Под высотой древостоя нами принята средняя высота деревьев верхней части полога. При отнесении деревьев к определенному высотному слою (подъярусу) во внимание принимаются не только параметры конкретного экземпляра на пробной площади, но и максимальные размерные характеристики деревьев этого вида на других лесных участках с аналогичными условиями. Деревья верхней части полога десятки лет находятся на стадии подроста, прежде чем их кроны достигнут соответствующей высоты, а сами деревья начнут цвести и плодоносить. В лесах, как правило, наиболее отчетливо выделяются верхний (или два верхних, когда первый сформирован деревьями-эмержентами и не сомкнут, а второй – сомкнутый) и нижний подъярусы. Виды деревьев средней части полога в наибольшей степени варьируют по высоте.

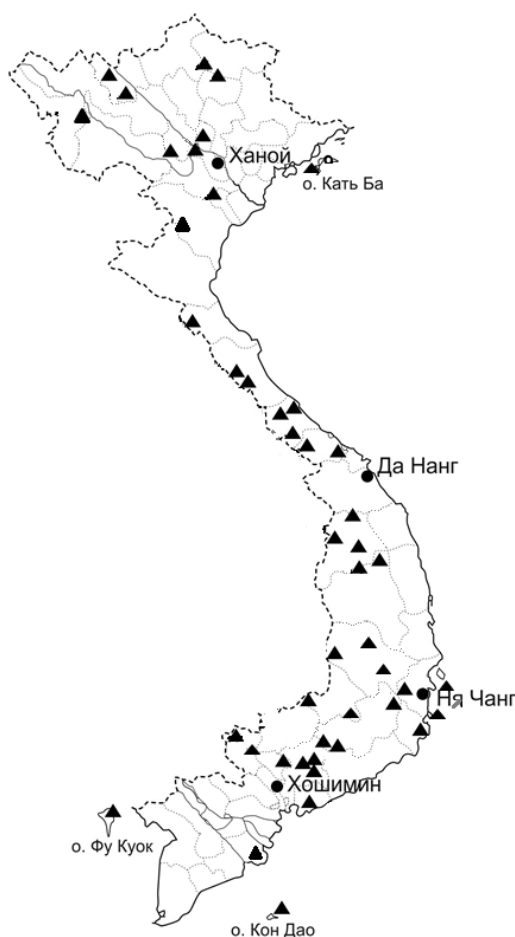


Рис. 1. Районы исследований

Следуя за исследователями тропических лесов (Вальтер, 1968; Бородин, 1982; Whitmore, 1992) отмечавшими, что строение тропического леса наглядно отражает вертикальные проекции или профильные диаграммы, мы также используем такую графическую форму. При этом на вертикальных профилях лесов отражены фоновые растения, в первую очередь деревья, а также лианы, эпифиты, полуэпифиты, иногда травы. Горизонтальная протяженность представляемых лесных древостоев колеблется от 60 до 100 м. Подготовлено более двухсот описаний и вертикальных профилей лесов, сформировавшихся на разных элементах рельефа от севера до юга страны. На рис. 2 приведен пример профильной диаграммы или вертикального профиля равнинного высокоствольного тропического леса. С 1989 по 2002 год работа велась одним исследователем, с 2003 г. – авторы работают совместно.

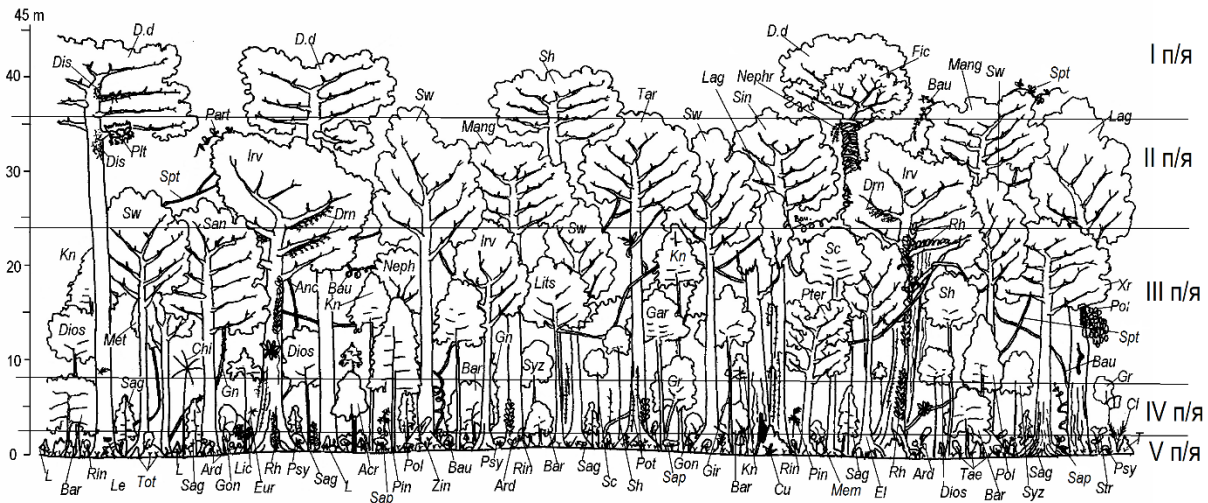


Рис. 2. Вертикальный профиль леса на глубоко дренированных ферраллитных почвах с выделением подъярусов (п/я) в ярусе деревьев, 70 м над ур. м., лесной массив Мада, Южный Вьетнам.

Условные обозначения: Acr – *Acronychia pedunculata*, Agl – *Aglaonema fumeum*, Anc – *Ancistrocladus cochinchinensis*, Ard – *Ardisia crispa*, Bar – *Barringtonia cochinchinensis*, Bau – *Bauhinia harmandiana*, Cin – *Cinnamomum* sp., Cl – *Calamus* sp., Clph – *Calophyllum dongnaiense*, D.d – *Dipterocarpus dyeri*, D.t – *Dipterocarpus turbinatus*, Dios – *Diospyros buxifolia*, Dis – *Dischidia imbricata*, Drn – *Drynaria quercifolia*, El – *Elaeocarpus dongnaiensis*, Eur – *Eurycoma longifolia*, Gar – *Garcinia benthami*, Gon – *Gonocaryum lobbianatum*, Gr – *Grewia paniculata*, Irv – *Irvingia malayana*, Kn – *Knema cinerea*, L – *Lasianthus cyanocarpus*, Lag – *Lagerstroemia calyculata*, Le – *Leea rubra*, Lic – *Licuala paludosa*, Lits – *Litsea umbellata*, Mang – *Mangifera cochinchinensis*, Met – *Metadina trichotoma*, Neph – *Nephelium hypoleucum*, Pin – *Pinanga quadrijuga*, Plt – *Platyserium grande*, Poi – *Poikilospermum suaveolens*, Pot – *Pothos scandens*, Psy – *Psychotria adenophylla*, Pter – *Pterospermum angustifolium*, Rh – *Rhaphidophora hongkongensis*, Rin – *Rinorea anguifera*, Sag – *Sageraea elliptica*, San – *Sandoricum koetjape*, Sap – *Saprosma cochinchinensis*, Sc – *Scaphium lychnophorum*, Sh – *Shorea roxburghii*, Spt – *Spatholobus parviflorus*, Ster – *Sterculia dongnaiensis*, Sw – *Swintonia floribunda*, Syz – *Syzygium tinctoria*, T – термитник, Tae – *Taenitis blechnoides*, Tar – *Tarrietia javanica*, Tot – *Tottea tomentosa*, Uv – *Uvaria*, Xr – *Xerospermum noronhianum*, Zin – *Zingiber purpureum*.

Результаты исследований

Изучение лесов Вьетнама – от мангровых до высокогорного редколесья показало, что общей чертой для лесных растительных сообществ в контексте их вертикального строения является наличие древесного яруса или полога и яруса трав. При этом дифференциация деревьев по высоте дает основание для подразделения яруса деревьев на части полога – слои или подъярусы и мы, в соответствии с работами отечественных ученых (Федоров, 1958; Сукачев, 1958; Кабанов, 1971), обозначаем таковые римскими цифрами, начиная с верхнего или первого (I) (рис. 2). Максимальное число выделяемых древесных подъярусов – 5. Подрост деревьев рассматривается нами как внеярусный элемент. Ярус кустарников (подлесок) не характерен для обследованных коренных лесов Вьетнама (при этом не отрицается возможность его наличия в лесах других тропических регионов). Нижний подъярус лесных древостоев сложен деревьями, а не кустарниками. Растения с жизненной формой кустарник и полукустарник под пологом коренных тропических лесов встречаются редко и не образуют собственного яруса. И, наоборот – на нелесных территориях заросли кустарников являются обычными. Это преимущественно растения из родов *Melastoma* (Melastomataceae) и *Callicarpa* (Scrophulariaceae).

Вертикальная структура лесного древостоя может включать 4–5 подъярусов и такую структуру мы обозначаем как сложную (рис. 2), 3 подъяруса – среднесложная (рис. 3) и 1–2 подъяруса – простая структура (рис.4). Высота 60-ти лесных древостоев

разной категории сложности приведена на рис. 5. В целом, с увеличением высоты древостоев прослеживается усложнение их вертикальной структуры. При этом параметр «высота» не является надежным показателем категории сложности. Из рис. 5 следует, что характерно перекрывание диапазонов высот каждой следующей категории с предшествующей. Наибольшее варьирование рассматриваемого параметра приходится на древостой со среднесложной (3 подъяруса) вертикальной структурой – от 12 до 35 м, тогда как древостой со сложной (4–5 подъярусов) структурой имеют высоту от 27 м до 48 м. Деревья лесов с простой вертикальной структурой имеют высоту от 2 до 8 м, удаленный параметр 25 м соответствует чистым соснякам с *Pinus latteri* и *P. kesiya*.

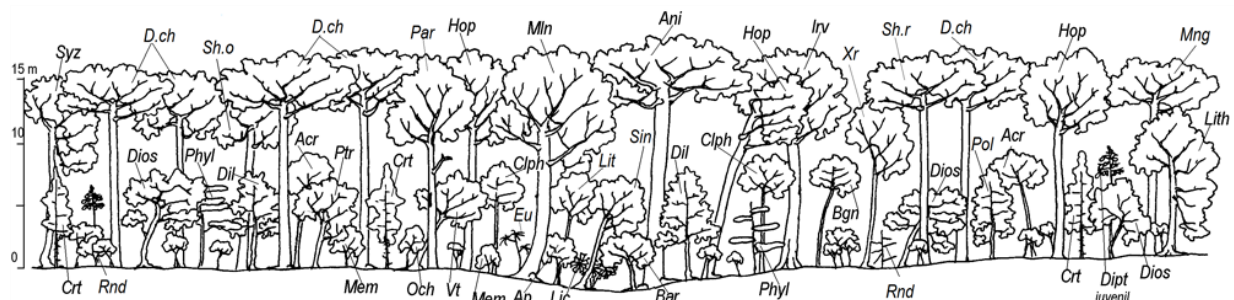


Рис. 3. Вертикальный профиль леса на приморских песках в понижениях рельефа, Бинтьяо – Фюкбью, 8 м над ур. м.

Условные обозначения: Ani – *Anisoptera costata*, Ap – *Aporusa*, Bar – *Barringtonia pauciflora*, Bgn – Bignoniaceae, Clph – *Calophyllum dongnaense*, Crt – *Cratoxylum formosum*, D.ch – *Dipterocarpus chartaceus*, Dill – *Dillenia cf. ovata*, Dios – *Diospyros*, Dipt – *Dipterocarpus*, Eu – *Eurycoma longifolia*, Hop – *Hopea odorata*, Irv – *Irvingia malayana*, Lic – *Licuala sp.*, Lit – *Litsea sp.*, Lith – *Lithocarpus sp.*, Mem – *Memecylon floribundum*, Mln – *Melanorrhoea laccifera*, Mng – *Mangifera flava*, Och – *Ochna integerrima*, Par – *Parinari anamensis*, Phyl – *Phyllanthus emblica*, Ptr – *Pterospermum sp.*, Pol – *Polyalthia sp.*, Rnd – *Randia spinosa*, Sh.r – *Shorea roxburghii*, Sh.o – *Shorea obtusa*, Sin – *Sindora siamensis*, Syz – *Syzygium sp.*, Xr – *Xerospermum noronhianum*.

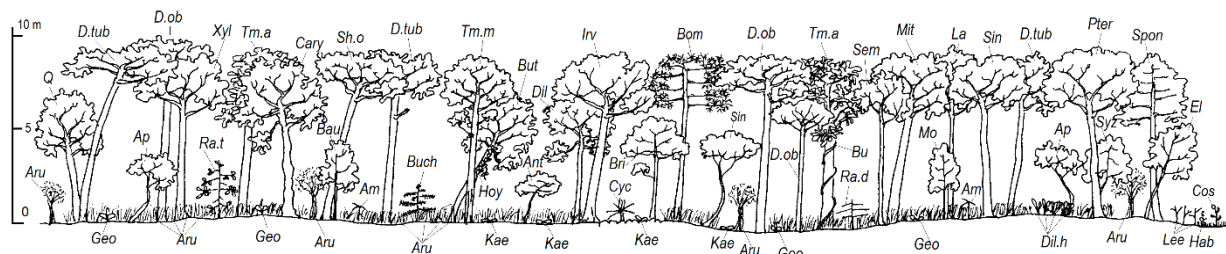


Рис. 4. Вертикальный профиль леса на короткопрофильных тяжелосуглинистых почвах, 220 м над ур.м., национальный парк Йокдон, Центральный Вьетнам

Условные обозначения: Am - *Amorphophallus*, Ant – *Antidesma*, Ap - *Aporusa dyoica*, Aru – *Arundinaria pusilla*, Bau - *Bauhinia*, Bom - *Bombax anceps*, Bri – *Briedelia glauca*, Bu - *Butea monosperma*, Buch – *Buchanania siamensis*, But - *Butea superba*, Cary - *Careya sphaerica*, Cos - *Costus speciosa*, Cyc - *Cycas*, D.ob - *Dipterocarpus obtusifolius*, D.tub – *Dipterocarpus tuberculatus*, Dil.h – *Dillenia hookeri*, El - *Elaeocarpus*, Geo - *Geodorum*, Hoy – *Hoya*, Irv - *Irvingia malayana*, Kae - *Kaempferia galanga*, La – *Lannea*, Lee- *Leea*, Mo – *Morinda tomentosa*, Mit - *Mitragyna rotundifolia*, Pter - *Pterocarpus macrocarpus*, Q - *Quercus kerrii*, Ra.d - *Randia dasycarpa*, Ra.t - *Randia turgida*, Sem – *Semecarpus*, Sh.o - *Shorea obtusa*, Sin - *Sindora siamensis*, Spon - *Spondias pinnata*, Syz - *Syzygium*, Tm.a - *Terminalia alata*, Tm.m - *Terminalia mucronata*, Xyl - *Xylocarpus*.

В зависимости от высоты над уровнем моря (от 0 до 2900 м) прослеживается (рис. 6), что верхняя граница для коренных лесов, имеющих среднесложную структуру – 2500 м; сложную с 4 подъярусами – 1850 м и 800 м для лесов с 5 подъярусами. Леса с простой вертикальной структурой древостоев отмечаются до верхней отметки распространения лесов на территории Вьетнама. При этом, в одном диапазоне высот над уровнем моря, но в разных условиях произрастания представлены леса, различающиеся вертикальной структурой.

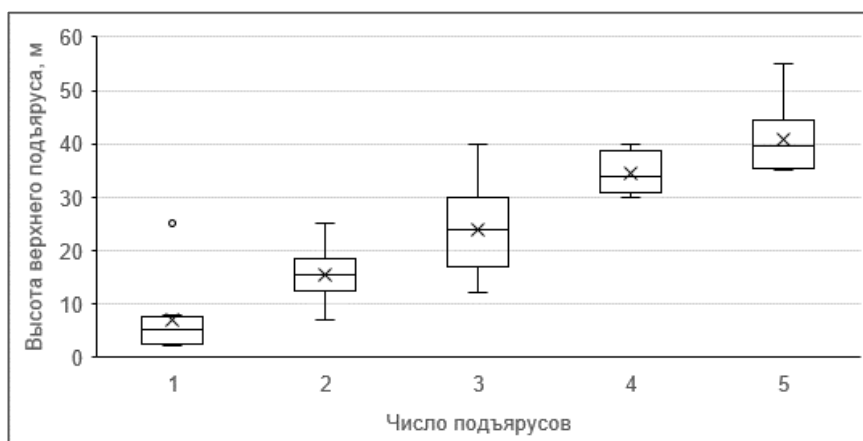


Рис. 5. Высота деревьев верхнего подъяруса в зависимости от сложности вертикальной структуры (1–5 подъярусов) лесных древостоев

Верхнюю часть древесного яруса или полога коренных лесов Вьетнама (высота деревьев от 2 до 48 м) – для простых и среднесложных по вертикальной структуре это подъярус I и для сложных (подъярусы I–II) слагают не менее 340 видов деревьев из 185 родов и 67 семейств. Нижнюю или приземную часть (высота 1,5–4 м) образуют деревья 330 видов из 85 родов и 50 семейств. Промежуточное положение между верхней и нижней частями полога (высота деревьев от 5 до 35 м) занимают приблизительно 2400 видов деревьев из 154 родов и 72 семейств (Кузнецов, 2015). Деревья верхней части полога (на уровне родов) в лесах со сложной, среднесложной и простой вертикальными структурами представлены показано в табл. 1. Так, в лесах со сложной структурой верхнюю часть полога формируют деревья из 56 родов, со среднесложной структурой – из 151 рода, в лесах с простой структурой – из 105 родов.

Разным частям древесного полога лесов присущи специфические функциональные особенности (рис. 7). Такие особенности являются дополнительным (наряду с параметрами деревьев) основанием к стратификации полога или яруса деревьев на слои или подъярусы. Так, деревья верхнего подъяруса экранируют нижние подъярусы от инсоляции и определяют параметры микроклимата лесного пространства; ежегодно в конкретные сроки формируют основной запас растительного (прежде всего листового) опада (это обеспечивает круговорот биогенов), цветут и плодоносят в конкретные и короткие сроки. Листовой опад защищает почву от чрезмерного нагрева и испарения воды, является субстратом для сезонного развития сосущих и микоризных корней деревьев, создает условия для развития грибов – макро- и микромицетов, поддерживает жизнедеятельность связанных с опадом птиц, млекопитающих, земноводных, пресмыкающихся и почвенных животных. Плоды, семена, завязи, нектар и листья деревьев верхней части полога составляют основу трофической базы лесных животных – членистоногих, птиц и млекопитающих. При ливнях листья и ветви этих деревьев первыми принимают удары дождевых капель, снижая их энергию и переводя часть осадков в стволый сток. Крупные досковидные и выходящие на поверхность скелетные корни создают преграды для потоков воды и перемещения растительного опада. Кроны этих деревьев являются зоной развития деревянистых лиан, эпифитов и полуэпифитов. С деревьями верхних подъярусов связано образование в пологе леса прогалов или «окон». Так, разноразмерные «окна» образуются в результате падения скелетных ветвей, излома стволов под кроной и обрушения крон деревьев, излома стволов в базальной части, вывала деревьев и возникновения последовательных нарушений от падения других деревьев, стволы которых соединены между собой деревянистыми лианами. Естественное возобновление деревьев верхнего подъяруса происходит под пологом леса и в лесных «окнах», т.е. на градиенте «полог леса – окно».

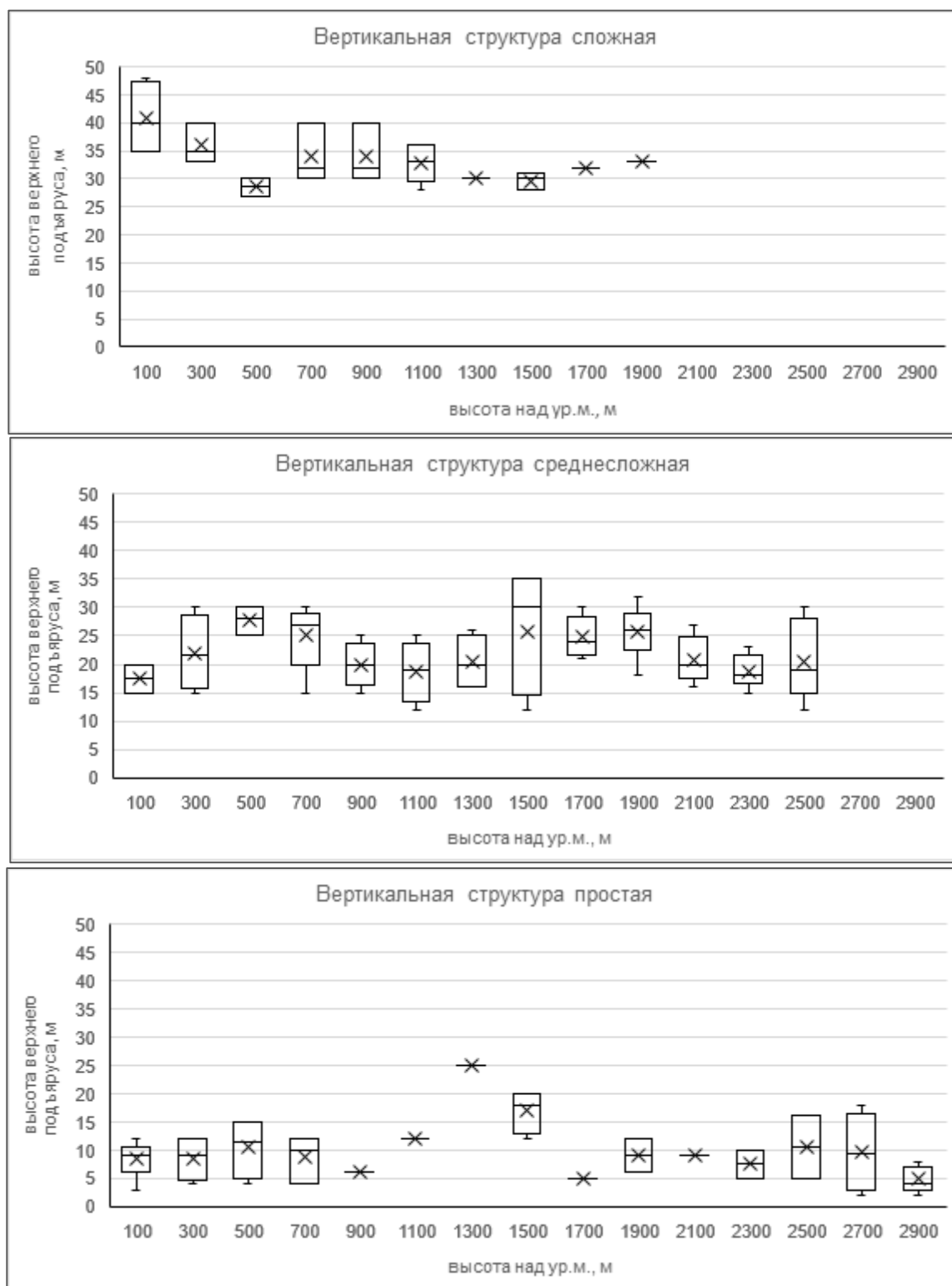


Рис. 6. Варьирование высоты древостоев со сложной, среднесложной и простой вертикальной структурой на высотном градиенте 0 – 2900 м над ур.м.

Средние подъярусы в сравнении с верхними и нижними отличает наибольшее разнообразие видов деревьев, имеющих, в отличие от деревьев верхней части полога, растянутые по времени сроки цветения и плодоношения. Деревья этих подъярусов также участвуют в экранировании почвы от инсоляции и пополнении в течение года листового опада, однако вклад в общий запас листового опада в разы меньше такового верхнего подъяруса. Это связано, в том числе и с тем, что многие виды деревьев сбрасывают

листья не полностью, т.е. частично листопадные. Средние подъярусы предоставляют деревянистым лианам пути продвижения к верхней части полога. Возобновляются деревья средних подъярусов в лесных «окнах».

Таблица 1.

Деревья верхней части полога, представленные в лесах со сложной, среднесложной и простой вертикальной структурой древостоя (имеются (+) или отсутствуют (-)).

Семейство, род	Структура			Семейство, род	Структура						
	Сложная	Среднесложная	Простая		Сложная	Среднесложная	Простая				
1	2			3	4			5	6		
1. Altingiaceae <i>Altingia</i>	-	+	-	14. Chrysobalanaceae <i>Parinari</i>	+	+	+	<i>Phyllanthus</i>	-	-	+
2. Amentotaxaceae <i>Amentotaxus</i>	-	+	-	15. Combretaceae <i>Anogeissus</i>	+	+	+	28. Fagaceae <i>Castanopsis</i>	+	+	-
3. Anacardiaceae <i>Allospondias</i>	-	+	+	<i>Combretum</i>	-	+	+	<i>Lithocarpus</i>	+	+	+
<i>Canarium</i>	+	+	-	<i>Lumnitzera</i>	-	-	+	<i>Quercus</i>	-	+	+
<i>Choerospondias</i>	-	+	+	<i>Terminalia</i>	+	+	+	29. Gentianaceae <i>Fagraea</i>	-	+	+
<i>Dacryodes</i>	+	+	-	16. Cornaceae <i>Alangium</i>	-	+	-	30. Hamamelidaceae <i>Exbucklandia</i>	+	+	-
<i>Dracontomelon</i>	+	+	-	<i>Mastixia</i>	-	+	-	<i>Liquidambar</i>	-	+	-
<i>Gluta</i>	-	-	+	17. Cruciferae <i>Cleome</i>	-	-	+	31. Hernandiaceae <i>Gyrocarpus</i>	-	+	-
<i>Holigarnia</i>	-	-	+	<i>Crateva</i>	-	-	+	32. Hypericaceae <i>Archytaea</i>	-	+	-
<i>Lannea</i>	-	-	+	18. Penaeaceae <i>Crypteronia</i>	-	+	+	<i>Calophyllum</i>	+	+	+
<i>Mangifera</i>	+	+	-	19. Cupressaceae <i>Calocedrus</i>	-	+	+	<i>Garcinia</i>	+	+	+
<i>Melanorrhoea</i>	-	+	+	<i>Fokienia</i>	+	+	+	33. Irvingiaceae <i>Irvingia</i>	+	+	+
<i>Pentaspadon</i>	-	+	+	20. Daphniphyllaceae <i>Daphniphyllum</i>	-	+	-	34. Ixonanthaceae <i>Ixonanthes</i>	+	+	-
<i>Protium</i>	-	+	-	21. Dipterocarpaceae <i>Anisoptera</i>	+	+	-	35. Juglandaceae <i>Engelhardia</i>	+	+	+
<i>Semecarpus</i>	-	+	+	<i>Dipterocarpus</i>	+	+	+	<i>Pterocarya</i>	+	+	-
<i>Spondias</i>	-	+	+	<i>Hopea</i>	+	+	+	36. Lauraceae <i>Beilschmiedia</i>	-	+	-
<i>Swintonia</i>	-	+	-	<i>Parashorea</i>	+	+	-	<i>Caryodaphnopsis</i>	+	+	-
4. Anisophylleaceae <i>Anisophyllea</i>	-	+	-	<i>Shorea</i>	+	+	+	<i>Cinnamomum</i>	+	+	+
5. Annonaceae <i>Meliosa</i>	-	-	+	22. Dracaenaceae <i>Dracaena</i>	-	+	+	<i>Litsea</i>	+	+	+
<i>Xylopia</i>	-	+	-	23. Ebenaceae <i>Diospyros</i>	-	+	+	<i>Neolitsea</i>	-	+	-
6. Apocynaceae <i>Alstonia</i>	-	+	+	24. Elaeocarpaceae <i>Elaeocarpus</i>	-	+	+	<i>Nothaphoebe</i>	-	+	-
<i>Wrightia</i>	-	+	+	<i>Sloanea</i>	+	+	-	37. Lecythidaceae <i>Careya</i>	-	-	+
7. Araliaceae <i>Rauwolfia</i>	-	+	+	25. Ericaceae <i>Craibiodendron</i>	-	+	-	38. Leguminosae <i>Adenanthera</i>	-	+	-
<i>Schefflera</i>	-	+	-	<i>Rhododendron</i>	-	+	+	<i>Afzelia</i>	+	+	-
8. Begoniaceae <i>Tetrameles</i>	+	+	+	26. Euphorbiaceae <i>Balakata</i>	-	+	-	<i>Albizia</i>	-	+	+
9. Betulaceae <i>Betula</i>	+	+	-	<i>Bischofia</i>	-	+	-	<i>Archidendron</i>	-	+	-
<i>Carpinus</i>	-	+	-	<i>Bridelia</i>	-	+	+	<i>Bauhinia</i>	-	+	+
10. Bretschneideraceae <i>Bretschneidera</i>	-	+	-	<i>Chaetocarpus</i>	-	+	-	<i>Butea</i>	-	-	+
11. Cannabiaceae <i>Aphananthe</i>	-	+	-	<i>Cleistanthus</i>	-	-	+	<i>Dalbergia</i>	+	+	+
12. Celastraceae <i>Lophopetalum</i>	-	+	-	<i>Endospermum</i>	+	+	+	<i>Dialium</i>	-	+	-
13. Cephalotaxaceae <i>Cephalotaxus</i>	-	+	-	27. Phyllanthaceae <i>Peltophorum</i>	+	+	+	<i>Erythrina</i>	-	+	+

1	2	3	4	5	6
<i>Pterocarpus</i>	+ + -	45.Myristicaceae		<i>Sorbus</i>	- - +
<i>Sindora</i>	+ + +	<i>Horsfieldia</i>	- + -	59.Rubiaceae	
<i>Xylia</i>	- + +	46.Myrtaceae		<i>Adina</i>	- + +
<i>Zenia</i>	+ + -	<i>Melaleuca</i>	- - +	<i>Haldina</i>	+ + +
39.Loganiaceae		<i>Syzygium</i>	- + +	<i>Hymenodictyon</i>	- + +
<i>Strychnos</i>	- - +	<i>Tristaniopsis</i>	- + -	<i>Mitragyna</i>	- + +
40. Lythraceae		47.Oleaceae		<i>Morinda</i>	- - +
<i>Duabanga</i>	- + -	<i>Schrebera</i>	- + +	<i>Neonauclea</i>	- + +
<i>Lagerstroemia</i>	+ + +	48.Palmae		60.Salicaceae	
<i>Pemphis</i>	- - +	<i>Caryota</i>	- + -	<i>Salix</i>	- - +
<i>Sonneratia</i>	- - +	<i>Livistona</i>	- + -	61.Sapindaceae	
41.Magnoliaceae		<i>Oncosperma</i>	- + +	<i>Acer</i>	- + -
<i>Kmeria</i>	+ + -	49.Pentaphylacaceae		<i>Harpullia</i>	+ + -
<i>Manglietia</i>	+ + -	<i>Pentaphylax</i>	- - +	<i>Lepisanthes</i>	- - +
<i>Michelia</i>	+ + +	50.Pinaceae		<i>Pometia</i>	+ + -
<i>Pachylarnax</i>	- + -	<i>Keteleeria</i>	+ - -	<i>Schleichera</i>	- + +
42.Malvaceae		<i>Pinus</i>	+ + +	62.Sapotaceae	
<i>Bombax</i>	+ + +	<i>Tsuga</i>	- + +	<i>Eberhardia</i>	- + +
<i>Excentrodendron</i>	+ + -	51.Platanaceae		<i>Madhuca</i>	+ + +
<i>Heritiera</i>	- + +	<i>Platanus</i>	- + -	<i>Manilkhara</i>	- + +
<i>Hibiscus</i>	- + +	52.Pentaphylacaceae		63.Scrophulariaceae	
<i>Pterocymbium</i>	- + +	<i>Ternstroemia</i>	- + +	<i>Markhamia</i>	- - +
<i>Pterospermum</i>	- + +	53.Polygalaceae		<i>Oroxylum</i>	- - +
<i>Scaphium</i>	- + -	<i>Xanthophyllum</i>	- + -	<i>Paulownia</i>	- + -
<i>Schoutenia</i>	- - +	54.Podocarpaceae		<i>Premna</i>	- - +
<i>Sterculia</i>	- + +	<i>Dacrycarpus</i>	+ + +	<i>Stereospermum</i>	- + +
<i>Tarrietia</i>	+ + -	<i>Dacrydium</i>	+ + +	<i>Vitex</i>	+ + +
<i>Thespesis</i>	- - +	<i>Nageia</i>	- + +	64.Schisandraceae	
43.Meliaceae		<i>Podocarpus</i>	- + +	<i>Illicium</i>	- + -
<i>Aglaiia</i>	- + +	55.Rhizophoraceae		65.Taxodiaceae	
<i>Aphanamixes</i>	- + -	<i>Bruguiera</i>	- - +	<i>Cunninghamia</i>	- + -
<i>Chysocheton</i>	- + -	<i>Erythroxylum</i>	- - +	<i>Glyptostrobus</i>	- - +
<i>Chukrasia</i>	- + -	<i>Kandelia</i>	- - +	66.Theaceae	
<i>Sandoricum</i>	+ + -	<i>Rhizophora</i>	- + +	<i>Adinandra</i>	- + -
<i>Toona</i>	+ + +	56.Rhodoleiaceae		<i>Eurya</i>	- - +
<i>Xylocarpus</i>	- - +	<i>Rhodoleia</i>	+ + +	<i>Gordonia</i>	- + -
44.Moraceae		57.Rhoipteleaceae		<i>Schima</i>	+ + +
<i>Artocarpus</i>	+ + -	<i>Rhoiptela</i>	- + -	67.Ulmaceae	
<i>Ficus</i>	+ + +	58.Rosaceae		<i>Celtis</i>	- + -
<i>Streblus</i>	- + -	<i>Eriobotrya</i>	- - +		

Деревья нижнего подъяруса цветут и плодоносят на протяжении года, среди них единичны полностью листопадные виды, листья на деревьях держатся 3–5 лет. Эти виды деревьев отличает наибольшая (по сравнению с деревьями средней и подростом верхней части полога) устойчивость к повреждениям, сопровождающим образование лесных «окон». С появлением последних происходит активизация роста и развития – обильное цветение, плодоношение и прорастание семян. Это ведет к экранированию в «окнах» поверхности почвы от чрезмерной инсоляции и сдерживает развитие трав и самосева лиан. Нижний подъярус формируют теневыносливые и, при этом, адаптирующиеся к прямой инсоляции виды деревьев. Этот подъярус окончательно формирует приземный микроклимат, параметры которого важны для прорастания, укоренения и дальнейшего роста деревьев верхних подъярусов. Так, освещенность под кронами деревьев нижнего подъяруса падает до 200 lx, тогда как над их кронами составляет 400–700 lx. Для возобновления деревьев подъяруса необходимы лесные «окна».

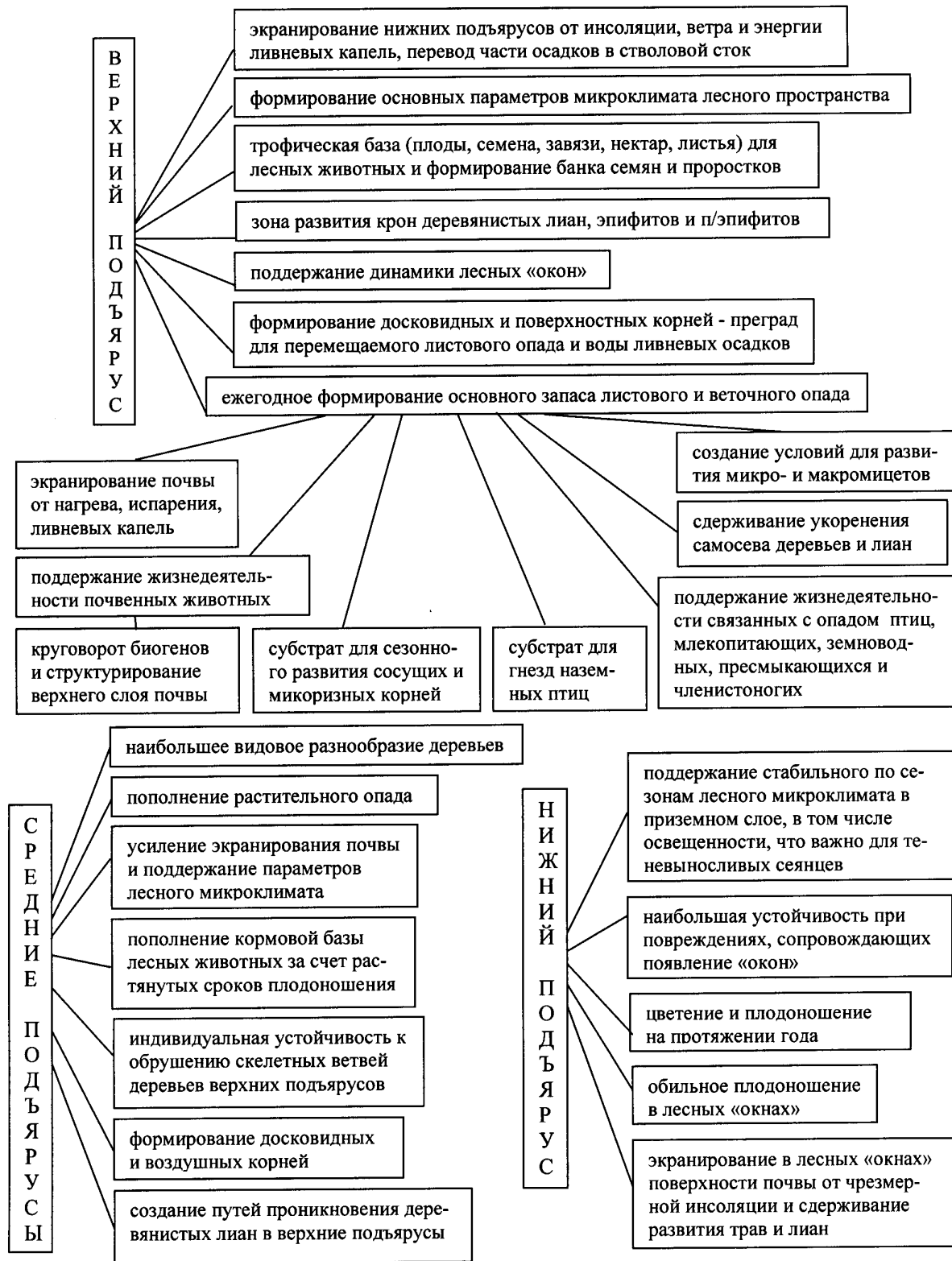


Рис. 7. Функциональные особенности подъярусов древостоев лесов

Важной особенностью для понимания функциональной роли подъярусов является продолжительность жизни деревьев в разных частях полога леса. Согласно подсчетам годовых колец на пнях (диаметром 100–120 см) голосеменных деревьев *Fokienia hodginsii* (Cupressaceae), *Pinus dalatensis*, *P. krempfii* (Pinaceae), их возраст составляет 600–800 лет. Еще более значительным представляется возраст деревьев *Cunninghamia konishii* (Taxodiaceae) с диаметром ствола более 2,5 м. По нашим оценкам, основанным

на наблюдениях за ростом и развитием деревьев из разных частей полога, продолжительность жизни лиственных деревьев верхней части полога высокоствольных лесов – 300–500 лет, средней – 75–300 лет, нижней части полога – 50–100 лет.

Наряду с ярусом деревьев в структуре тропических лесных растительных сообществ Вьетнама представлен ярус трав, который, как правило, в силу низкой освещенности приземного пространства высокоствольных сомкнутых лесов – фрагментарный. Сомкнутый ярус трав характерен для древостоев с разреженным пологом и примером таких лесов на равнинах являются светлые диптерокарповые леса (рис. 4), а в горах – леса в условиях постоянно высокой влажности воздуха и почв – в частности, по долинам рек и на примыкающих к ним склонам. В таких случаях ярус трав нередко подразделяется на подъярусы.

В ходе проведенных работ установлено, что леса с **простой структурой древостоев** (1–2 подъяруса) сформировались на равнинах и низкогорных плато с супесчаными, суглинистыми и глинисто-глеевыми почвами, на участках с близким залеганием от поверхности платформы из кристаллических сланцев, гранита и базальта. В ландшафте гор это чистые сосняки, а также моховые облачные леса и криволесье на горных вершинах и открытых гребнях хребтов с отметками свыше 2000 м над ур. м. Леса с 3 подъярусами или со **среднесложной структурой** занимают на равнинах участки с почвами легкого гранулометрического состава и понижения с торфяно-глеевыми почвами, которые сформировались среди дренированных ферраллитных почв. В горах такие леса формируются на склонах и гребнях хребтов, на плато, платообразных вершинах, в котловинах и по долинам рек – на почвах разного гранулометрического состава и разных кор выветривания. Леса из 4–5 подъярусов или со **сложной структурой древостоя** произрастают на выровненных территориях в благоприятных для деревьев по эдафону и гидрологии условиях. На равнинах такие леса сформировались на глубоко дренированных ферраллитных почвах с профилем 3–5 м, а также на аллювиальных почвах долин и по берегам рек, в горном рельефе – на пологих склонах, обширных террасах и в межгорных долинах, где глубина корнеобитаемого слоя составляет не менее 1 м.

Обсуждение результатов

Исследования в муссонных тропических лесах Вьетнама – различных по высоте и составу слагающих их видов деревьев – подтвердили многоярусность вертикального строения этих древостоев. В структуре лесов представлены ярус деревьев (подразделяемый на подъярусы – в количестве до 5) и ярус трав. Расхождение по выделению не одного, а нескольких ярусов / подъярусов деревьев, которого придерживаются многие исследователи тропиков, не является, как мы полагаем, принципиальным, а скорее дань Российской школе. Что касается числа составляющих (до 5-ти у нас и не более 4-х у других авторов), то в лесах со сложной структурой 5-й верхний подъярус является «дополнительным» к четырем и представлен деревьями-эмерджентами с удаленными друг от друга кронами. В обоих случаях (леса с 4 и 5 подъярусами) средняя часть полога представлена двумя, нижняя – одним подъярусами деревьев.

Утверждение, что ярус кустарников и полукустарников (или подлесок) не характерен для коренных лесов Вьетнама и наше несогласие с выделением вьетнамскими лесоведами яруса кустарников подкрепляются тем, что в приводимых исследователями списках видов по ярусам леса указаны деревья, а не кустарники. Так, для лесов о. Фукуок (Phu Quoc) у Чунга (Thai Van Trung, 1999) это *Baccaurea sapida* (Euphorbiaceae), *Caryota mitis* (Palmae), *Dillenia indica* (Dilleniaceae); для лесов заповедника Пумат (Pu Mat) (Nguen Nghia Thien, Nguyen Thanh Nhan, 2004) – виды из родов *Antidesma*, *Aporusa*

(Euphorbiaceae), *Ardisia* (Primulaceae), *Ixora*, *Lasianthus* (Rubiaceae). Наличие яруса гигантских трав, под которыми исследователи (Ричардс, 1961) понимают крупные бамбуки (Gramineae – Bambusoideae), применительно к лесам Вьетнама является скорее исключением, чем нормой. Это связано с тем, что в коренных лесах, в том числе высокоствольных со сложной многоуровневой структурой древостоя, бамбуки представлены одиночными стеблями, реже – куртинами (и, в основном, на влажных участках). Леса с подъярусом бамбуков отмечены на севере страны. Так, в провинции Лаокай в массиве Ванбан (Van Ban) на широких отрогах горных хребтов с отметками 850–900 м над ур.м. под кронами деревьев высотой 20–25 м, доминировал бамбук из рода *Phyllostachys* sp. высотой 10–12 м (Kuznetsov et al., 2008). Заросли бамбука («бамбуковые леса») обычны после разрушения коренных лесных древостоев в результате выборочных и близких к сплошным рубок.

Заключение ряда исследователей об отсутствии четкой ярусности в тропических лесах и даже наличии «вертикального континуума» (Миркин, Наумова, 2012), возникающее вследствие визуальной заполненности лесного полога кронами деревьев и их подроста, а также крупных лиан, как бы объединяющих полог в единое целое, проистекает, как мы полагаем, в том числе из исключительного обилия видов деревьев (трудно идентифицируемых в случае непродолжительного пребывания в лесах) и недостатка знаний их биологии. Ведущий специалист по диптерокарповым (зональным) лесам Индонезии P. Ashton (1988) подчеркивает важность изучения биологии главных видов лесных деревьев именно в качестве «ключа для понимания функционирования всего тропического лесного сообщества». Безусловно, задача идентификации деревьев требует опыта и навыка работы в тропических лесах региона. Применительно к конкретному лесу только после составления общего представления о составе деревьев (на уровне вида или хотя бы рода) и размерных характеристик взрослых деревьев можно переходить к выделению в древостое слагающих его подъярусов. В целом, наличие ярусности подтверждается тем, что разным частям полога присущи определенные функциональные особенности.

В пологе леса с продвижением от верхнего к нижним подъярусам сокращается продолжительность жизни деревьев. Верхний подъярус древостоя неизменен в течение нескольких сотен лет. Это актуально в контексте запуска и поддержания динамических процессов (в т.ч. природных нарушений) в пологе. На протяжении этого периода в таковые вовлечены, преимущественно, деревья подчиненных подъярусов, которые сменяются несколько раз за время жизни деревьев верхней части полога.

Необходимость адаптации к прямой инсоляции, ветровому воздействию, суточным колебаниям температуры и влажности воздуха деревьев верхней части полога и к затенению – нижней, ограничивает число видов, слагающих эти подъярусы, тогда как усредненные условия среды в средней части полога лесов поддерживают наибольшее разнообразие видов деревьев.

Обращаясь к причинам, обуславливающим различия вертикальной структуры древостоев, отметим следующее. На равнинах в условиях единого муссонного климата принадлежность лесных древостоев к той или иной категории сложности вертикальной структуры определяется прежде всего эдафофоном (рис. 8). Для деревьев муссонных или сезонно-влажных лесов важнейшее значение имеет доступность влаги в почве на протяжении всего года. Лесные почвы различаются глубиной залегания водоупорного слоя, скоростью фильтрации атмосферной воды, характером перераспределения воды в глубоких слоях и аккумулялирующей способностью почво-грунтов. Водоупорными являются слои осадочных (сланцы, кальциты) и магматических (базальты, граниты) пород. Такие слои залегают на разной глубине, начиная с поверхности, т.е. от 0 и до 7 и даже 10 м (сланцы, базальты). Характер залегания материнских пород в ландшафте макроскульптур варьирует от мозаичного (участками) до сплошного (в виде щитов или

плит). Глубокие и дренированные почвы способствуют стратификации (ярусности) корневых систем деревьев разных подъярусов, а близкое залегание водоупора такую возможность нивелирует. Так, леса со сложной структурой из пяти подъярусов в условиях муссонного климата сформировались на глубоко дренированных красно-желтых ферраллитных почвах с мощным (до 4 м) слоем пизолитового латерита. В таких эдафических условиях основная часть атмосферной воды влажного сезона (1100–1500 мм) аккумулируется в почво-грунтах. Грунтовая вода в слоях глин оказывается доступной для деревьев верхних подъярусов в течение всего года, так как глубокие (5–7 м) вертикальные корни этих деревьев (прежде всего из рода *Dipterocarpus*) достигают водоносных слоев (Кузнецов, 2003).



Рис. 8. Вертикальная структура лесов равнин юга Вьетнама

В лесах гор основными факторами, определяющими специфику вертикальной структуры древостоев, являются: термический режим, сопряженный с высотой над уровнем моря, экспозиция макросклонов и экранированность для преобладающих по высоте элементов рельефа от сезонных воздушных масс (ветровая и дождевая тень), угол наклона поверхности, мощность корнеобитаемого слоя и дренированность почв, обеспечивающая отвод избыточной почвенной влаги, но, что особенно важно, не подстилающие породы.

Заключение

Муссонные тропические леса Вьетнама сформировались в результате длительного флоро- и структурогенеза и обладают специфической вертикальной организацией или структурой. Основными строителями тропических лесных сообществ являются более 3 тысяч видов деревьев, из которых 340 видов участвуют в сложении верхней части полога лесов и являются средобразующими. Кроны этих деревьев экранируют поверхность почвы от избыточной инсоляции и разрушительного воздействия мощных ливней, определяют основные параметры лесного микроклимата и поступление растительного опада – основного источника биогенов. Высота лесов колеблется от 2 до 48 м. Наибольшая дифференциация свойственна древесному пологу или ярусу, который подразделяется на части, слои или подъярусы. Древесные подъярусы слагают определенные виды деревьев, которые локализуются в конкретном интервале высот. Количество подъярусов в лесах от одного до пяти. Проблемность выделения или распознавания подъярусов в пологе тропических лесов (особенно высокоствольных) при полевой (экспедиционной) работе связана со сложностью идентификации большого числа видов деревьев (многие из которых не находятся в фазе цветения или плодоношения на момент наблюдений, а иногда и без листьев), а также с необходимостью знания их биологии. Древесные подъярусы имеют разные

функциональные особенности, в т.ч. различаются продолжительностью фаз сезонного состояния в годовом цикле, а также полнотой ежегодной смены листьев.

В зависимости от числа подъярусов вертикальная структура лесных древостоев может быть простой – с одним-двумя подъярусами, среднесложной – с тремя и сложной – с четырьмя или пятью подъярусами. В последнем случае это преимущественно леса высотой 40 и более метров, произрастающие на равнинах в условиях муссонного климата со среднегодовыми температурами около 25°С и суммарными осадками 1900–2200 мм в год на глубоко дренированных ферраллитных почвах с профилем 3–5 м. Именно такие леса наиболее близки к типичным постоянновлажным или дождевым лесам как квинтэссенции понятия тропический лес.

Категория сложности вертикальной структуры лесных древостоев в условиях тропического муссонного климата определяется температурным режимом, особенностями эдафотопы (эдафотоп и гидрология) и способностью коры выветривания аккумулировать атмосферную воду дождевого сезона при необходимой разгрузке воды в русла лесных водотоков – постоянных и временных (сезонных). В целом, при переходе лесных почв от глубоко дренированных на градиентах ослабления дренажа и /или уменьшения мощности корнеобитаемого слоя происходит упрощение вертикальной структуры лесных древостоев с сокращением числа древесных подъярусов с пяти до одного.

Знания о вертикальной структуре коренных лесных древостоев, составе видов деревьев, их биологических и экологических особенностях, сообитании разных видов деревьев, в т.ч. содоминировании в разных экотопах, крайне востребованы для решения задач восстановления нарушенных тропических лесов и разработки научных схем воссоздания лесов на обезлесенных территориях, различающихся по эдафотопу, гидрологии, рельефу и климату.

Список литературы

1. Баранов П.А. В тропической Африке. – М: Изд. АН СССР, 1956. – 275 с.
2. Бородин А.М., Кулацкий К.К., Правдин Л.Ф. Тропические леса. – М.: Лесн. пром., 1982. – 296 с.
3. Вальтер Г. Растительность земного шара. Т. I. Тропические и субтропические зоны. Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1968. – 551 с.
4. Ву Ты Лан Вьетнам. Географические сведения. – Ханой: Изд-во лит. на ин. яз., 1980. – 280 с.
5. Горнунг М.Б. Постоянновлажные тропики (Изменение природной среды под воздействием хоз. деятельности). – М: Мысль, 1984. – 239 с.
6. Добби Э. Юго-Восточная Азия. / Пер. с англ. – М.: Ин. лит-ра, 1952. – 350 с.
7. Дылис Н.В. Леса Южного Китая и их изучение // Изв. АН СССР, Сер. биол. – 1958. – №4. – С. 482–489.
8. Кабанов Н.Е. Тропическая лесная растительность провинции Юньнань (КНР). – М.: Наука, 1971. – 183 с.
9. Кузнецов А.Н. Растительность массива Фансипан // Материалы зоолого-ботанических исследований в горном массиве Фансипан (северный Вьетнам). Сер. «Биоразнообразие Вьетнама». – Москва–Ханой, 1998. – С.81–128.
10. Кузнецов А.Н. Первичные тропические леса и биотопы горного массива Чыонг Шон на территории Национального парка Ву Куанг, Вьетнам // Материалы зоолого-ботанических исследований в Национальном парке Ву Куанг. Сер. «Биоразнообразие Вьетнама». – Москва–Ханой, 2001. – С. 51–161.
11. Кузнецов А.Н. Тропический диптерокарповый лес. – М.: ГЕОС, 2003. – 140 с.

12. Кузнецов А.Н. Структура и динамика муссонных тропических лесов Вьетнама. – Автореф. дис... д-ра биол. наук. М, 2015. – 49 с.
13. Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П. Растительность карстового горного массива Ке Банг – Фон Ня, провинция Куанг Бинь, центральный Вьетнам // Материалы зоолого-ботанических исследований в природном районе Ке Банг Национального парка Фон Ня. Сер. «Биоразнообразия Вьетнама». М.: ГЕОС. – Москва–Ханой, 2003. – С. 21–78.
14. Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П. Лесная растительность острова Фу Куок // Материалы зоолого-ботанических исследований на острове Фу Куок, Южный Вьетнам. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011а. – С. 7–48.
15. Кузнецов А. Н., Кузнецова С. П. Лесная растительность: видовой состав и структура древостоев // Структура и функции почвенного населения тропического муссонного леса (национальный парк Кат Тьен, Южный Вьетнам). – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011б. – С. 16–43.
16. Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П. Особенности тропической лесной растительности Кардамоновых гор Камбоджи // Бюлл. МОИП, отд. Биол. – 2012. – Т. 117. – Вып. 5. – С. 39–50.
17. Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П., Фан Лыонг Растительность горных массивов Би Дуп – Хон Ба – южной оконечности меридионального гималайского хребта Чыонг Шон // Материалы зоолого-ботанических исследований в горных массивах Би Дуп и Хон Ба, Далатское плато, южный Вьетнам. «Биоразнообразия Вьетнама». – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. – С. 9–115.
18. Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П., Фан Лыонг Лесная растительность горного массива Нгок Линь, Центральный Вьетнам // Материалы зоолого-ботанических исследований в горном массиве Нгок Линь, провинция Кон Тум, Центральный Вьетнам. «Биоразнообразия Вьетнама». – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2013. – С. 9–56.
19. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности. – Уфа: АНРБ, Гилем, 2012. – 488 с.
20. Пендлтон Р.Л. География Таиланда. / Сокр. пер. с англ. – М.: Прогресс, 1966. – 239 с.
21. Разумовский С.М. Избранные труды. – М.: КМК, 1999. – 560 с.
22. Ричардс П. Тропический дождевой лес. / Пер. с англ. – М.: ИЛ, 1961. – 183 с.
23. Сукачев В.Н. В тропических лесах Китая (из впечатлений 1956-1957 гг.) // Вестн. АН СССР. – 1958. – № 5. – С. 106–113.
24. Федоров Ан.А. Влажнотропические леса Китая // Бот. журн. – 1958. – Т. 43, № 10. – С. 1385–1409.
25. Фридланд В.М. Почвы и коры выветривания влажных тропиков. – М.: Наука, 1964. – 321 с.
26. Ashton P.S. Dipterocarp biology as a window to the understanding of tropical forest structure // Ann. Rev. Ecol. Syst. – 1988. – Vol. 19. – P. 347–370.
27. Blanc L., Maury-Lechon G., Pascal J.-P. Structure, floristic composition and natural regeneration in the forests of Cat Tien National Park, Vietnam: an analysis of the successional trends. // J. of Biogeography. – 2000. – Vol. 27. – P. 141–157.
28. Eames J.C., Kuznetsov A.N. et al. A preliminary Biological Assessment of the Kon Plong Forest Complex, Kon Tum Province, Vietnam. – Hanoi: WWF Indochine Programme, 2001. – 102 p.
29. Global forest resources assessment 2015. How are the world's forest changing? Food and agriculture organization (FAO). – Rome, 2015. – 5p.
30. Kuznetsov A.N. Vegetation Types of the Na Hang Nature Reserve // A biodiversity survey and assessment of selected sites within Na Hang Nature Reserve and Ba Be National Park, Tuyen Quang and Bac Kan provinces, Vietnam, by Le Trong Trai, Eames, J.C, Furey, N.M., Kuznetsov, A.N., et al. – Hanoi: PARC Project, 2003. – P. 4–14.

31. *Kuznetsov A.N.* Rapid botanical assessment of Tam Dao National Park / Detailed botanical survey. – Hanoi, 2006. – 74 p.
32. *Kuznetsov A.N.* Flora Survey in the Biodiversity Conservation Corridors Initiative (BCI), Pathoumphone District, Champasak Province, Laos. WWF Greater Mekong Lao Country Programme. – Vientiane: WWF, 2008. – 34 p.
33. *Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P., Phan Luong* Лесная растительность горного хребта Хоанг Лиен Шон // Природа горного хребта Хоанг Лиен Шон. – Ханой, 2008. – С. 21–79. (In Vietnamese).
34. *Manokaran N., LaFrankie J.V., Kochummen K.M., Quan E.S., Klan J.E., Aston P.S., Hubbell S.P.* Methodology of the fifty hectare research plot at Pasoh forest reserve. – Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur, 1990. – 76 p.
35. *Nguyen Nghia Thin, Nguyen Thanh Nhan* Biodiversity of Plants at Pu Mat National Park. – Hanoi, 2004. – 248 p. (In Vietnamese)
36. *Richards P.W.* The tropical rain forest and ecological study / Second edition. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996. – 575 p.
37. *Schmid M.* Vegetation du Viet-Nam: le massif Sud-Annamitique et les regions limitrophes. – Paris, 1974. – 243 p.
38. *Thai Van Trung* Forest Tropical Ecosystems of Vietnam. – Hanoi: Science and Technique, 1999. – 298 p. (In Vietnamese).
39. *Yen V.T., Cochard R.* Structure and diversity of a lowland tropical forest in Thua Thien Hue Province // Redefining Diversity and Dynamics of Natural Resources Management in Asia. – 2017. – Vol. 3. – P. 71–85.

FEATURES OF VERTICAL STRUCTURE OF TREES OF INDIGENOUS MONSOON TROPICAL FORESTS OF VIETNAM

Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P.

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russian Federation

Russian-Vietnamese Tropical Center, Hanoi, Socialist Republic of Vietnam

e-mail: forestkuz@mail.ru

Researchers in tropical forests, looking at their vertical structure, either point at more-layered as a characteristic feature of community or stand on point that there is lack of layers or even a "vertical continuum" in tropical forests. The reason for the obstructing of the stratification of the forest canopy is called the exceptional abundance of species, besides the scattering of tree height. Based on our researches (1989–2017) in Vietnam's primary monsoon rainforests, it is proposed that a layer of trees is divided into sub-layers. The approaches to this challenge are being considered. It is based on an environmental approach. The reasonableness of stratification of the tree layer into sub-layers is confirmed by their functional features, which were revealed. The examples of Vietnam forests show that the vertical structure of a forest stand can be simple - with 1-2 sub-layers, medium complex - with 3 sub-layers and complex - with 4 or 5 sub-layers. Forests with a simple structure were formed on the plains and low-mountain plateaus with sandy, loamy and clayey-gleyic soils, in areas with close occurrence of crystalline shale and basalt from the platform surface. In the mountain landscape there are pine trees, as well as mossy cloud forests and curved forests on the mountain peaks and open ridges on the elevation 2000–2900 meters (upper limit level of forest distribution). Forest stand with medium complex structure situated on the plains areas with light granulometric composition soils and depression areas with peat-gleyic soils, which were formed among the drained ferrallite soils, in the mountains - formed on the slopes and ridges, on the plateau, plateau-like peaks, in the hollows and along river valleys - on soils of different granulometric composition and different crusts of weathering. The upper limit level of distribution is on the elevation 2500 m. Forests with complex structure grow on leveled areas under favorable conditions for trees in terms of edaphic and hydrology conditions. On the plains, they form on deep-drained ferrallite soils with a profile of 3–5 m, as well as on alluvial soils in intermountain valleys and along river banks, in the mountains - on gentle slopes, extensive terraces, intermountain valleys with a root depth at least 1 m. Upper limit level of forest distribution with five sub-layers is on

the elevation 800 m, with four sub-layers is on the elevation 1850 m. The complexity category of the vertical structure of forest stands is determined by the temperature regime, features of the edaphic condition and hydrology, the ability of crusts of weathering to weather the atmospheric water of the rain season. In general, at transition of forest soils from deeply drained at the gradients of drainage weakening and/or reduction the capacity of the root layer there is a simplification of the vertical structure of forest stands with a reduction in the number of tree sub-layers from five to one.

Keywords: monsoon rainforest, vertical tropical forest structure, Vietnam.

Кузнецов доктор биологических наук, согендиректор Совместного
Андрей Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского
Николаевич и технологического центра, e-mail: forestkuz@mail.ru

Кузнецова старший инженер Института тропической экологии, Совместный
Светлана Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и
Павловна технологический центр

Поступила в редакцию 18.05.2020 г

UDC 614.84:253(597)

APPLYING MULTIVARIATE STATISTICAL METHODS FOR PREDICTING PINUS FOREST FIRE DANGER AT BIDOUP-NUI BA NATIONAL PARK

Le Van Huong¹, Nguyen Ngoc Kieng², Nguyen Dang Hoi³, Dang Hung Cuong^{3,4}

¹Bidoup-Nui Ba National Park, Danhim Village, Lacduongdistrict, Lamdong Province, Vietnam

²Hochiminh University of agriculture and forestry, Ho Chi Minh, Vietnam

³Vietnam – Russia Tropical Center, Ha Noi, Vietnam

⁴Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don, Russia

e-mail: lvhuongdl@gmail.com

The paper presents results of applying multivariate statistical methods (*CCA*: canonical correlation analysis and *DFA*: discriminant function analysis) for determining canonical correlation between a set of variables $\{T, H, m_1, K\}$ and a set of variables $\{Pc, Tc\}$ (T : temperature, H : relative humidity, m_1 : mass of dry fuels, K : burning coefficient, $K = m_1/M$, with M : total mass of fire fuels, Pc : % burned fuels and Tc : burningtime) as well as through results of discriminant function analysis *DFA* to set up models of predicting forest fire danger at Bidoup - Nui Ba National Park. From research data in November, December, January, February and March in the period of 2015-2017 from 340 sampling plots (each 2mx2m), at Bidoup - Nui Ba National Park, we carry on data processing on Excel (calculating) and Statgraphics (multivariate statistical methods: *CCA&DFA*). Three results were revealed from our analysis: (i) Canonical correlation between a set of variables $\{T, H, m_1, K\}$ and a set of variables $\{Pc, Tc\}$ is highly significant ($R = 0.675581$ & $P = 3.17 \cdot 10^{-58} \ll 0.05$); therefore, we can use a set of variables $\{T, H, m_1, K\}$ in models of predicting forest fire danger, (ii) Coefficients of standardized & unstandardized canonical discriminant functions (*SCDF & UCDF*) and Fisher classification function (*FCF*) are determined, (iii) Setting up two models of predicting forest fire danger (Mahalanobis distance model & Fisher classification function model).

Key words: Bidoup-Nui Ba, canonical correlation analysis, discriminant function analysis, Fisher classification function, models of predicting forest fire danger.

Introduction

Forest fire is common in both tropical and temperate regions, especially during drought period. Forest fire depends on many different factors including temperature, humidity, the status of vegetation, the layer of fallen leaves. Of these factors, temperature (T) and relative humidity (H) were often used to establish formulas to access the risk of forest fire (Angstrom, 1942; Chandler, 1983; Viney, 1991; Cheney & Sullivan, 1997; Sharples, 2009).

However, the practice shows that the characteristics of fire materials in the forest also play an important role. Our researches in Bidoup – Nui Ba National Park on the relationship between temperature (T) and relative humidity (H) to forest fire risk also showed a negative correlation [$H = (14.2545 - 0.261584 \cdot T)^2$, with a nonlinear correlation coefficient $R = 0.784535$ and probability level significance $P = 3.89 \cdot 10^{-72} \ll 0.05$]. It means that, when the temperature rises and the humidity of the forest environment is low, it will increase the evaporation of the fire material, making the material dry faster, leading to a higher risk of forest fires. Regarding the status of vegetation and the risk of forest fires, Le Van Huong (2012) studied and proposed the burning coefficient K and the mass of dry fuels m_1 playing an important role in the forecasting model of forest fire risk. The coefficient K (with $K = m_1 /$ total mass of fire fuels M ; $M = m_1 + m_2$, where m_2 is the mass of fresh materials) and the mass of dry fuels m_1 shows a high correlation with the burned fuels Pc [$Pc = \exp[b_0 + b_1 \cdot K + b_2 \cdot m_1 + b_3 \cdot \ln K + b_4 \cdot \ln(m_1) + b_5 \cdot \sqrt{K} + b_6 \cdot \sqrt{m_1} + b_7/K + b_8/m_1 + b_9 \cdot \sqrt{K^3} + b_{10} \cdot m_1^2 + b_{11}/K^2 + b_{12}/m_1^2]$ with multiple correlation coefficient $R = 0.98$ and probability level significance $P_{\text{model}} = 1.39 \cdot 10^{-9} \ll 0.05$ and $P_{b_i} < 0.05$; $i = 1, 2, \dots, 12$. This is understandable, a large coefficient K is only a necessary condition but not enough for a fire to develop, and a sufficient condition for a large fire to grow, the mass of dry fuels m_1 must be large enough. To clarify the dependence

of forest fire on factors: temperature, humidity and state of vegetation, the article applies multivariate statistical methods to analyze data with a combination of all four factors for the forecasting model of pine forest fire risk in Bidoup - Nui Ba National Park.

Data Bases and Research Methods

Research data was collected in November, December, January, February and March in the period of 2015-2017 from 340 sample plots with size of 2m x 2m (Table 1). At each plot measured temperature T (°C) and humidity H (%). On the surface of each plot, classify the dry and flammable fuels (m_1 , kg) or fresh and inflammable materials (m_2 , kg). However, the mass of fresh materials can turn dry fuels as the fire develops. Therefore, the total mass $M = m_1 + m_2$ contains the potential to grow into a great fire later, while m_1 and $K = m_1/M$ are the factors for the fire to form and develop as mentioned above. However, at the time of prediction before the fire has formed, M can be calculated from m_1 and K [$M = m_1/K$, and $m_2 = M - m_1 = m_1 / (K - m_1)$], so it is not necessary set M and m_2 in the forecasting model. After determining the masses of m_1 and m_2 , mix the amount of dry fuels and fresh materials together and burn to collect the data Pc (% % burned fuels) and Tc (burning time, minutes). Burning time Tc denotes the rate of burning, meaning the shorter the burning time, the more intense the fire rate and vice versa. Thus, the variables Pc and Tc that describe the results of the fire should be called as a set of dependent variables. The variables T , H , m_1 and K which are the causes of the fire should be called as a set of independent variables.

Table 1.

Time, location, forest type of 340 sample plots conducting data collection in Bidoup - Nui Ba National Park

No.	Time	Location	Forest type	Quantum of sample plots
		Sub-area		
1	20/11/2015	145A	Natural forest	3
2	29/12/2015	27	Natural forest	10
3	30, 31/12/2015	26	Plantation forest in 2002	40
4	16, 17/01/2016	103	Plantation forest in 2002	30
5	24, 25/01/2016	76	Plantation forest in 1996	30
6	30/01/2016	145A	Natural forest	27
7	01/02/2016	59	Plantation forest in 1998	30
8	28/02/2016	80	Plantation forest in 1996	15
9	5,6/03/2016	96C	Plantation forest in 1997	35
10	22, 23/03/2016	124	Plantation forest in 1991	30
11	29, 30/11/2016	100	Plantation forest in 2011	45
12	18/02/2017	102A	Plantation forest in 1999	15
13	19/02/2017	75B	Plantation forest in 1999	15
14	19/02/2017	93	Plantation forest in 1998	15
Total				340

Note: Collect data to experimentally verify the fire risk forecast models in Bidoup - Nui Ba National Park

In order to have basis data for calculation in the forest fire forecast at a certain time in Bidoup – Nui Ba National Park, sample plots (size 2m x 2m) were established. The T, H, m_1 and M data, with K calculated by the formula $K = m_1/M$ were collected in the sample plots. Then we took the average values of the T, H, m_1 and K variables from those sample plots and calculated Mahalanobis multivariate distances based on the correlation discriminant functions CDF and the values of the Fisher’s classification functions (FCF). From these calculation results, a fire risk forecast for Bidoup – Nui Ba National Park will be determined. For testing, we collected a database of variables included in the calculations in the models at different times during the dry season in Bidoup – Nui Ba National Park, the results are summarized in the Table 2.

Table 2.

The database (T, H, m₁, K) collected at different times in the dry season in Bidoup – Nui Ba National Park

Time	T	H	m ₁	K
November	27.00	51.40	0.85	0.141
December	29.26	55.14	1.58	0.652
January	25.04	73.66	2.40	0.542
February	25.00	53.40	5.93	0.85
March	30.24	28.12	1.54	0.522

Note: T and H are the measurements of temperature (°C) and humidity (%) on the surface of forest land at the time of the survey; K = m₁/M, where m₁ is the weight of dry fuels per sample plot and M is the total weight of both dry fuels and fresh materials per sample plot.

This input database (including variables T, H, m₁ and K, at different times during the dry season from November to March) is put into actual testing of models (model Mahalanobis and Fisher's classification function model). Results will be presented in the following sections.

Data were processed using Excel (calculation) and Statgraphics software (multivariate statistical methods such as CCA: canonical correlation analysis, and DFA: discriminant function analysis). The basic contents of the canonical correlation analysis (CCA) method and discriminant function analysis (DFA) method are as follows:

(i) Unlike the problem of data analysis on correlation and regression, using univariate statistical methods is data collected consisting of one or more a set of independent variables x_i but only a single dependent variable y . In the field of using multivariate statistical methods to perform canonical correlation analysis (CCA), data collection consists of a set of independent variables x_i and a set of dependent variables y_i . The object of canonical correlation analysis is to convert the original X and Y variable sets (in this article $X = \{T, H, m_1, K\}$ and $Y = \{Pc, Tc\}$) into pairs canonical variable (U_i, V_i) as its representative. Each pair of canonical variables (U_1, V_1), ..., (U_r, V_r) are completely independent of each other, with pairs of canonical variables (U_1, V_1) being the best, most important and reliable representatives, followed by (U_2, V_2), ..., (U_r, V_r) (Wilks, 2011). As a result of the canonical correlation analysis, we can evaluate the correlation of the X and Y variables sets by the correlation coefficients R , $R = \sqrt{\lambda}$ with λ is eigenvalue, and the probability of significance P , show visualization on the ordination map (Wilks, 2011) of research objects (in this article, the results are derived from the data of 340 sample plots).

(ii) The purpose of the discriminant function analysis (DFA) method (Poulsen, French, 2004) is based on the data of x_i variables to separate the research objects into different groups. For example, in this article, there are 4 variables x_i (T, H, m₁, K) that separate the study objects (340 sample plots) into 5 levels of forest fire risk. And if there are groups in practice, we need to consider whether these groups are different from a statistical stand point. The results of the discriminant function analysis give us the following major products:

(a) Canonical discriminant functions (CDF), together with standard correlation coefficients R , $R = \sqrt{\frac{\lambda}{1+\lambda}}$ with λ being eigenvalue and the probability probabilities P

corresponding to the functions are used in many fields (Dillon, 1984; Cruz-Castillo, 1994; Edzard, 2002; Matthew, 2010). From these canonical discriminant functions, we can establish a predictive model for forest fire risk based on the multivariate distance Mahalanobis (Mahalanobis, 1930; Rao, 1973a, 1973b; Gupta, 1998; Ghosh, 1998; McLachlan, 1999).

(b) Fisher's classification functions were first introduced by Fisher (Srivastava, 2002; Anja Hashagen, 2009) or Fisher's linear discriminant functions. We can establish a model for forecasting the risk of forest fire based on this set of Fisher's classification functions.

Results and Discussion

The results of the standard correlation analysis between the independent and dependent variable sets

In order to prove that the independent variable $\{T, H, m_1, K\}$ and the dependent variable $\{Pc, Tc\}$ have statistically reliable correlations, the canonical correlation analysis (CCA) method has been applied for processing research data.

The results of canonical correlation analysis between independent variables $\{T, H, m_1, K\}$ and dependent variables $\{Pc, Tc\}$ on Statgraphics are as follows:

$X = -0.102 * T' + 0.501 * H' + 0.417 * m_1' - 0.988 * K'$ (for T', H', m_1' and K' are normalized variables from the variables T, H, m_1 and K) is the positioning function on the horizontal axis of the independent variable set $\{T, H, m_1, K\}$ (set 1).

$Y = 0.527 * Tc' - 0.839 * Pc'$ (with Tc' and Pc' are the standardized variables from Tc and Pc variables) is the positioning function on the vertical axis of the dependent variable set $\{Pc, Tc\}$ (set 2).

Convert T, H, m_1 and K variables into normalized variables T', H', m_1' and K' as follows: $T' = (T - m_T) / S_T$, where m_T is the average of T , and S_T is the standard deviation for T ; similar to the standardized variables H', m_1' and K' .

The standard correlation coefficient between the independent variable $\{T, H, m_1, K\}$ and the dependent variable set $\{Pc, Tc\}$ is $R = 0.675$, with probability significance $P = 3.17 * 10^{-58} \ll 0.05$ (fig 1).

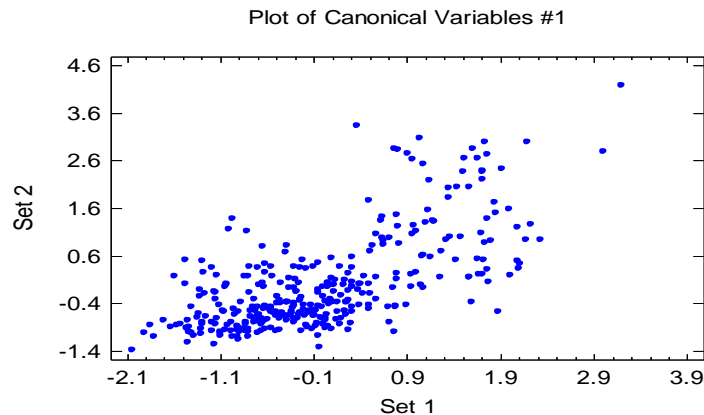


Figure 1. The results show the standard correlation between the independent variable set $X = \{T, H, m_1, K\}$ and the dependent variable $Y = \{Tc, Pc\}$

From the results of the canonical correlation analysis between the independent variable $\{T, H, m_1, K\}$ and the dependent variable $\{Pc, Tc\}$, prove that the correlation between them is high and significant in terms of statistical. Therefore, it is very appropriate and objective to include variables T, H, m_1 and K into the forest fire prediction model.

The result sets up canonical discriminant function CDF and the Fisher's classification function FCF

The result sets the canonical discriminant function CDF

CDF canonical discriminant function, also known as DF discriminant function, is the most established functions with unstandardized variables, deduced from the discriminant function with the standardized variables. Applying DF discriminant function analysis method on Statgraphics to process research data of 340 sample plots in Bidoup - Nui Ba National Park, the results of establishing the standard calibration functions are as follows (CDF1, CDF2, CDF3 & figure 2):

$$CDF1 = -17.395 + 0.164 * T + 0.197 * H + 0.129 * m_1 + 4.083 * K$$

With the canonical correlation coefficient $R = 0.926$ and the probability significant $P = 2.09 * 10^{-259} \ll 0.05$

$$CDF2 = -3.269 + 0.0414 * T - 0.0335 * H + 0.777 * m_1 + 3.795 * K$$

With the canonical correlation coefficient $R = 0.8367$ and the probability significant $P = 7,82 * 10^{-126} \ll 0.05$

$$CDF3 = -13.162 + 0.3239 * T + 0.049 * H - 1.033 * m_1 + 6.721 * K$$

With the canonical correlation coefficient $R = 0.681$ and the probability significant $P = 5,55 * 10^{-44} \ll 0.05$

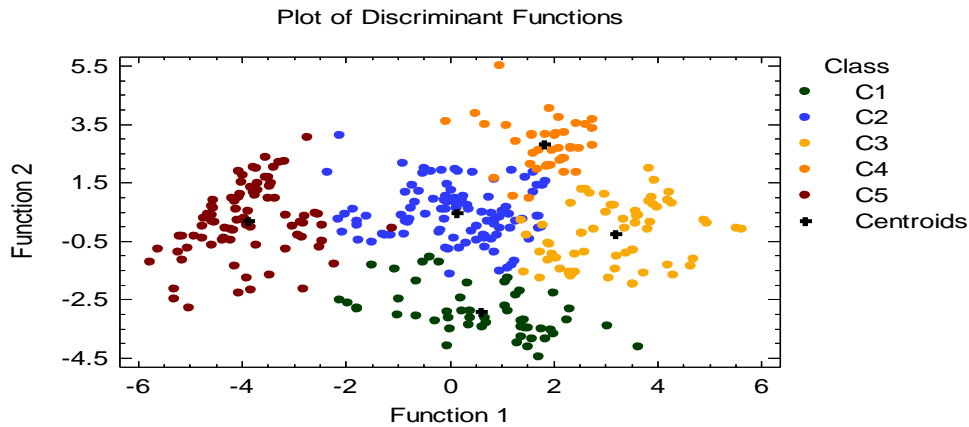


Figure 2. Ordination map and classification of forest fire risk class in Bidouup-Nui Ba National Park

The analysis results show that all three functions CDF1, CDF2 & CDF3 are very statistically meaningful ($P \ll 0.05$) accounting for a very high proportion (99.99%). And the CDF4 function is not statistically significant because the standard correlation coefficient $R = 0.0256$ is very low, with a probability that is not statistically significant $P = 0.638 \gg 0.05$, accounting for only 0.01%, should be excluded from the calculation. Therefore, we only use 3 functions of CDF1, CDF2 & CDF3 in calculating the risk of forest fire in Bidouup-Nui Ba National Park.

Result of sets the Fisher's classification functions

The Fisher's classification functions have also been established based on the results of the discriminant function analysis as follows:

$FCF1 = -389.679 + 15.384 * T + 5.5073 * H + 0.147 * m_1 + 124.026 * K$ (forest fire classification function class 1, C1).

$FCF2 = -414.731 + 16.096 * T + 5.399 * H + 0.626 * m_1 + 148.486 * K$ (forest fire classification function class 2, C2).

$FCF3 = -461.368 + 16.361 * T + 5.997 * H + 1.251 * m_1 + 153.093 * K$ (forest fire classification function class 3, C3).

$FCF4 = -422.074 + 15.583 * T + 5.521 * H + 5.542 * m_1 + 145.743 * K$ (forest fire classification function class 4, C4).

$FCF5 = -334.679 + 15.029 * T + 4.553 * H + 1.255 * m_1 + 122.319 * K$ (forest fire classification function class 5, C5).

These Fisher classification functions are used to determine the fire risk class when we provide the input data (T, H, m_1 and K). The forest fire risk class is forecasted with the calculated value of the Fisher FCF_i classification function ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) corresponding to the forest fire risk class C_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) is the largest.

Forecast of forest fire risk is based on the results of the discriminant function analysis

Forecast of forest fire risk is based on the Fisher classification function

The forest fire risk class is forecasted with the calculated value of the Fisher's classification function FCF_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) corresponding to the forest fire risk class C_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) is the largest. Used the database of variables included in Table 1 and based on 5

Fisher’s classification functions in the prediction model to calculate classification scores, the results are in Table 3.

Table 3.

Result of forecasting the risk of forest fire at different times in the dry season in Bidoup-Nui Ba National Park based on the Fisher classification function

Time	Variables included				Maximum value of the Fisher’s function	Forecast class
	<i>T</i> (°C)	<i>H</i> (%)	<i>m_l</i> (kg/4m ²)	<i>K</i>		
November	27	51.4	0.85	0.141	326.412	C1
December	29.26	55.14	1.58	0.652	451.767	C2
January	25.04	73.66	2.4	0.542	476.077	C3
February	25	53.4	5.93	0.850	419.042	C4
March	30.24	28.12	1.54	0.522	313.6420	C5

From the results of calculating the classification scores of the Fisher’s classification functions shown in Table 3, we can give the following conclusions:

- The calculation results from the forest fire risk prediction model based on the Fisher’s classification function also give the same results from the model based on the Mahalanobis distance.

- The calculation process in the forest fire risk prediction model based on the Fisher’s classification functions is much simpler than the calculation based on Mahalanobis distance.

Forecast of forest fire risk based on Mahalanobis distance

As mentioned above, based on the established correlation discriminant functions CDF we can calculate Mahalanobis multivariate distances. The Mahalanobis multivariate distance D^2 in discriminant functions analysis is the square Euclidean multivariate distance from the positioning coordinates of the input variable {*T*, *H*, *m_l*, *K*} to the positioning coordinates of the center of forest fire class (C1, C2, C3, C4, C5). The risk of forest fire is forecasted with the shortest Mahalanobis distance. Using the database of variables in Table 1, based on correlation discriminant functions CDF to calculate the multivariate distance Mahalanobis will result in Table 4.

Table 4.

Result of forecasting the risk of forest fire at different times in the dry season in Bidoup-Nui Ba National Park based on the Mahalanobis multivariate range

Time	Variables included				The shortest distance Mahalanobis	Class
	<i>T</i> (°C)	<i>H</i> (%)	<i>m_l</i> (kg/4m ²)	<i>K</i>		
November	27	51.4	0.85	0.141346	8.138	C1
December	29.26	55.14	1.58	0.652034	2.042	C2
January	25.04	73.66	2.4	0.542221	1.023	C3
February	25	53.4	5.93	0.85001	2.4656	C4
March	30.24	28.12	1.54	0.52215	0.433	C5

From the results of the Mahalanobis multivariate distance calculation shown in Table 4, we can draw the following conclusions:

- With data collected in November, the model predicted and calculated as the result of the forest fire risk class C1. At class C1, there is very little chance of forest fire. This result is also consistent with the fact that at the beginning of the dry season, because the amount of water accumulated in the dry material is still high, the amount of dry material is low, so the forest is very difficult to burn. At this time, if proactive burning is conducted to prevent forest fires, it will not be much effective, because the dry material layer of the forest will be very difficult to catch fire or burn very little, insignificantly.

- With the data collected in December, the model predicted and calculated as a result of

C2 forest fire risk class. There is little chance of forest fires. This is the time to start using proactive combustion solutions for forest fire prevention.

- With data collected in January, the model predicted and calculated as the result of C3 forest fire risk level. With this class, there is a possibility of forest fire. This may be the best time for the proactive burning solution in forest fire prevention.

- With the data collected in February, the model results are the C4 forest fire risk level. At this level, the risk of forest fire is high. Therefore, proactive burning is strictly forbidden. Forest fire prevention and fighting should be strengthened.

- With data collected in March, the model calculated and predicted as a result of the forest fire risk class C5. With forecast class C5, the probability of forest fire is very high. This result is also consistent with the actual situation at this time, under the impact of high temperatures and low humidity, burning materials, the forest can burn at any time. Therefore, it is necessary to take measures to prevent large forest fires, enhance the warnings and prevention of forest fires at the highest level.

When there is a source of fire, the temperature, humidity and the mass of dry material, as well as the burning coefficient K , are the decisive factors for the formation of a fire. However, at the different time, the ability to form a fire is different due to the constant temperature and humidity factors, and the above factors dominate and interact with each other. This also explains that at the same time in different forest plots or in the same forest plot, the probability of forest fire is different. However, at the same time, the difference in fire level of a specific forest area is not large.

Conclusion and Recommendations

Conclusion

The set of variables $\{T, H, m1, K\}$ and the set of variables $\{Pc, Tc\}$ is highly correlated, with the canonical correlation coefficient $R = 0.675$ and the probability significance $P = 3.17 * 10^{-58} \ll 0.05$. Therefore, it is possible to use the set of variables $\{T, H, m1, K\}$ in models of forest fire risk forecasting in Bidoup - Nui Ba National Park.

On the basis of discriminant function analysis, three canonical discriminant functions have been established, which are statistically significant ($P \ll 0.05$). In these 3 functions **CDF1**, **CDF2** and **CDF3**, the Mahalanobis multivariate distance was calculated in the fire risk forecast model in Bidoup - Nui Ba National Park.

According to the results of discriminant function analysis, 5 Fisher's classification functions have been established. Based on these **FCF1**, **FCF2**, **FCF3**, **FCF4** and **FCF5** functions, it is possible to determine the fire risk classes in Bidoup - Nui Ba National Park.

Models of forest fire risk prediction models (Mahalanobis multivariate distance model and Fisher classification function model) in Bidoup - Nui Ba National Park were tested for accuracy and appropriateness from the collected data at different times of the dry season.

Recommendations

These models (Mahalanobis multivariate distance model and Fisher classification function model) can be used to forecast forest fire risk in Bidoup - Nui Ba National Park, serving the develop annual forest fire prevention and fighting plan. These forecasting models can be used in proactive burning solution (prescribed burning). At the time of fires risk class C2 and C3, it is possible to apply the proactive burning solution as the best. Because if burning at the time of the C1 fire forecast class, the layer of fallen leaves can hardly burn well, so it will not reduce the mass of this layer of burning material. In addition, it should be noted that if we proactively burn at the time of C4 and C5 classes, it can cause a very large area of forest fire. This also helps us answer the question in the forest fire research is "when to apply the proactive burning solution in forest fire prevention".

References

1. *Hardle W. & Simar Z.* Applied Multivariate Statistical Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2003.
2. *Karouni A., Daya B., Bahlak S.* Forest fire prediction: A comparative study of applicability of fire weather indices for Lebanon // *Global Journal on Technology*. – 2014. – Vol 5. – P. 8–17.
3. *Mavrakis A., Salvati L.* Analyzing the Behaviour of Selected Risk Indexes During the 2007 Greek Forest Fires // *Int. J. Environ. Res.* – 2015. – Vol. 9(3). – P. 831–840.
4. *Skvarenina J. Mindas J. Holec J., Tucek J.* Forest fire weather indices during two largest forest fire events in the Slovak Paradise National Park. – Project VEGA No. 1/9265/02. International Bioclimatological Workshop, Slovakia, 2003.
5. *Le Van Huong* Study on the composition of fire materials of *Pinus kesyia* Royle ex Gordon forest as a basis for proposing fire prevention measures at Bidoup - Nui Ba National Park, Lam Dong province. – Master's thesis in forestry science, Forestry University, 2012 (in Vietnamese)
6. *McLachlan G.J.* Mahalanobis Distance. – *Resonance*, 1999. – P. 20–26.
7. *Ghosh J.K., Majumdar P.P.* Mahalanobis Prasanta Chandra / In: P. Armitage and T. Colton (Eds), *Encyclopedia of Biostatistics*. Wiley. New York, 1998. – P. 2372–2375.
8. *Mahalanobis P.C.* On tests and measures of group divergence, *Journal of the Asiatic Society of Bengal*, 1930. – Vol. 26. – P. 541–588.
9. *McLachlan G.J.* Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition. – New York, Wiley. *Technometrics*. 1992. – Vol 35 (3). – P. 320 – 330.
10. *Rao C.R.* Linear Statistical Inference and its Applications / Second Edition. – Wiley, New York. – 1973a. – Vol. 57. – Issue 8. – 500 p.
11. *Rao C R, Prasanta Chandra Mahalanobis.* Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. – 1972. – Vol. 19. – P. 455–492.
12. *Wilks D.S.* Chapter 13 – Canonical Correlation Analysis (CCA) // *International Geophysics*. – 2011. – Vol 100. – P. 563–582.
13. *Poulsen J, French A.* Discriminant Function Analysis. 2004. – Available at: <http://online.sfsu.edu/efc/classes/biol710/discrim/discrim.pdf>
14. *Matthew C., Lawoko C.R.O., Korte C.J., Smith D.* Application of canonical discriminant analysis, principal component analysis, and canonical correlation analysis as tools for evaluating differences in pasture botanical composition // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. – 1994. – Vol. 37 (4). – P. 509–520.
15. *Edzard V.S.* Application of Canonical Discriminant Analysis for the Assessment of Genetic Variation in Tall Fescue // *Crop Science Society of America*. Published in *Crop Sci.* – 2002. – Vol(42). – P. 534–539.
16. *Srivastava M.S.* Methods of Multivariate Statistics. – John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. – 728 p.
17. *Anja Hashagen, Christian Zabel, Heidi Schelhowe, Saeed Zare Adaptive.* Motion Pattern Recognition: Implementing Playful Learning through Embodied Interaction University of Bremen. TZI. dimeb (Digital Media in Education) / Digital Human Modeling: Second International Conference, Held as Part of HCI International 2009 San Diego, CA, USA, Proceedings. Springer, 2009. – P. 104–114.
18. *S. Das Gupta.* Mahalanobis distance / In P. Armitage and T. Colton (Eds). – *Encyclopedia of Biostatistics*, Wiley, New York, 1998. – P. 2369–2372.
19. *Cruz-Castillo J.G., Ganeshanandam S., MacKay B.R., Lawes G.S., Lawoko C.R.O., Woolley D.J.* Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research // *HortScience*. – 1994. – Vol 29. – P. 1115–1119.
20. *Dillon W.R., Goldstein M.* Multivariate analysis methods and applications. – John Wiley and Sons, New York. 1984. – Vol. 29 (6). – P. 755–756. <https://doi.org/10.1002/bimj4710290617>

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ БИДУП-НУЙБА

Ле Ван Хыонг¹, Нгуен Нгок Киенг², Нгуен Данг Хой³, Данг Хунг Куонг^{3,4}

¹Национальный парк Бидуп-Нуйба, деревня Данхим, район Лакдуонг, провинция Ламдонг, Социалистическая Республика Вьетнам

²Хошиминский университета сельского и лесного хозяйства, Хошимин, Социалистическая Республика Вьетнам

³Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам

⁴Южный федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
e-mail: lvhuongdl@gmail.com

В статье представлены результаты применения многомерных статистических методов (*ССА*: анализ канонической корреляции и *DFA*: анализ дискриминантной функции) для определения канонической корреляции между набором переменных $\{T, H, m, K\}$ и набором переменных $\{Pc, Tc\}$ (T : температура, H : относительная влажность, m : масса сухого топлива, K : коэффициент горения, $K = m/M$, где M : общая масса горючего топлива, Pc : процент сожженного топлива и Tc : время горения). Были созданы модели прогнозирования лесной пожарной опасности в национальном парке Бидуп-Нуйба по результатам анализа дискриминантной функции *DFA*. На основании данных исследований за период ноябрь, декабрь, январь, февраль и март 2015–2017 годов из 340 участков для отбора проб (каждый размером 2x2 м) в национальном парке Бидуп-Нуйба мы провели обработку данных в Excel (расчет) и Statgraphics (многомерные статистические методы: *ССА & DFA*). Из нашего анализа были выявлены три результата: (i) Каноническая корреляция между набором переменных $\{T, H, m, K\}$ и набором переменных $\{Pc, Tc\}$ является очень значимой ($R=0,675581$ и $P=3,17 * 10^{-58} \ll 0,05$); поэтому мы использовали набор переменных $\{T, H, m, K\}$ в моделях прогнозирования опасности лесных пожаров. (ii) Были определены коэффициенты стандартизированных и нестандартных канонических дискриминантных функций (*SCDF & UCDF*) и классификационной функции Фишера (*FCF*). (iii) Были созданы две модели прогнозирования опасности лесных пожаров (модель расстояния Махаланобиса и модель функции классификации Фишера).

Ключевые слова: Бидуп-Нуйба, канонический корреляционный анализ, анализ дискриминантной функции, классификационная функция Фишера, модели прогнозирования лесной пожарной опасности.

Ле Ван Хыонг кандидат лесоводских наук, директор Национального парка Бидуп – Нуйба, провинция Лам Донг, e-mail: lvhuongdl@gmail.com

Нгуен Нгок Киенг доктор сельскохозяйственных наук, Университет сельского и лесного хозяйства г. Хошимин, e-mail: kiengnn@gmail.com

Нгуен Данг Хой кандидат географических наук, директор Института тропической экологии, Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, e-mail: danghoi110@gmail.com

Данг Хунг Куонг магистр географии, научный сотрудник Института тропической экологии, Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, e-mail: danghungcuong@gmail.com

Поступила в редакцию 02.02.2018 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 574.2:577.121:594 (262.5)

**ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА И СОДЕРЖАНИЯ
НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ТКАНЯХ *MYTILUS
GALLOPROVINCIALIS* LAMARCK, 1819, *ANADARA KAGOSHIMENSIS*
(TOKUNAGA, 1906) И *RAPANA VENOSA* (VALENCIENNES, 1846)
В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД***

Головина И.В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация
e-mail: ivgolovina@mail.ru

Определяли активность цитоплазматических оксидоредуктаз: малатдегидрогеназы (МДГ, 1.1.1.37) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27), в тканях *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae), *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) (Bivalvia: Arcidae) и *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda: Muricidae). Объектами исследования служили половозрелые моллюски. Длина раковины мидии составляла 50–55 мм, анадары – 25–33 мм, рапаны – 50–80 мм. Активность ферментов измеряли спектрофотометрически (при 340 нм и 25°C) по скорости окисления НАДН в цитоплазме тканей. На основе анализа собственных и опубликованных литературных данных проведено сравнение активности ферментов и содержания низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) у исследованных моллюсков. Ткани с меньшим индексом МДГ/ЛДГ (гепатопанкреас мидии, нога анадары, гонады рапаны), в которых преобладают аэробные процессы, содержат наибольшее количество каротиноидов, глутатиона и меньше мочевины. Активность ферментов энергетического обмена и резерв НМАО в тканях вселенца анадары значительно больше, чем у черноморской мидии.

Ключевые слова: лактатдегидрогеназа, малатдегидрогеназа, каротиноиды, глутатион, мочевина, моллюски, вселенцы, *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara kagoshimensis*, *Rapana venosa*, Черное море.

Введение

Морские моллюски хорошо адаптированы к жизни в условиях постоянного изменения кислородного режима, температуры, солености и других факторов среды обитания. Сохранять физиологический гомеостаз им позволяет комплекс защитных реакций, в том числе способность поддерживать энергетические ресурсы организма, переключаясь на анаэробноз, снижая скорость потребления кислорода и активируя модифицированные пути метаболизма (Хочачка, Сомеро, 1977; Горомосова, Шапиро, 1984; Немова и др., 2014). Переход моллюсков на анаэробный обмен происходит под влиянием гипоксии различного происхождения, состояние гидробионтов и самой среды возможно оценивать по соотношению активности ферментов энергетического обмена: малат- и лактатдегидрогеназы (Горомосова, Шапиро, 1984; Головина, 2019; Ночасчка, Somero, 2002; Somero, 2010). Наиболее ранними проявлениями изменения оксигенации

* Работа выполнена в рамках темы гос. задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», номер гос. регистрации НИОКТР АААА-А18-118021490093-4 и при поддержке проекта РФФИ 20-44-920001.

тканей являются сдвиги их энергетического обеспечения, при этом неизбежно возрастают свободно-радикальные процессы, которым противостоит антиоксидантная защитная система организма (Кения и др., 1993; Manduzio et al., 2005).

Целью настоящей работы являлось сравнение активности ферментов энергетического метаболизма и содержания низкомолекулярных биоантиоксидантов в тканях моллюсков с различными эколого-физиологическими особенностями.

Материалы и методы

Объектами исследования служили взрослые особи черноморских моллюсков на преднерестово-нерестовой стадии репродуктивного цикла (4–5 стадия зрелости гонад), собранные в районе г. Севастополя: брюхоногий моллюск рапана *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846), двустворчатые моллюски мидия *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и анадара *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906). Принадлежность вселившейся в Черное море анадары (ранее *A. cornea/inaequivalvis*) к вышеуказанному таксону доказана благодаря применению генетических методов (Krapal et al., 2014).

Процедуры, связанные с измельчением тканей, гомогенизацией и центрифугированием, проводили при температуре $0 \pm 4^\circ\text{C}$. Активность ферментов определяли в цитоплазме ткани ноги, жабр, гепатопанкреаса и гонад, используя в качестве среды выделения 0,2 М Трис-НСl буфер, рН 7,5 (Мильман и др., 1974). Активность малатдегидрогеназы (МДГ, 1.1.1.37) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27) измеряли спектрофотометрически при длине волны 340 нм по скорости окисления НАД-Н в кварцевой кювете объемом 3 мл при стандартной температуре инкубации 25°C . Субстратом для определения активности ЛДГ служил пируват, а для МДГ – оксалоацетат. Содержание белка определяли микробиуретовым методом, результаты выражены в мкмольх НАД-Н за 1 мин на 1 мг белка супернатанта.

Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента, отличия считали статистически значимыми при $p < 0,05$, результаты представлены как $\bar{x} \pm Sx$, объем выборочных совокупностей составлял 6–13 особей для каждого вида моллюсков. Вертикальные линии на рисунках – 95% доверительный интервал.

Результаты и обсуждение

Исследованные черноморские моллюски принадлежат к экологически пластичным видам, отличаются физиолого-биохимическими характеристиками и систематическим положением (Горомосова, Шапиро, 1984; Чухчин, 1984; Sahin et al., 2009; Переладов, 2013; Golovina et al., 2016). Двустворчатые моллюски-фильтраторы мидия (сем. Mytilidae) и анадара (сем. Arcidae) являются объектами питания брюхоногого моллюска рапаны (сем. Muricidae). Виды различаются термотатией, аборигенная мидия более холодолюбива, имеет два пика нереста (весенний и осенний), нерест вселенцев анадары и рапаны приурочен к теплomu времени года (июнь–сентябрь), начинается при температуре воды выше 19°C . Дыхательным пигментом мидии и рапаны является гемоцианин, у анадары – эритроцитарный гемоглобин. Взрослая мидия ведет малоактивный или прикрепленный образ жизни, небольшая нога в основном служит для ошупывания субстрата и выделения биссусных нитей. Анадара, как и рапана, имеет массивную ногу и, при необходимости, может быстро перемещаться. Рапана, будучи избирательным хищником, передвигается в поисках жертвы, совершает нерестовые и сезонные миграции.

Активность МДГ во всех исследованных тканях мидии и анадары достоверно выше, чем ЛДГ ($p < 0,05–0,001$) (рис. 1). Это обусловлено известными особенностями биохимической организации гликолитической системы двустворчатых моллюсков

(Горомосова, Шапиро, 1984; Hochachka, Somero, 2002; Somero, 2010). Такое соотношение активности ферментов, конкурирующих за цитоплазматический НАДН, позволяет факультативным анаэробам сохранять равновесие внутриклеточного окислительно-восстановительного потенциала во время гипоксии различного происхождения.

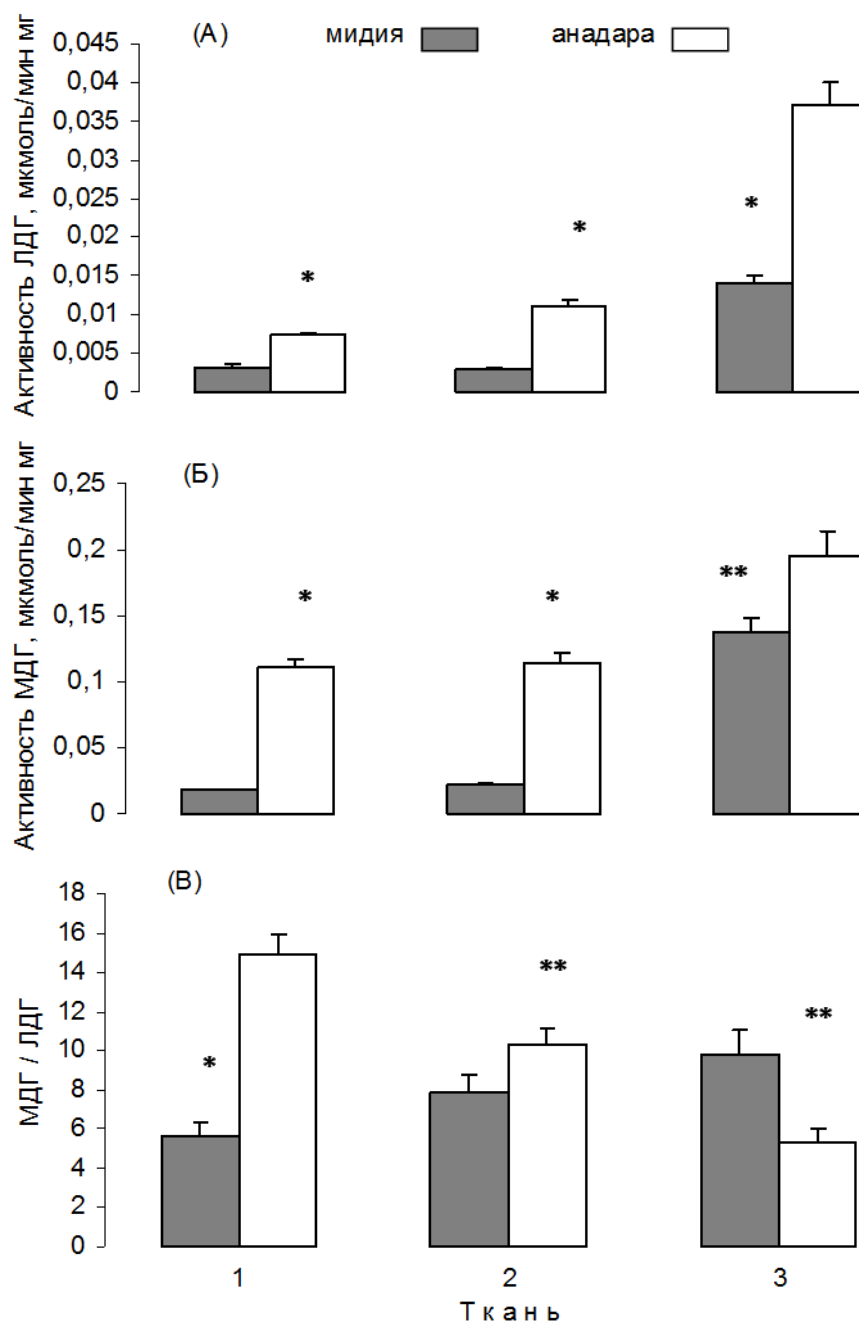


Рис. 1. Активность ЛДГ (А), МДГ (Б) и отношение активности МДГ/ЛДГ (В) в тканях мидии и анадара в нерестовый период. 1 – гепатопанкреас, 2 – жабры, 3 – нога; различия между видами достоверны: * $p < 0,001$; ** $p < 0,05$

У брюхоногого моллюска рапаны, величина активности МДГ и ЛДГ в однотипных тканях одинаково высока (рис. 2). Очевидно, это связано с хищным образом жизни, необходимостью поддерживать высокий уровень метаболизма. Кроме того, рапана прилагает значительные мышечные усилия, чтобы удерживать и открывать створки моллюска-жертвы (Чухчин, 1984). Для ряда морских брюхоногих моллюсков установлена большая эффективность извлечения кислорода из воды (40–80 %), чем у

двустворчатых (3–20 %) (Проссер, 1977). Известно также, что активность ЛДГ в мышцах свободных форм моллюсков по сравнению с ведущими прикрепленный образ жизни выше (Горомосова, Шапиро, 1984).

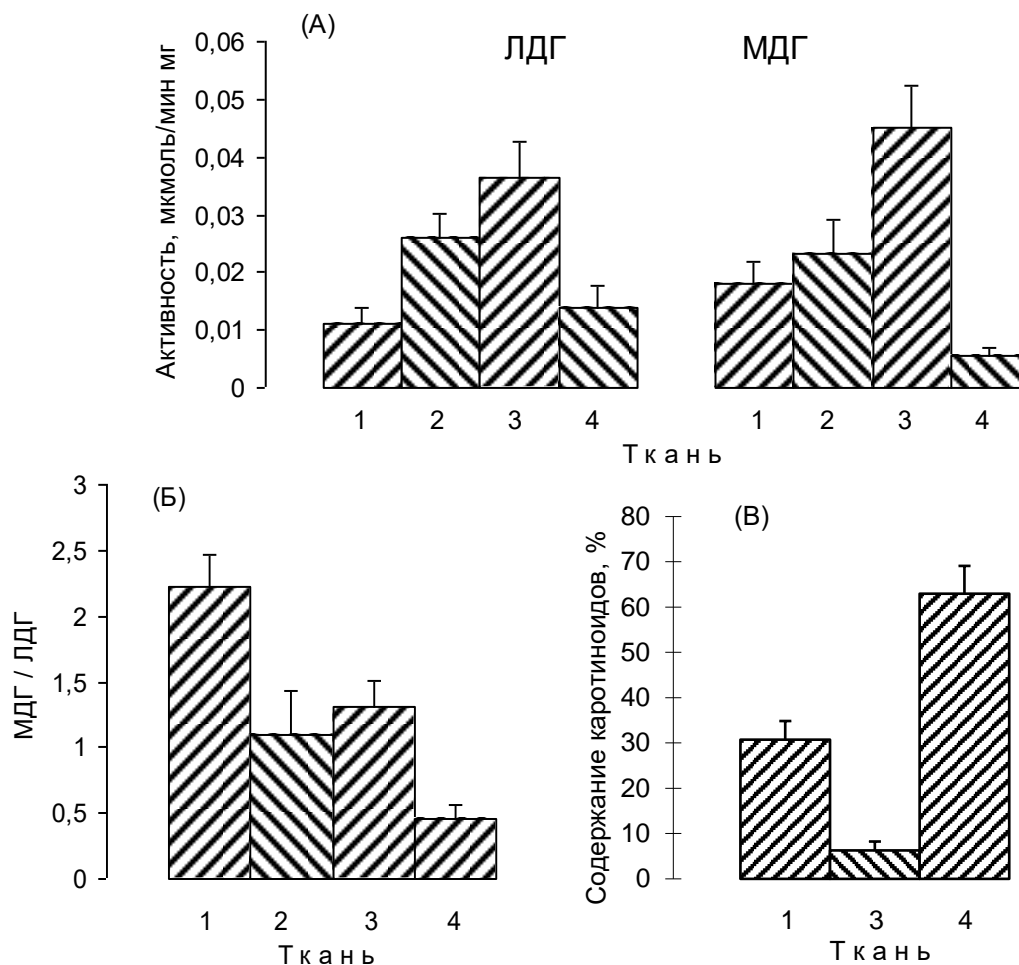


Рис. 2. Активность ЛДГ и МДГ (А), отношение активности ЛДГ/МДГ (Б) – собственные данные, и содержание каротиноидов (В – по: Бородина, 2013; Черноморские моллюски..., 2014) в тканях *Rapana venosa*. 1 – гепатопанкреас, 2 – жабры, 3 – нога, 4 – гонады

Несмотря на эколого-физиологические различия видов грация тканей по активности ЛДГ и МДГ у мидии, анадары и рапаны одинакова: нога>жабры>гепатопанкреас. Существенные особенности обнаруживаются у моллюсков при сопоставлении относительной активности исследованных ферментов. Соотношение активности МДГ/ЛДГ значительно понижается в ряду тканей гепатопанкреас–жабры–нога у анадары и, наоборот, растет у мидии. У рапаны величина этого индекса максимальна в гепатопанкреасе и минимальна в гонадах. Общей особенностью рапаны и анадары является более высокий индекс МДГ/ЛДГ в гепатопанкреасе по сравнению с другими тканями ($p < 0,05$). У активных моллюсков анадары и рапаны индекс МДГ/ЛДГ был максимален в гепатопанкреасе, у малоподвижной мидии – в мышцах ноги, что свидетельствует о преобладании анаэробных процессов в этих тканях. По-видимому, величина отношения МДГ/ЛДГ отражает степень обеспеченности кислородом не только видов, но и разных тканей одного организма.

Механизмы биохимической адаптации энергетического обмена мидии подробно рассмотрены в монографии С.А. Горомосовой и А.З. Шапиро (1984). Самое высокое отношение МДГ/ЛДГ в мышцах обнаружено у прикрепленных форм моллюсков

Mercenaria mercenaria, *Mytilus galloprovincialis* и др. В экспериментах установлено, что гипоксия и опреснение активировали МДГ и ингибировали ЛДГ в тканях моллюсков. Показатель МДГ/ЛДГ, как чувствительный индикатор, предложен авторами в качестве критерия состояния мидий и окружающей среды.

Материалы, полученные нами в ходе экспериментов (резкое понижение температуры, гипоксия различной продолжительности, аноксия, голодание, влияние токсиканта полихлорбифенила, сероводородная интоксикация) также показали, что неспецифической реакцией на негативное воздействие является снижение активности ЛДГ в тканях мидии и анадары на 36–80 % (Головина, 2019). При этом активность МДГ оставалась стабильной, а коэффициент МДГ/ЛДГ в тканях обоих видов моллюсков увеличивался в 1,5–4 раза. Наибольшие изменения происходили в мышечной ткани.

Наряду с ферментами энергетического обмена важным фактором поддержания окислительно-восстановительного гомеостаза является антиоксидантная (АО) система, которая включает высокомолекулярные (ферменты, альбумин крови и т.д.) и низкомолекулярные антиоксиданты (далее НМАО) (Кения и др., 1993, Manduzio et al., 2005). Различают жирорастворимые (токоферолы, витамин А, каротиноиды и др.) и водорастворимые НМАО (аскорбиновая кислота, глутатион, мочевины и др.). При окислительном стрессе роль НМАО повышается в силу их избыточной концентрации и относительной свободы миграции в клеточной и тканевой среде, в то время как АО ферменты специализируются на внутриклеточной защите, быстро инактивируются и необходимо время для их индукции и синтеза.

Функционирование биоантиоксидантов и системы ферментов зависит от общего фонда атомов водорода (НАД-Н и НАДФ-Н), который пополняется за счет дегидрирования энергетических субстратов. В связи с этим представляет интерес сопоставить индекс МДГ/ЛДГ и ранее опубликованные данные по содержанию мочевины, каротиноидов и глутатиона в тканях мидии, анадары и рапаны (Солдатов и др., 2008; Бородина, 2013; Гостюхина, Головина, 2013; Черноморские моллюски..., 2014). Особенности распределения НМАО у моллюсков в условиях нормоксии иллюстрируют диаграммы, построенные на основании анализа этих результатов (рис. 2В; рис. 3).

У двустворчатых моллюсков наименьшей величиной МДГ/ЛДГ обладают гепатопанкреас мидии и нога анадары, содержащие наибольшее количество каротиноидов и глутатиона (рис. 1В; рис. 3А, Б, В, Г). Таким образом, высокая активность окислительных процессов в этих тканях обеспечивается значительным пулом соединений, поддерживающих аэробный процесс и осуществляющих АО защиту. Глутатион является центральным компонентом АО системы, его появление у эукариот связывают с возникновением аэробного метаболизма (Мазо, 1998). Предполагают, что глутатион, обратимо окисляясь, принимает участие в тканевом дыхании и транспортировке кислорода. Каротиноиды также способны к циклической оксигинации, депонируют кислород, проявляют сильные АО свойства (Карнаухов, 1988; Кения и др., 1993).

Ткани с максимальным индексом МДГ/ЛДГ (нога мидии, гепатопанкреас анадары) имеют минимальную концентрацию каротиноидов, пониженный уровень глутатиона, однако самый высокий уровень мочевины (рис. 3Д, Е), что свидетельствует о преимущественно анаэробном метаболизме.

Обмен глюкозы у двустворчатых моллюсков сопряжен с катаболизмом аминокислот, если в условиях гипоксии аминокислоты используются в качестве источника энергии, то отщепляемая от них аминогруппа ($-NH_2$) направляется на образование мочевины (Хочачка, Сомеро, 1977; Проссер, 1977). Исследователи полагают, что организмы, обитающие в среде, благоприятной для аммонителлии, продолжают образовывать в качестве одного из азотистых экскретов мочевины и депонировать ее в разных тканях потому, что она выполняет ряд важных физиологических функций.

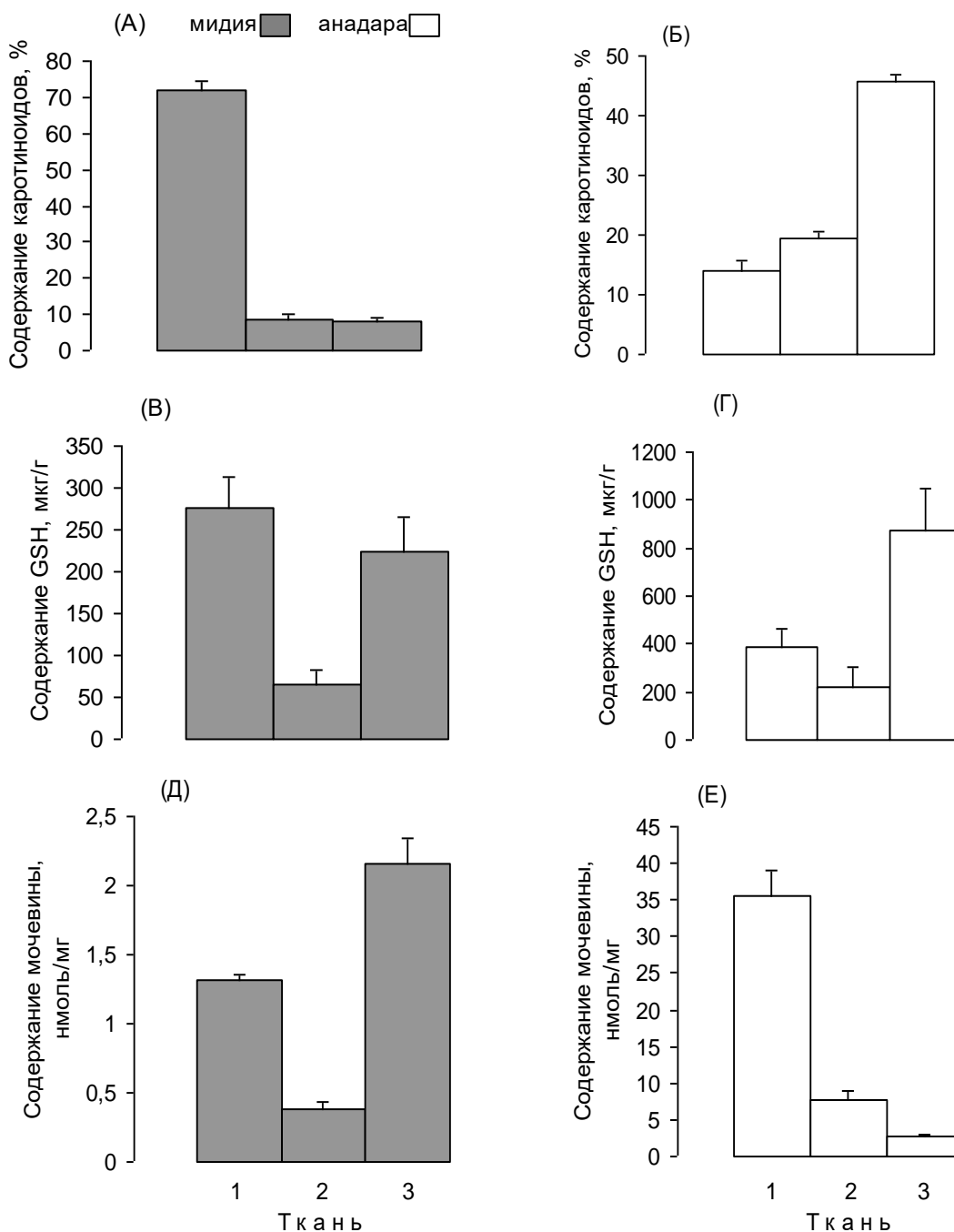


Рис. 3. Содержание каротиноидов (А, Б – по: Бородина, 2013; Черноморские моллюски..., 2014), восстановленного глутатиона (В, Г – по: Гостюхина, Головина, 2013) и мочевины (Д, Е – по: Солдатов и др., 2008) в тканях мидии и анадара. 1 – гепатопанкреас, 2 – жабры, 3 – нога.

Вследствие гидрофильности мочевины поддерживается осмотическое равновесие, а также используется для построения раковины моллюсков, карбонаты которой, в свою очередь, увеличивают буферную емкость гемолимфы в период гипоксии. Наряду с глюкозой и аминокислотами мочевины является естественным криопротектором, позволяющим переносить экстремальное переохлаждение (Costanzo et al., 2013). АО эффект мочевины реализуется путем стабилизации мембран и модификации активности ферментов (Кения и др., 1993; Manduzio et al., 2005). Она влияет на нативную конформацию белков, связывает ионы металлов переменной валентности, препятствуя их вовлечению в реакции разложения перекисей. Мочевина способна образовывать

клатраты, в пористую структуру которых, как в ловушку, попадают многие органические соединения и другие вещества, что сдерживает развитие окислительных радикальных реакций (Стид, Этвуд, 2007). Жидкие клатраты играют особую роль в биологических системах, поскольку все природные мембраны включают в себя вещества способные образовывать жидкокристаллические структуры.

У брюхоногого моллюска рапаны, ткань с самой низкой величиной МДГ/ЛДГ (гонады) имеет наибольшую концентрацией каротиноидов, $p < 0,05$ (рис. 2Б, 2В). Индекс МДГ/ЛДГ максимален в гепатопанкреасе рапаны – в 6 раз выше, чем в гонадах, а содержание каротиноидов вдвое ниже. Концентрация каротиноидов в ноге рапаны низкая, величина МДГ/ЛДГ, как и в жабрах, средняя по сравнению с гепатопанкреасом и гонадами. Сведения о содержании каротиноидов в жабрах, а также других НМАО в тканях черноморской рапаны отсутствуют.

Для различных видов моллюсков, в том числе мидии и рапаны, показано, что поступающие с пищей каротиноиды, накапливаются, преимущественно, в гепатопанкреасе и гонадах (Карнаухов, 1988; Минюк и др., 1996; Бородина, 2013). Примечательно, что в период нереста гонады «прорастают» гепатопанкреас мидии. Вероятно, что и высокая концентрация каротиноидов в ноге анадары отчасти обусловлена морфо-функциональной связью с репродуктивной системой, которая у *Anadara kagoshimensis* погружена в кожно-мышечный мешок ноги. По-видимому, это одна из причин аэробной направленности метаболизма в ноге анадары, о чем свидетельствует также низкий индекс МДГ/ЛДГ и высокое содержание глутатиона.

Среди исследованных тканей трех видов моллюсков индекс МДГ/ЛДГ в жабрах имел средние значения (рис. 1В; рис. 2Б). Сбалансированность активности конкурирующих ферментов энергетического обмена в ткани жабр, по-видимому, вызвана необходимостью быстрого реагирования на изменение кислородного режима в любом направлении. По сравнению с гепатопанкреасом и тканью ноги уровень содержания НМАО в жабрах мидии и анадары также был средний или минимальный (рис. 3). Исходя из этого, можно предположить, что содержание соответствующих антиоксидантов и в жабрах рапаны невелико. По данным Н.В. Довженко (Довженко, 2006), изучавшей восемь видов дальневосточных моллюсков, концентрация каротиноидов в жабрах всегда, а глутатиона в большинстве случаев ниже, чем в пищеварительной железе. Сравнительно низкое содержание НМАО в жабрах уравнивается значительной активностью ферментативного звена АО защиты и косвенно подтверждается невысоким уровнем перекисного окисления липидов (ПОЛ) относительно других тканей моллюсков (Гостюхина, Головина, 2013). Поскольку активность глутатионпероксидазы (ГП) в жабрах мидии и анадары вдвое выше, чем в гепатопанкреасе, вероятно, донором глутатиона для ГП жабр выступают пищеварительная железа и мышечная ткань моллюсков, в которых его содержание в 2–4 раза больше.

Аборигенная мидия и вселенец анадара, существенно различаются по активности ферментов энергетического обмена и содержанию НМАО в тканях. Во всех исследованных тканях активность ЛДГ и МДГ достоверно выше у анадары. По сравнению с мидией в жабрах и ноге анадары содержание глутатиона больше в 3–4 раза, каротиноидов – в 2–6 раз, мочевины в жабрах и гепатопанкреасе – в 20–27 раз (Солдатов и др., 2008; Бородина, 2013; Гостюхина, Головина, 2013; Черноморские моллюски..., 2014). Практически одинаковая концентрация мочевины в ноге обоих видов (2,16 нмоль/мг и 2,65 нмоль/мг) для мидии является максимальным, а для анадары всего лишь минимальным уровнем содержания этого соединения в тканях. Значительный резерв НМАО анадары соответствует более высокому уровню энергетического обмена моллюска, способного быстро передвигаться. Очевидно, что ОА защита анадары эффективна, так как уровень ПОЛ в ее тканях вдвое ниже, чем у мидии (Гостюхина, Головина, 2013).

Глутатион, каротиноиды, мочевины, будучи биологически полифункциональными соединениями, по-видимому, во многом определяют эврибионтность и резистентность анадары, которая успешно натурализовалась в Азово-Черноморском бассейне (Анистратенко, Халиман, 2006). Высокий уровень глутатиона в тканях вселенца уменьшает его чувствительность к ксенобиотикам и, следовательно, антропогенному загрязнению внутренних морей (Manduzio et al., 2005). Анадара устойчива к заморам, поскольку каротиноиды наряду с гемоглобином, депонируя кислород, участвуют в энергообеспечении клеток при гипоксии (Карнаухов, 1988; Hourdez, Weber, 2005). Вероятно, стабилизирующее влияние мочевины на клеточные мембраны сыграло положительную роль в адаптации анадары как тепловодной формы морей Индо-Пацифики к более низким температурам и другому диапазону солености (10–18‰) новых мест обитания.

Выводы

Исследованные виды моллюсков – *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara kagoshimensis* и *Rapana venosa*, имеют одинаковый характер градиции тканей по уровню активности ЛДГ и МДГ (нога>жабры>гепатопанкреас), но значительно различаются соотношением активности МДГ/ЛДГ в тканях. Наименьший индекс МДГ/ЛДГ установлен в тканях мигрирующего хищного моллюска *R. venosa*.

Сравнение соотношения активности цитоплазматических ферментов энергетического обмена и литературных данных по содержанию НМАО (глутатиона, каротиноидов, мочевины) в тканях мидии, анадары и рапаны показало, что ткани с пониженным индексом МДГ/ЛДГ (гепатопанкреас мидии, нога анадары, гонады рапаны), в которых преобладают аэробные процессы, содержат большее количество каротиноидов, глутатиона и значительно меньше мочевины. Максимальный индекс МДГ/ЛДГ соответствует тканям с высокой концентрацией мочевины и пониженным уровнем глутатиона и каротиноидов (нога мидии, гепатопанкреас анадары и рапаны).

В целом, активность ферментов энергетического обмена и содержание НМАО, которые вовлекаются в различные адаптационные механизмы, в тканях успешного вселенца *Anadara kagoshimensis* значительно выше, чем у аборигенной *Mytilus galloprovincialis*.

Список литературы

1. Анистратенко В.В., Халиман И.А. Двустворчатый моллюск *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) в северной части Азовского моря: завершение колонизации Азово-Черноморского бассейна // Вестник зоологии. – 2006. – Т. 40. – № 6. – С. 505–511.
2. Бородин А.В. Каротиноиды тканей черноморских моллюсков с различным типом питания. Автореф. дис... канд. биол. наук. Киев, 2013. – 22 с.
3. Головина И.В. Устойчивость к негативным воздействиям и соотношение активности ферментов энергетического обмена в тканях черноморских моллюсков *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 и *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) // Морской биологический журнал. – 2019. – Т. 4. – № 3. – С. 37–47.
4. Горомосова С.А., Шапиро А.З. Основные черты биохимии энергетического обмена мидий. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 120 с.
5. Гостюхина О.Л., Головина И.В. Сравнительное исследование антиоксидантного комплекса тканей черноморских моллюсков: *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara inaequalis* и *Crassostrea gigas* // Гидробиологический журнал. – 2013. – Т. 49. – № 1. – С. 82–90.

6. Довженко Н.В. Реакция антиоксидантной системы двустворчатых моллюсков на воздействие повреждающих факторов среды. Автореф. дис. ...канд. биол. наук. – Владивосток, 2006. – 22 с.
7. Карнаухов В.Н. Биологические функции каротиноидов. – М.: Наука, 1988. – 223 с.
8. Кения М.В., Лукаш А.И., Гуськов Е.П. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе // Успехи современной биологии. – 1993. – Т. 113. – Вып. 4. – С. 456–469.
9. Мазо В.К. Глутатион как компонент антиоксидантной системы желудочно-кишечного тракта // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. – 1998. – Т. 8. – № 1. – С. 47–53.
10. Мильман Л.С., Юровецкий Ю.Г., Ермолаева Л.П. Определение активности важнейших ферментов углеводного обмена // Методы биологии развития. – М.: Наука, 1974. – С. 346–364
11. Минюк Г.С., Нехорошев М.В., Романова З.А., Яницкая Т.Н., Козинцев А.Ф. Индивидуальная вариабельность и сезонная динамика содержания каротиноидов коллекторных мидий *Mytilus galloprovincialis* // Гидробиологический журнал. – 1996. – 32. – № 3. – С. 51–57.
12. Немова Н.Н., Мещерякова О.В., Лысенко Л.А., Фокина Н.Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу // Труды КарНЦ РАН. – 2014. – №5. – С. 18–29.
13. Переладов М.В. Современное состояние популяции и особенности биологии рапаны (*Rapana venosa*) в северо-восточной части Чёрного моря // Труды ВНИРО. – 2013. – Т. 150. – С. 8–20.
14. Проссер Л. Сравнительная физиология животных. – Т. 1. – М.: Мир, 1977. – 609 с.
15. Солдатов А.А. Андреевко Т.И. Головина И.В. Особенности организации тканевого метаболизма у двустворчатого моллюска-вселенца *Anadara inaequalis* Bruguiere // Доп. НАН України. – 2008. – № 4. – С. 161–165.
16. Стив Дж. В., Эвуд Дж. Л. Супрамолекулярная химия. – М.: Академкнига, 2007. – Т. 1. – 480 с.
17. Хочачка П., Сомеро Дж. Стратегия биохимической адаптации. – М.: Мир, 1977. – 400 с.
18. Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии // Под ред Г.Е.Шульмана, А.А.Солдатова: Институт биологии южных морей НАН Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – 323 с.
19. Чухчин В.Д. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. – Киев: Наукова думка, 1984. – 174 с.
20. Costanzo J. P., Do Amaral M. C., Rosendale A. R., Lee R. E. Hibernation physiology, freezing adaptation and extreme freeze tolerance in a northern population of the wood frog // Journal of Experimental Biology. – 2013. – Vol. 216 (18). – pp. 3461–3473.
21. Golovina I. V., Gostyukhina O. L., Andreyenko T. I. Specific Metabolic Features in Tissues of the Ark Clam *Anadara kagoshimensis* Tokunaga, 1906 (Bivalvia: Arcidae), a Black Sea Invader // Russian Journal of Biological Invasions. – 2016. – Vol. 7. – № 2. – pp. 137–145.
22. Hochachka P.W., Somero G.N. Biochemical adaptation: Mechanism and process in physiological evolution. – Oxford: Oxford University Press, 2002. – 356 p.
23. Hourdez St., Weber R.E. Molecular and functional adaptations in deep-sea hemoglobins // Journal of Inorganic Biochemistry. – 2005. – Vol. 99. – pp. 130–141.
24. Krapal A.M., Popa O.P., Levarda A.F., Iorgu E.I., Costache M., Crocetta F., Popa L.O. Molecular confirmation on the presence of *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) (Mollusca: Bivalvia: Arcidae) in the Black Sea // Travaux du Museum National d’Histoire Naturelle «Grigore Antipa». – 2014. – Vol. 57 (1). – pp. 9–12.

25. Manduzio H., Rocher B., Durand F., Galap C., Leboulenger F. The point about oxidative stress in molluscs // *Invertebrate Survival Journal*. – 2005. – Vol. 2. – pp. 91–104.
26. Sahin C., Emiral H., Okumuş I., Gozler A.M., Kalayci F., Hacimurtezoglu N. The Benthic Exotic Species of the Black Sea: Blood Cockle (*Anadara inaequalis*, Bruguiere, 1789: Bivalve) and Rapa Whelk (*Rapana thomasi*, Crosse, 1861: Mollusc) // *Journal of Animal and Veterinary Advances*. – 2009. – Vol. 8 (2). – pp. 240–245.
27. Somero G.N. The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine ‘winners’ and ‘losers’ // *Journal of Experimental Biology*. – 2010. – Special iss. 213. – pp. 912–920.

FEATURES OF ENERGY METABOLISM AND CONTENT OF LOW-MOLECULAR ANTIOXIDANTS IN TISSUES OF MYTILUS GALLOPROVINCIALIS LAMARCK, 1819, ANADARA KAGOSHIMENSIS (TOKUNAGA, 1906) И RAPANA VENOSA (VALENCIENNES, 1846) IN THE SPAWNING PERIOD

Golovina I.V.

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

e-mail: ivgolovina@mail.ru

The activity of cytoplasmic oxidoreductases: malate dehydrogenase (MDH, 1.1.1.37) and lactate dehydrogenase (LDH, 1.1.1.27) in the tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae), *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) (Bivalvia: Arcidae) and *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda: Muricidae) was determined. The objects of research were adult molluscs. Mussel shell length was 50–55 mm, anadara – 25–33 mm, rapa whelk – 50–80 mm. The enzyme activity was measured spectrophotometrically (at 340 nm and 25°C) by the rate of NADH oxidation in the cytoplasm of tissues. Based on an analysis of own and literature data, we compared the activity of enzymes and content of low molecular weight antioxidants (LMAO) in molluscs. Tissues with a minimal index MDH/LDH (hepatopancreas of mussel, foot of anadara, gonads of rapa whelk), which is dominated by aerobic processes, contain the greatest amount of carotenoids, reduced glutathione and significantly less urea. Energy metabolism enzymes activity and LMAO reserve in the tissues of invader anadara is greater than that of the native mussels.

Keywords: lactate dehydrogenase, malate dehydrogenase, carotenoids, glutathione, urea, molluscs, aliens, *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara kagoshimensis*, *Rapana venosa*, Black Sea.

Головина Ирина Владимировна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физиологии животных и биохимии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: ivgolovina@mail.ru

Поступила в редакцию 21.02.2020 г.

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

УДК 551.52

**КОНТРАСТНОСТЬ ГОДОВЫХ ИНСОЛЯЦИОННЫХ ТЕМПЕРАТУР И
ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА***

Федоров В.М.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: fedorov.msu@mail.ru*

На основе связи широтного распределения годовой инсоляции и приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) рассчитаны годовые инсоляционные температуры на период с 1900 по 2016 гг. Показано, что многолетние изменения ПТВ определяются многолетними изменениями контрастности инсоляционных температур и инсоляционной контрастностью. Многолетние изменения инсоляционной контрастности обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражают многолетние изменения меридионального градиента инсоляции. Меридиональным градиентом инсоляции регулируется меридиональный перенос тепла в системе океан – атмосфера. Показано, что инсоляционная контрастность линейно связана с наклоном оси вращения Земли. Из этого следует, что многолетнее увеличение аномалии ПТВ и наблюдаемое глобальное потепление климата, в основном, определяются естественными причинами, и связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли.

Представлена общая схема механизма изменения температурного режима Земли и полушарий. Определено, что при увеличении контрастности инсоляционных температур температурная контрастность в северном полушарии уменьшается, а в южном полушарии увеличивается.

Ключевые слова: инсоляция, инсоляционные температуры, приповерхностная температура воздуха, контрастность температур, тенденции.

Введение

Проблема изменения климата и, прежде всего его температурного режима, в настоящее время становится одной из важнейших проблем человеческой цивилизации. Эта проблема затрагивает многие сферы жизни человека и общества: здоровья, психологические, социально – экономические и политические аспекты. Этим определяется особая научная актуальность проблемы, связанной с изменением климата, причинами изменений и последствий этих изменений. Вопрос о причинах наблюдаемого глобального потепления является ключевым в исследованиях климатических изменений и прогнозировании изменении климата (Монин, 1982; Кондратьев, 1987, 1992; Монин, Шишков, 2000).

Известно, что основным источником энергии климатической системы Земли является лучистая энергия Солнца. Солнечной радиацией определяется радиационный и тепловой баланс Земли (Будыко, 1968; Монин, Шишков, 1979; Кондратьев, 1980). На поверхности Земли лучистая энергия частично отражается и поглощается, трансформируясь в тепловую энергию, а также в потенциальную и кинетическую энергию водных и воздушных масс. Дальнейшее перераспределение тепла в

* Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Геоэкологический анализ и прогноз динамики криолитозоны Российской Арктики» (№ АААА-А16-116032810055-0).

климатической системе Земли (в атмосфере и океане) связано с механизмами теплообмена: меридиональным переносом тепла, теплообменом в системе океан – материк, связанного с реверсивной сезонной сменой областей холода и тепла, теплообменом в системе океан – атмосфера и др. (Шулейкин, 1953).

С XX века отмечается тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры воздуха (ПТВ). Широко распространено мнение о том, что основной причиной потепления глобального климата является «парниковый» эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором (Climate Change, 2013). В то же время, не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата. Кроме того, известно, что основным парниковым газом является водяной пар. При отмечаемом глобальном потеплении увеличивается испарение и содержание водяного пара в атмосфере. Содержание водяного пара в атмосфере на 3–4 порядка превышает содержание CO₂ связанного с деятельностью человека. Приблизительно $\frac{3}{4}$ длинноволновой радиации удерживается в атмосфере водяным паром и только около 0,4% двуокисью углерода антропогенного происхождения. Таким образом, солнечная радиация и парниковый эффект планеты (связанный в основном с содержанием водяного пара в атмосфере) являются главными климатообразующими факторами. В динамике этих факторов следует и искать причины изменений современного глобального климата Земли (Федоров, 2018).

Целью работы является определение связи многолетних изменений приповерхностной температуры воздуха Земли и полушарий с многолетними изменениями контрастности инсоляционной температуры (ТКИ) и инсоляционной контрастности (ИК) в глобальном масштабе.

Методика исследований

Проведен расчет годовой приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на основе данных инсоляции. Основная задача, связанная с расчетами годовой инсоляционной приповерхностной температуры воздуха, – определение влияния инсоляции и ее изменений, определяемых небесно-механическими процессами (орбитальным движением Земли и изменением, влияющих на инсоляцию Земли, характеристик этого движения), на формирование и изменение годовых ПТВ Земли и полушарий. Таким образом, из общей совокупности влияющих на термическое состояние климатической системы Земли факторов выделяется и исследуется инсоляционный фактор, определяется его роль в формировании и изменении глобальных годовых ПТВ, отражающих состояние и динамику термического режима климатической системы Земли.

В качестве исходных климатических данных при расчетах принимались средние для широтных зон значения ПТВ за базовый период 1961–1990 гг., приведенные в массиве абсолютных температур университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли (Jones, et al., 1999; Jones, et al., 2001; Brohan, et al., 2006; Jones, et al., 2012; Temperature data...) (табл. 1). Климатическая норма ПТВ за период 1961–1990 гг. отражает свойственные ей характеристики парникового эффекта, солнечной активности и механизмов теплообмена, участвующих в формировании среднемесячной и среднегодовой температуры и ее распределении механизмами теплообмена по широтам и сезонам. Однако при расчетах годовых инсоляционных ПТВ в прошлое и будущее учитывались только изменения инсоляции (приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации). Изменение парникового эффекта, солнечной активности и механизмов теплообмена (меридиональный перенос тепла, теплообмен между океаном и атмосферой и др.) за пределами климатической нормы 1961–1990 гг. не учитывалось.

Таблица 1.

Распределение годовых норм ПТВ (Temperature data...) и инсоляции (Солнечная радиация и ...) по широтным зонам (среднее за период с 1961 по 1990 гг.)

Географическая широта, град.	Северное полушарие		Южное полушарие	
	ПТВ, °С	Инсоляция, Дж/м ²	ПТВ, °С	Инсоляция, Дж/м ²
0–5	26,15	1,316E+10	25,97	1,315E+10
5–10	26,35	1,307E+10	25,77	1,307E+10
10–15	26,42	1,289E+10	24,91	1,289E+10
15–20	25,66	1,262E+10	23,77	1,262E+10
20–25	24,03	1,226E+10	22,25	1,226E+10
25–30	21,27	1,182E+10	20,25	1,182E+10
30–35	17,09	1,131E+10	17,79	1,131E+10
35–40	13,62	1,072E+10	15,02	1,072E+10
40–45	10,07	1,008E+10	11,55	1,008E+10
45–50	6,16	9,376E+09	7,85	9,376E+09
50–55	3,12	8,637E+09	4,31	8,637E+09
55–60	0,48	7,879E+09	0,92	7,878E+09
60–65	-4,60	7,135E+09	-3,35	7,135E+09
65–70	-8,83	6,494E+09	-10,76	6,494E+09
70–75	-12,09	6,058E+09	-24,68	6,058E+09
75–80	-15,14	5,763E+09	-34,66	5,763E+09
80–85	-16,73	5,576E+09	-38,96	5,576E+09
85–90	-17,07	5,485E+09	-46,18	5,485E+09

Расчитанные для 5-ти градусных широтных зон земного эллипсоида (без учета атмосферы) значения инсоляции (Солнечная радиация и...) (средние за период с 1961 по 1990 гг.) сопоставлялись с климатической нормой ПТВ за период 1961–1990 гг. (рис. 1, табл. 1).

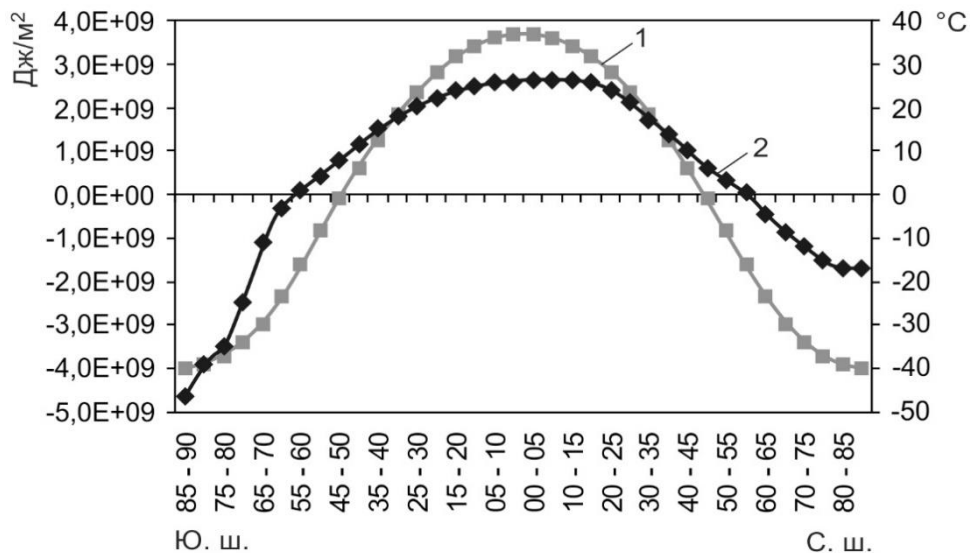


Рис. 1. Распределение инсоляции относительно среднего для 5-ти градусной широтной зоны значения (1) и абсолютных значений ПТВ (2) по широтным зонам (среднее за период с 1961 по 1990 гг.) (Солнечная радиация и...)

Распределение ПТВ по широтным зонам характеризуется тесной корреляционной связью с распределением приходящей на земной эллипсоид солнечной радиации (рис. 1). Коэффициент корреляции (R) климатической нормы ПТВ (1961–1990 гг.) и приходящей солнечной радиации по всему широтному диапазону (90°с.ш. – 90°ю.ш.) характеризуется значением 0,942, для северного полушария – 0,997, для южного полушария – 0,942.

Уравнения регрессии определялись на основе раздельной аппроксимации трех широтных диапазонов Земли (так достигалась оптимальная аппроксимация). Для аппроксимации годовых значений ПТВ в диапазоне широтных зон от 85°–90° с.ш. до 10°–15° с.ш. использовался полином 6-й степени. В диапазоне от 5°–10° с.ш. до 55°–60° ю.ш. и в диапазоне от 60°–65° ю.ш. до 85°–90° ю.ш. – полиномы 3-й степени.

Значения коэффициента детерминации (R2) оказались всех трех широтных диапазонов равным 0,99. Это согласуется с результатами сопоставления рассчитанных по данным наблюдений и осредненных по полушарию и за год изменений планетарного радиационного баланса, связанных с облачностью. Оказалось, что имеет место практически полная компенсация. То есть, при глобальном масштабе усреднения влияние облаков на радиационный режим мало (Мохов, 1982). Широтные диапазоны аппроксимации отражают неоднородную структуру подстилающей поверхности Земли в полушариях (различные соотношения континентов и океанов в полушариях, ледовый континент Антарктида), проявляющуюся в характере связи приповерхностной температуры воздуха с инсоляцией (Fedorov, Grebennikov, 2017).

По полученным полиномиальным уравнениям регрессии для 5-ти градусных широтных зон по данным инсоляции (Солнечная радиация и ...) были рассчитаны (учитывающие только изменение инсоляции) годовые значения ПТВ для периода с 1900 по 2016 гг.

Исходными астрономическими данными для расчетов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (координатного времени – СТ) и всемирного корректируемого времени (UT) (Giorgini, et al., 1996; NASA, Jet Propulsion ...). Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80 – Geodetic Reference System, 1980) с длинами полуосей равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). В общем виде алгоритм расчетов можно представить выражением:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left(\int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где I – проходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (м²), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой трапеции – ячейки эллипсоида; α – часовой угол, φ – географическая широта, выраженные в радианах; H – высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м); $\Lambda(H, \varphi, t, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида (Вт/м²), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1°, по широте 1°, по времени 1/360 часть продолжительности тропического года (Climate Change, 2013). Значение солнечной постоянной (среднее многолетнее значение TSI) принималось равным 1361 Вт/м² (Jones, et al., 2012). Изменение активности Солнца не учитывалось (Федоров, 2018, 2019а; Federov, 2013; Fedorov, Grebennikov, 2017).

Рассчитанные значения инсоляции для 5-ти градусных широтных зон для периода с 1900 по 2016 гг. использовались в полученных уравнениях регрессии в качестве аргумента. Расчет инсоляционной температуры полушарий и Земли состоял в следующем. По уравнениям регрессии и данным инсоляции рассчитывались средние (для выбранной нормы) значения температуры для 5-ти градусных широтных зон (табл. 1). Эти значения умножались на средний косинус широты каждой зоны ($\cos \varphi$). Затем (делением на 18 – число широтных зон в полушарии) находилось среднее для 5-ти градусной широтной зоны значение для полушария, которое затем делилось на среднее по всем широтным зонам полушария значение $\cos \varphi$ ($\cos 45^\circ$). При расчете, таким образом, учитывается изменение площади широтной зоны в зависимости от географической широты и кривизны поверхности. Так рассчитывалась инсоляционная

температура полушарий. Для Земли инсоляционная температура рассчитывалась как среднее по полушариям (Rudolf, Scheider, 2004).

Рассчитанная с использованием уравнений регрессии по данным инсоляции годовая норма ПТВ для периода с 1961 по 1990 гг. составляет $13,97^{\circ}\text{C}$ для Земли, $14,54^{\circ}\text{C}$ для северного и $13,40^{\circ}\text{C}$ для южного полушария. По данным архива абсолютных температур, нормы ПТВ (фактические нормы) на интервале с 1961 по 1990 гг. составляют для Земли – $13,97^{\circ}\text{C}$, для северного полушария – $14,59^{\circ}\text{C}$, для южного – $13,36^{\circ}\text{C}$. Разность между фактическими и рассчитанными значениями составила $0,003$ для Земли, $0,044$ – для северного полушария и $-0,04$ – для южного полушария (ошибки аппроксимации).

Рассчитанные, с учетом изменения только инсоляционного фактора (изменений инсоляции, определяемых небесно-механическими процессами), годовые ПТВ названы нами годовыми инсоляционными температурами. Таким образом, инсоляционная ПТВ – это приповерхностная температура воздуха при стационарной и неизменной по составу атмосфере. Инсоляционные ПТВ отражают роль только инсоляционного фактора, учитывают парниковый эффект, солнечную активность, механизмы теплообмена и состояние климатической системы характерные для нормы 1961–1990 гг., и не учитывают предшествующие и дальнейшие изменения солнечной активности, парникового эффекта (связанного с составом атмосферы) и механизмов теплообмена. В связи с тем, что основным источником энергии гидрометеорологических процессов является приходящая от Солнца радиация, теоретическая оценка радиационного фактора формирования и многолетних изменений ПТВ, отражающей состояние термического режима современного глобального климата, представляется важной.

Результаты исследований и их обсуждение

По найденным уравнениям регрессии (Fedorov, Grebennikov, 2017) рассчитывались годовые инсоляционные ПТВ для каждого года в интервале с 1900 по 2016 гг., обеспеченном достоверными метеоданными (Jones, et al., 1999; Jones, et al., 2001; Brohan, et al., 2006; Jones, et al., 2012; Climatic Research Unit ...). Также рассчитывались абсолютные значения годовой ПТВ (для полушарий и Земли). Эти расчеты выполнялись алгебраическим сложением значений аномалии ПТВ, представленных в массиве HadCRUT4 (Met Office Hadley ...), с рассчитанной по массиву абсолютных температур нормой ПТВ для базового периода 1961–1990 гг.

В северном полушарии в среднем фактические ПТВ превышают инсоляционные температуры. В южном полушарии, наоборот, фактические ПТВ в среднем уступают инсоляционным температурам. Вычитанием из фактических значений ПТВ (для периода с 1900 по 2017 гг.) соответствующих значений инсоляционной ПТВ находилась разность между абсолютными значениями фактической и инсоляционной ПТВ. Полученные значения разности фактической и инсоляционной ПТВ сравнивались с данными аномалии ПТВ (Climatic Research Unit ...), представленными в массиве HadCRUT4 (рис. 2).

Оказалось, что аномалия ПТВ (рис. 2) и разность фактических и инсоляционных ПТВ корреляционно тесно связаны (коэффициент корреляции равен $0,999$). Вычитанием рассчитанной разности фактических и инсоляционных ПТВ из соответствующих фактических значений аномалии ПТВ (рис. 2) (Climatic Research Unit ...) были получены характеристики их различий. Для Земли расхождение в среднем составляет $-0,003^{\circ}\text{C}$, для северного полушария $-0,044^{\circ}\text{C}$, для южного полушария $0,04^{\circ}\text{C}$.

Рассчитанная для периода 1961–1990 гг. инсоляционная норма ПТВ в южном полушарии превышает фактическую норму ПТВ этого периода на $0,04^{\circ}\text{C}$. В северном полушарии она уступает ей на $0,044^{\circ}\text{C}$. Фактическая норма ПТВ Земли оказалась на $0,003^{\circ}\text{C}$ выше рассчитанной для нее инсоляционной нормы. Таким образом, среднее

расхождение между фактическими значениями аномалии ПТВ и разностью фактических и инсоляционных ПТВ совпадает по абсолютным значениям с отмеченными выше ошибками аппроксимации. Изменение знака в разности фактических значений аномалии ПТВ и разности фактических и инсоляционных ПТВ (относительно отмеченных при аппроксимации нормы 1961 – 1990 гг.) связано с тем, что инсоляционные ПТВ северного полушария и Земли слабо уменьшаются, а инсоляционные ПТВ в южном полушарии в период с 1900 по 2016 гг. слабо увеличиваются.

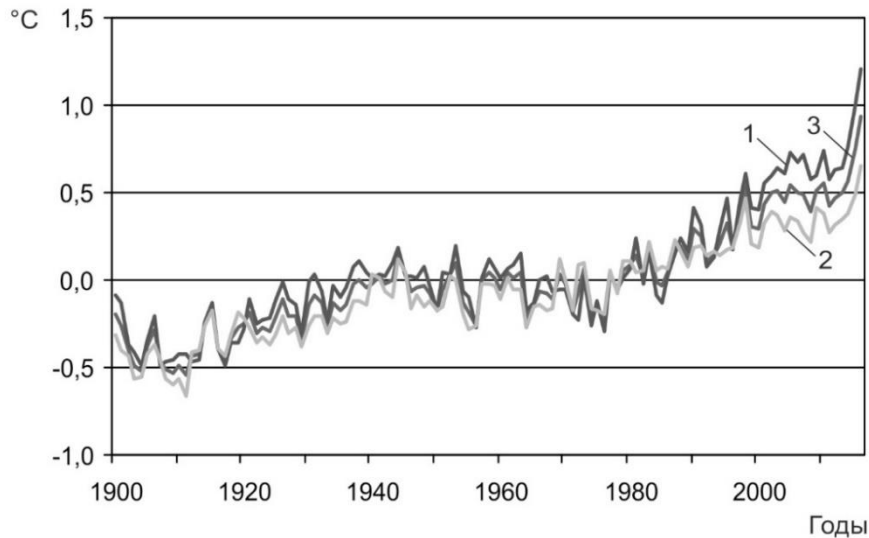


Рис. 2. Изменение аномалии ПТВ по данным HadCRUT4 (Climatic Research Unit ...); 1 – северное полушарие, 2 – южное полушарие, 3 – Земля

В среднем по модулю значения фактической аномалии ПТВ составляют $0,234^{\circ}\text{C}$, $0,254^{\circ}\text{C}$ и $0,238^{\circ}\text{C}$ для Земли, северного и южного полушария соответственно. Средние для интервала (1900–2016 гг.) аномалии ПТВ составляют для северного полушария $+0,048^{\circ}\text{C}$, для южного полушария $-0,063^{\circ}\text{C}$, для Земли $-0,007^{\circ}\text{C}$. Таким образом, средние значения аномалии ПТВ в полушариях имеют противоположные по знаку значения.

Рассчитывалась контрастность годовых инсоляционных температур (ТКИ) как разность годовых инсоляционных ПТВ в экваториальной (0° – 5°) и полярной (85° – 90°) зонах. Температурная контрастность (ТКИ) в северном полушарии (рис. 3) увеличивается с 1900 г. по 2016 г. от $43,44^{\circ}\text{C}$ до $43,48^{\circ}\text{C}$ (на $0,04^{\circ}\text{C}$, или на $0,09\%$). В южном полушарии ТКИ увеличивается от $70,73^{\circ}\text{C}$ до $70,87^{\circ}\text{C}$ (увеличение составляет $0,14^{\circ}\text{C}$, или $0,20\%$). То есть, увеличение ТКИ в период с 1900 по 2016 гг. в южном полушарии почти в 3,5 раза превышает увеличение ТКИ в северном полушарии.

Представленные на рис. 2 временные ряды фактической аномалии ПТВ имеют высокую положительную корреляцию (вероятность $0,99$) с соответствующими временными рядами годовых значений ТКИ. В северном полушарии коэффициент корреляции (R) равен **0,794**, в южном полушарии **0,869**. Для Земли (ТКИ находилось как среднее по полушариям) R равен **0,843**. Сходные значения коэффициента корреляции характерны и для рядов разности фактической и инсоляционной годовой ПТВ и ТКИ. Они имеют значения R , равные **0,794** и **0,871** и **0,844** соответственно. Следовательно, изменения аномалии ПТВ во времени определяются изменением ТКИ (рассчитанной по инсоляции и являющейся аналогом меридионального градиента инсоляции), что подтверждается тесной и положительной корреляционной связью между ними.

Проведен корреляционный анализ рядов фактической годовой ПТВ и аномалии ПТВ в диапазоне от 1900 до 2016 гг. с приходящей солнечной радиацией и инсоляционной контрастностью (ИК) (табл. 2). Под инсоляционной контрастностью

(ИК) нами понимается разность годовой инсоляции в широтном диапазоне 0° – 45° и в широтном диапазоне 45° – 90° в полушариях. Эта величина отражает разность инсоляции в области, являющейся источником тепла и инсоляции в области стока тепла. ИК обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции (Федоров, 2018).

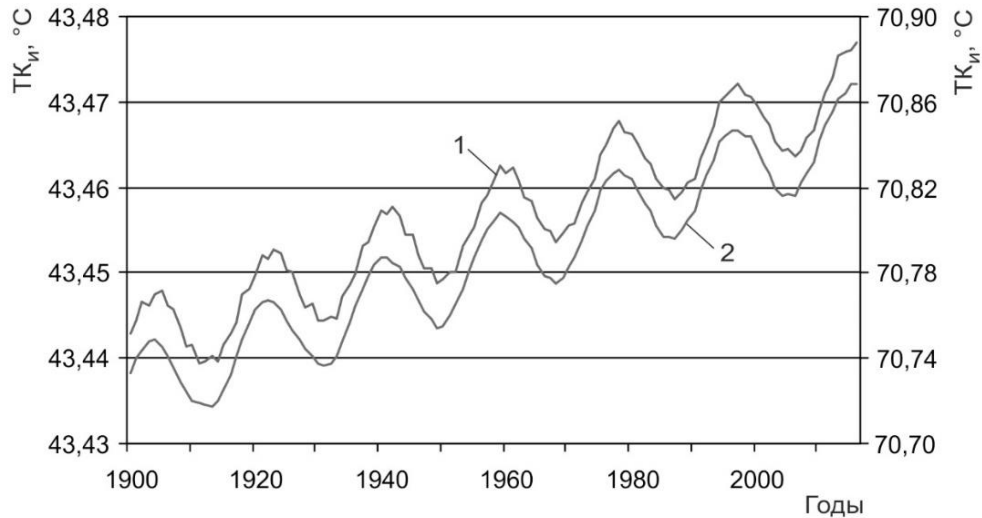


Рис. 3. Изменение ТК_и в северном (1) и южном (2) полушарии

Таблица 2.
Значения коэффициента корреляции годовой инсоляции, ИК и ТК_и с годовой ПТВ и аномалией ПТВ

	Фактическая ПТВ			Аномалия ПТВ		
	Земля	СП	ЮП	Земля	СП	ЮП
Инсоляция	0,003	0,010	-0,001	0,003	0,010	-0,001
ИК	0,835	0,786	0,856	0,835	0,786	0,856
ТК _и	0,843	0,794	0,869	0,843	0,794	0,869

Во временных рядах фактической ПТВ, ее аномалии и инсоляции Земли и полушарий связь не обнаруживается ($R < 0,01$). Одновременно отмечается тесная положительная связь временных рядов фактической годовой ПТВ, ее аномалии и инсоляционной контрастности (табл. 2).

Средние значения аномалии фактических ПТВ имеют противоположные значения в северном и южном полушарии. Это указывает на то, что механизм меридионального переноса тепла по-разному проявляется и, влияет на температурный режим в полушариях. То есть, эффекты от перераспределения приходящего от Солнца тепла, определяемого меридиональным переносом тепла, в полушариях имеют существенные различия.

Меридиональный перенос тепла (МПТ) осуществляется как регулярным переносом в ОЦА (общая циркуляция атмосферы) – ячейки Хэдли (Гадлея), Ферреля, полярная ячейка, так и вихревыми образованиями (тропические и внетропические циклоны) (Федоров, 2018, 2019б). Из-за большей неоднородности подстилающей поверхности в северном полушарии там, в значительно большей степени, чем в относительно однородном южном полушарии, МПТ осуществляется тропическими и внетропическими циклонами. Кроме того, как показывают выполненные ранее исследования (Федоров, 2018, 2019б), увеличение меридионального градиента инсоляции (которым регулируется МПТ) отмечается в зимние полугодия в полярных ячейках, а в летние полугодия она снижается. Увеличение годового меридионального градиента инсоляции (переноса тепла) отмечается в областях локализации

циркуляционных ячеек Хэдли и Ферреля. Неоднородность подстилающей поверхности в полушариях характеризуется соотношением площади континентов и океанов. В северном полушарии 39,3% его площади приходится на сушу и 60,7% на океан, в южном полушарии площадь суши составляет – 19,1%, площадь океана 80,9%. Так ежегодное количество тропических циклонов в северном полушарии (северная Атлантика и северо-западная часть Тихого океана) в среднем составляет около 60. В южном полушарии тропических циклонов значительно меньше – 6–8 (Федоров, 2018). В южном полушарии меридиональный перенос тепла блокируется мощным западно-восточным переносом «ревущие сороковые», существование которого связано с однородностью полушария и высоким меридиональным градиентом температуры (значительно превышающим меридиональный градиент температуры в северном полушарии). Так же МПТ в южном полушарии блокируется циркумполярным антарктическим течением. Поэтому, несмотря на более высокие значения меридиональных градиента температуры (и $TK_{И}$) в южном полушарии, эффект меридионального переноса тепла здесь выражен слабее, чем в северном полушарии.

Многолетние изменения фактической ПТВ (ее аномалии) не связано с изменением инсоляции, но тесно связано с изменением $TK_{И}$ и ИК. При этом отмечается линейная связь $TK_{И}$ и ИК (рис. 4).

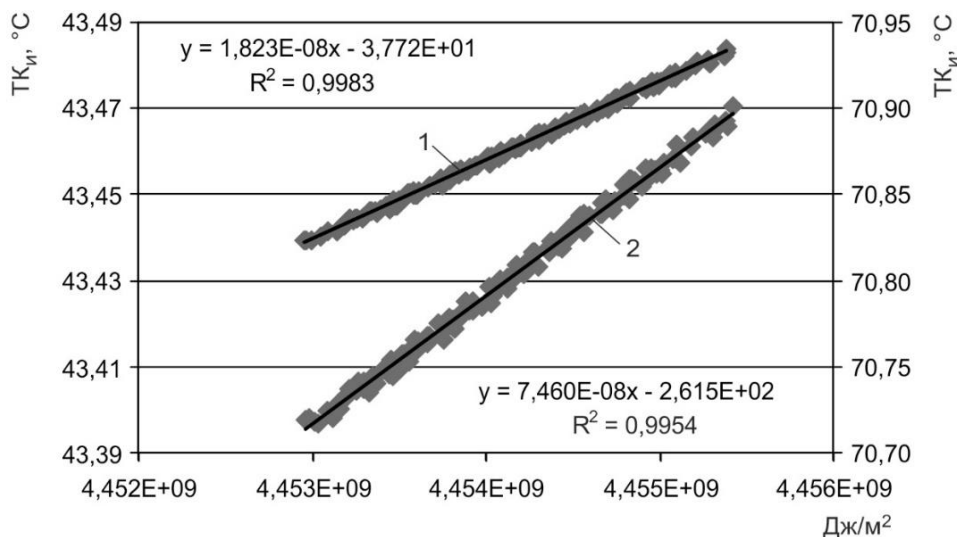


Рис. 4. Связь $TK_{И}$ и ИК в северном (1) и южном (2) полушарии

Многолетние изменения фактической ПТВ, аномалии ПТВ и разности фактической и инсоляционной ПТВ (по сути равной аномалии ПТВ) тесно связаны с многолетними изменениями $TK_{И}$ и ИК, которые линейно связаны между собой. Из этого следует, что многолетние изменения аномалии ПТВ, в основном определяются многолетними изменениями ИК. Показатель инсоляции (ИК), обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражает изменение меридионального градиента инсоляции на ВГА. ИК линейно связана с изменением наклона оси вращения Земли (Федоров, 2018, 2019а, 2019б; Федоров, Костин, 2019). Поскольку солнечная радиация является основным источником энергии гидрометеорологических процессов, отмеченные корреляционные связи следует считать и причинно – следственными.

Как следует из проведенного анализа годовые инсоляционные ПТВ уменьшаются, но увеличивается температурная контрастность ($TK_{И}$). Анализ изменения фактических годовых ПТВ в областях, являющихся источниками (0° – 45°) и стока (45° – 90°) тепла показывает, иной характер распределения фактических ПТВ (массив HadCRUT4 (Met Office Hadley ...)). Для фактических ПТВ (в отличие от инсоляционных ПТВ) в период с 1900 по 2016 гг. отмечается тенденция к увеличению.

Оценка распределения фактических ПТВ проводилась по данным с 1960 года, которые признаются наиболее достоверными в массиве HadCRUT4. Этот период имеет меньше пропусков данных как по месяцам, так и по 5-ти градусным широтным зонам, чем представленный в массиве более ранний период. По данным массива рассчитывались годовые значения глобальной ПТВ для областей, являющихся источником (0° – 45° широты) и стоком (45° – 90° широты) тепла в каждом полушарии. Расчеты для этих областей выполнялись аналогично расчетам годовых инсоляционных ПТВ для полушарий. Однако, в этом случае среднегодовые температуры находились для «половинок» каждого полушария. Полученные для широтных зон среднегодовые значения ПТВ умножались на средние для 5-ти градусных широтных зон косинусы широты. Затем находилось среднее для 5-ти градусной широтной зоны (по 9-ти зонам) значение, которое делилось на косинус $22,5^{\circ}$ для расчетов температуры в области источника тепла и на косинус $62,5^{\circ}$ при расчетах температуры в области стока тепла (Rudolf, Scheider, 2004).

Из анализа полученных результатов следует, что фактические годовые ПТВ в северном полушарии увеличиваются как в области являющейся источником тепла, так и в области стока тепла. Также в северном полушарии на протяжении этого периода уменьшается температурная контрастность годовых фактических ПТВ (TK_{Φ}) – разность годовых фактических ПТВ в экваториальной (0° – 5°) и полярной (85° – 90°) зонах полушария. Это связано с тем, что в северном полушарии увеличение ПТВ в области стока тепла превосходит увеличение ПТВ в области источника тепла. В южном полушарии наблюдается несколько иная картина. Фактические годовые ПТВ также увеличиваются как в области источника тепла, так и в области стока тепла. Однако, температурная контрастность здесь, в отличие от северного полушария увеличивается. Это связано с тем, что увеличение ПТВ в области источника тепла превосходит увеличение ПТВ в области его стока. Отмечается высокая корреляционная связь многолетних изменений фактической годовой ПТВ с многолетними изменениями годовой ИК в северном полушарии. В области источника тепла R равен 0,827. В области стока тепла – 0,841. В южном полушарии соответствующие значения R равны 0,876 и 0,307.

Из сравнения результатов расчетов годовых инсоляционных ПТВ с полученными данными следует, что фактические ПТВ в северном полушарии изменяются в противофазе с инсоляционными ПТВ. Также в противофазе изменяются $TK_{И}$ и TK_{Φ} . Годовые значения инсоляционной ПТВ уменьшаются, а значения фактической ПТВ увеличиваются (как в области источника, так и в области стока тепла). Годовая $TK_{И}$ увеличивается в северном и южном полушарии. Годовая TK_{Φ} уменьшается в северном полушарии и увеличивается в южном. В северном полушарии годовая ИК (линейно связанная с $TK_{И}$), таким образом, увеличивается, а температурная контрастность между областями являющимися источником и стока тепла сокращается (из-за усиления меридионального переноса тепла, определяемого увеличением меридионального градиента инсоляции или ИК линейно связанной с наклоном оси вращения). В южном полушарии фактические ПТВ слабо увеличиваются в области источника и стока тепла, но TK_{Φ} возрастает (при возрастании и $TK_{И}$). Это определяется тем, что в южном полушарии эффект меридионального переноса тепла (МПТ) выражен слабее, чем в северном полушарии. Это, как отмечалось выше, связано с блокирующим зональным переносом («ревущие сороковые»), циркумполярным антарктическим течением, наличием ледового континента Антарктида и океаничностью южного полушария, небольшим числом тропических циклонов.

Увеличение ПТВ в области источника тепла является следствием увеличения прихода солнечной радиации в эту область (Федоров, 2018, 2019а). Увеличение ПТВ в областях стока является следствием усиления меридионального переноса тепла

(Федоров, 2019а, 2019б, 2019в). При этом МПТ (при сходной годовой инсоляции и ИК) имеет существенные полушарные различия, которые связаны с отмеченными полушарными отличиями в климатической системе Земли. В общем, изменение полушарных температур, вероятно, определяется соотношением меридионального температурного градиента или разностью температур экватор – полюс (TK_{ϕ}) и меридионального градиента инсоляции, обобщенной (по областям источника и стока тепла) характеристикой которого является ИК. ИК линейно связана с TK_{ϕ} . Следовательно, меридиональный перенос тепла (и температурные режим полушарий и Земли), в основном, определяется соотношением TK_{ϕ} и TK_{ϕ} . В настоящее время меридиональным градиентом инсоляции (МГИ или ИК) определяется меридиональный перенос тепла (МПТ) и, в основном, многолетние изменения ПТВ. Однако со временем, при ослаблении МГИ это соотношение может измениться, прежде всего, в северном полушарии, где меридиональный градиент температуры уменьшается. Отмечаемое для северного полушария уменьшение перепада температур экватор – полюс может способствовать снижению скорости генерации и уменьшению общего числа вихрей в атмосфере (Мохов и др., 1992). Следствием этого может быть понижение ПТВ в северном полушарии. Для определения характеристик и хронологии возможного понижения ПТВ в северном полушарии необходимо физико-математическое моделирование климатических процессов. Необходимость моделирования определяется, во-первых, разнородностью компонентов климатической системы. Во-вторых, сложностью и многообразием связей (прямых и обратных) между компонентами системы. В-третьих, постоянным изменением состояний как отдельных компонентов, так и климатической системы в целом, в пространстве и во времени. В-четвертых, изменением во времени и в пространстве связей между компонентами климатической системы. Однако, радиационные блоки существующих физико-математических моделей климата нуждаются в модернизации (Федоров, 2019а).
В общем виде механизм изменения температурного режима Земли и полушарий можно представить схемой (рис. 5).

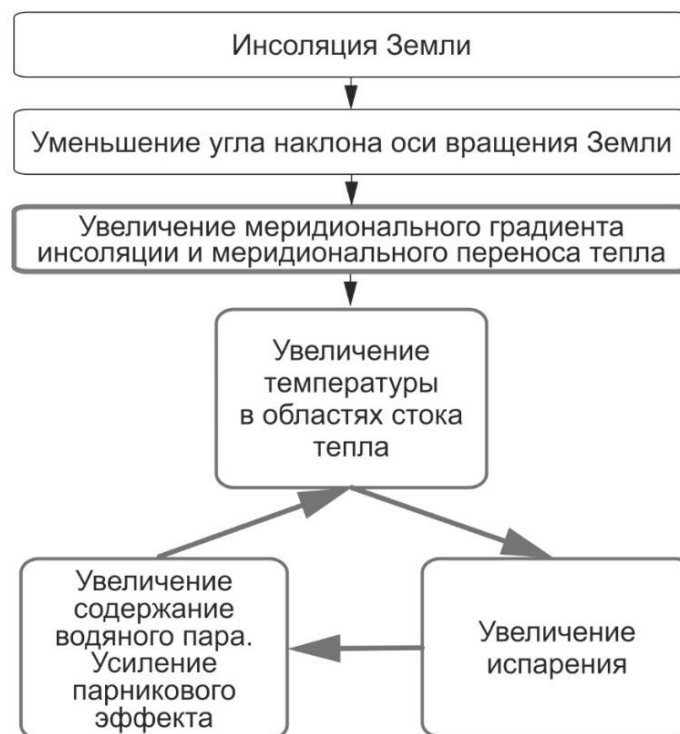


Рис. 5. Принципиальная схема радиационного теплообмена в атмосфере

Три связанных нижних блока в схеме представляют собой климатический детектор, приводящий к усилению глобального потепления. Кроме того, процесс потепления усиливается и обратными положительными связями из-за сокращения площади морских льдов и ледников и уменьшения планетарного альbedo. Повышение температуры в областях стока тепла связано не только с меридиональным переносом тепла (явное тепло), но и с процессами конденсации водяного пара в атмосфере (скрытое тепло) при меридиональном движении воздушных масс.

Схема подтверждается отмеченными тесными связями ПТВ с ТК_и и ИК, тесными связями ИК с углом наклона оси вращения и логикой климатических знаний. Схема может быть использована в качестве понятийного алгоритма в физико-математических моделях климата.

Заключение

Инсоляционные годовые ПТВ отличаются от фактических годовых ПТВ на величину аномалии ПТВ. Многолетние изменения аномалии ПТВ, отражающие многолетние изменения глобального климата (его температурного режима), в основном, определяются многолетними изменениями ТК_и и ИК. Иными словами, изменение глобальной температуры в XX столетии и в настоящее время определяется распределением приходящей солнечной радиации по широтам – инсоляционной контрастностью.

Многолетние изменения инсоляционной контрастности обобщенно (по областям источника и стока тепла) отражают многолетние изменения меридионального градиента инсоляции. Меридиональным градиентом инсоляции регулируется меридиональный перенос тепла в системе океан – атмосфера (МПТ) (Федоров, 2018, 2019б, 2019в). ТК_и линейно связана с ИК. Инсоляционная контрастность, в свою очередь, линейно связана с наклоном оси вращения Земли (Федоров, 2018). Из этого следует, что многолетние изменения (увеличение) аномалии ПТВ и наблюдаемое глобальное потепление климата, в основном, определяются естественными причинами и связаны с уменьшением наклона оси вращения Земли.

Список литературы

1. Будыко М.И. Радиационные факторы современных изменений климата // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1968. – № 5. – С. 36–41.
2. Кондратьев К.Я. Радиационные факторы современных изменений глобального климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 279 с.
3. Кондратьев К.Я. Глобальный климат и его изменения. – Л.: Наука, 1987. – 232 с.
4. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. – СПб.: Наука, 1992. – 359 с.
5. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 408 с.
6. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
7. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физ. Наук. – 2000. – Т. 170. – № 4. – С. 419–445.
8. Мохов И.И. О влиянии облачности на энергетический баланс климатической системы // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 8. – С. 34–39.
9. Мохов И.И., Мохов О.И., Петухов В.К., Хайруллин Р.Р. Влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность в атмосфере // Известия АН СССР, физика атмосферы и океана. – 1992. – Т. 28. – № 1. – С. 11–26.
10. Солнечная радиация и климат Земли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.solar-climate.com>. (17.08.2019).
11. Фёдоров В.М. Проблема меридионального переноса тепла в астрономической теории климата // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18. – № 3. – С. 117–128.

DOI:10.21455/GPB1019.3-8.

12. Федоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли. – М.: Физматлит, 2018. – 232 с.
13. Федоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата // Успехи физических наук. – 2019. – Т. 189. – № 1. – С. 33–46. DOI: 10.3367/UFNr.2017.12.038267.
14. Федоров В.М., Костин А.А. Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э // Процессы в геосредах. – 2019. – № 2. – С. 254–262
15. Федоров В.М. Многолетние изменения в переносе лучистой энергии на верхней границе атмосферы // Процессы в геосредах. – 2019. – № 1 (19). – С. 107–111.
16. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1953. – 990 с.
17. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophys. Res. – 2006. – V. 111. – D12106. DOI: 10.1029/2005JD006548.
18. Climate Change. Chapter 8. Anthropogenic and natural radiative forcing. – 2013. – P. 659–740.
19. Climatic Research Unit (University of East Anglia) and Met Office. Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature>. (17.08.2019).
20. Fedorov V.M. Interannual Variations in the Duration of the Tropical Year // Doklady Earth Sciences. – 2013. – V. 451. – Part 1. – P. 750–753. DOI: 10.1134/S1028334X13070015.
21. Fedorov V.M., Grebennikov P.B. Calculation of long-term averages of surface air temperature based on insolation data // Izvestya atmospheric and oceanic. – 2017. – V. 53. – № 8. – P. 757–768. DOI: 10.1134/S0001433817080047.
22. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B., Chodas P.W., Jacobson R.A., Keesey M.S., Lieske J.H., Ostro S.J., Standish E.M., Wimberly R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service // Bulletin of the American Astronomical Society. – 1996. – V. 28(3). – P. 1158.
23. Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J., Harpham C., Salmon M., Morice C.P. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2010 // J. Geophys. Res. – 2012. – V. 117. – D05127. DOI: 10.1029/2011JD017139.
24. Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G. Surface air temperature and its variations over the last 150 years // Reviews of Geophysics. – 1999. – V.37. – P. 173–199. DOI:10.1029/1999RG900002.
25. Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R., Folland C.K., Horton B., Alexander L.V., Parker D.E., Rayner N.A. Adjusting for sampling density in grid-box land and ocean surface temperature time series // J. Geophys. Res. – 2001. – V. 106. – P. 3371–3380. DOI:10.1029/2000JD900564
26. Met Office Hadley Centre observations datasets. Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/download.html>. (17.08.2019).
27. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. (17.08.2019).
28. Temperature data (HadCRUD4, CRUTEM4) Climatic Research Unit global temperature. – Электронный ресурс университета Восточной Англии и метеобюро Хэдли. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/absolute.nc> (17.08.2019).
29. Rudolf B., Scheider U. Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations // Proceedings IPWG. – Monterey, 2004. – P. 1 – 14.

**CONTRAST OF ANNUAL INSOLATION TEMPERATURES AND TENDENCIES OF
LONG TERM VARIATIONS OF SURFACE AIR TEMPERATURE**

Fedorov V.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

e-mail: fedorov.msu@mail.ru

Based on the relationship between the latitudinal distribution of annual insolation and the near-surface air temperature (ST), the annual insolation temperatures from 1900 to 2016 are calculated. It is shown that long-term changes in ST are determined by long-term changes in the contrast of insolation temperatures and insolation contrast. Long-term changes in insolation contrast (summarized in the areas of heat source and sink) reflect long-term changes in the meridional gradient of insolation. The meridional gradient of insolation regulates the meridional heat transfer in the ocean-atmosphere system. It is shown that insolation contrast is linearly related to the tilt of the Earth's rotation axis. It follows that the long-term increase in the ST anomaly and the observed global climate warming are mainly determined by natural causes and are associated with a decrease in the inclination of the Earth's rotation axis.

The general scheme of the mechanism for changing the temperature regime of the Earth and the hemispheres was presented. It is determined that when the contrast of insolation temperatures increases, the temperature contrast in the Northern hemisphere decreases, while in the Southern hemisphere it increases.

Keywords: insolation; insolation temperatures; surface air temperature; contrast of temperatures; tendencies.

Федоров
Валерий
Михайлович

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова», e-mail: fedorov.msu@mail.ru

Поступила в редакцию 23.01.2020 г.

УДК 911.2:551.58

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ПРИМЕРЕ КАРАДАГСКОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРА*

Зуев А.В., Летухова В. Ю., Зуева Е.А.

Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Российская Федерация,
e-mail: letukhova@gmail.com

В работе рассмотрено влияние быстро меняющихся климатических факторов на жизнеспособность отдельных видов растений в условиях Карадагского ландшафтно-экологического стационара. Отмечено, что за последние годы произошло значительное отклонение основных климатических показателей от средних многолетних значений: увеличились средняя годовая, минимальная и максимальная температуры воздуха, поверхности почвы и лесной подстилки, уменьшились годовое количество осадков и количество воды в почвенном слое. Все это, в свою очередь, повлекло за собой трансформацию растительного покрова, массовое усыхание отдельных видов деревьев и кустарников, исчезновение или уменьшение численности некоторых влаголюбивых лесных травянистых растений на территории Карадагского ландшафтно-экологического стационара. Определено, что из годовых поступлений атмосферной влаги, ноябрьские осадки оказывают наибольшее воздействие на устойчивость лесных фитоценозов. Установлено, что основной причиной нынешнего состояния растительности является катастрофическое понижение уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: климат, температура, осадки, поверхностный сток, грунтовые воды, изменение лесорастительных условий, состояние растительности, Карадагский природный заповедник.

Введение

Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) располагается в юго-западной части Карадагского заповедника на юго-восточном склоне хребта Беш-Таш. Климат стационара, находящегося на высоте от 120 до 250,8 м н.у.м. и удаленного от Черного моря на 1,85 км, несколько более суровый, чем на Карадагской научно-исследовательской геофизической обсерватории (КНИГО), расположенной на берегу моря (42 м н.у.м.), который ранее характеризовали как переходный от субсредиземноморского характерного для ЮБК к умеренно континентальному умеренно жаркому сухому, свойственному степной части крымского полуострова (Природа Карадага, 1989).

В последние годы в состоянии растительных сообществ стационара происходят отчасти противоречивые, но в целом тревожные изменения. С одной стороны, продолжается естественный процесс зарастания степных участков лесной и кустарниковой растительностью. Доминируют в наступлении на степь граб (*Carpinus orientalis* Mill.), фисташка (*Pistacia mutica* Fisch. et May.) и держи-дерево (*Paliurus spinachristi* Mill.). В тоже время наблюдается массовый отпад и ослабление некоторых видов деревьев и кустарников. Полностью выпали терновые (*Pruneta spinosae*) растительные группировки. Шиповник (*Rosa corymbifera* Borkh.) усох на 95%. Выпали или находятся в угнетенном виде (от VI до II категорий состояния (Рождков, Козак, 1989)) большинство экземпляров клена (*Acer campestre* L.), ясеня (*Fraxinus excelsior* L.), боярышников (*Crataegus orientalis* Pall. ex Bieb., *C. pojarkovae* Kossyach). Вблизи стационара полностью выпал карагач (*Ulmus carpinifolia* Rupp. ex Suckow) (VI–VII). А в течение всего

* Работа выполнена в рамках темы гос. задания № АААА-А19-119012490044-3.

вегетационного сезона 2018 г. даже палиуровые сообщества (*Paliureta spinae-christi*) были в ослабленном состоянии. Среди пушистодубовых насаждений много деревьев II и III категорий состояния.

Цель исследований: проанализировав многолетние ряды данных гидрометеорологических параметров КЛЭС, выявить причинно-следственные связи между динамикой климата и ее влиянием на состояние древесно-кустарниковой и травянистой растительности, а также установить иерархическую значимость климатических процессов (и их показателей), обусловивших изменение лесорастительных условий, приведших к негативным экологическим результатам.

Материал и методы

В основу работы положены гидрометеорологические наблюдения, проводимые на территории Карадагского заповедника за период 2000–2018 гг. Для анализа использованы многолетние данные проводимых на КЛЭС измерений: температура воздуха, температура поверхности почвы, температура лесной подстилки, количество осадков, задержание осадков кронами деревьев, влажность почвы и поверхностный сток. Гидрологические ряды были получены по результатам наблюдений за режимом грунтовых вод станций, расположенных неподалеку от КЛЭС: колодца в низовье склоновой балки гряды Беш-Таш и источника Чобан-Чокрак или Сюрю-Кая Южный (С/Ю) у южной оконечности хребта Сюрю-Кая. Кроме того, использовались наблюдения за режимом вод источника Левинсона-Лессинга (Л/Л). Показатели вычислялись путем элементарного осреднения данных.

Метеорологическая площадка стационара, на которой регулярно проводились измерения температуры воздуха в психрометрической будке и температуры поверхности почвы на открытом оголенном от растительности участке, расположена в нижней части водосбора на относительно ровной поверхности (СВ, крутизна 5°) в 15 м от тальвега балки на высоте 140 м н.у.м.

Наблюдение за температурным режимом подстилки осуществлялось под пологом грабинниково-дубового лесного сообщества (8Дп2Гб ед.Кп), находящегося на прибалочном склоне восточной экспозиции крутизной 25°. Полнота насаждения 0,9, высота древостоя до 10 м. В подлеске кизил (*Cornus mas* L.), изредка боярышник (*Crataegus* sp.). Травянистый покров редкий: чесночник черешчатый (*Alliaria petiolata* (Bieb.) Cavara et Grande), вздутосемянник корнубийский (*Physospermum cornubiense* (L.) DC.), бородавник средний (*Lapsana intermedia* Bieb.). Температура измерялась в полуперегнившем слое подстилки на глубине 3 см от ее поверхности.

Индекс континентальности рассчитывался по формуле Н.Н. Иванова (1953):

$$K = (A/0,33\varphi) * 100\%, \text{ (от 25 до 300 ед.)}, \quad (1)$$

где K – индекс континентальности; A – годовая амплитуда температуры воздуха, °С; φ – географическая широта.

Рядом с пунктами наблюдения за температурным режимом на открытом степном участке и под лесным пологом установлены сосуды для сбора осадков и лизиметры высотой 22,5 см, заполненные почвой с неизменной структурой и в то же время свободной от непосредственного воздействия древесных корней. Площади приемных отверстий лизиметров и сосудов для сбора осадков между собой равны.

Индекс годового распределения осадков определялся по формуле:

$$Игхо = (O_{тп} - O_{хп}) / O_{год}, \quad (2)$$

где $O_{тп}$, $O_{хп}$ и $O_{год}$ суммы осадков за теплое и холодное полугодия и за год (Сергин и др., 2001).

Наблюдения за поверхностным стоком проводились на стоковых площадках СП-1 и СП-3, расположенных на некогда (на момент создания стационара в 1995 г.) открытом месте, а ныне зарастающими лесо- и шибляко-образующими древесно-кустарниковыми растениями на хорошо задернованных склонах балки.

СП-1 (площадь 15,5 м²) находится на правом северо-восточном склоне балки, крутизна склона 15°. В 1998 г. здесь находилась опушечная травянистая группировка, примыкающая к грабинниково-дубовому лесу. Господствовали ксеромезофильные злаки и разнотравье: мятлик узколистный, ежа сборная, осока шерстистая, дубровник обыкновенный, земляника, лабазник обыкновенный (*Poa angustifolia* L., *Dactylis glomerata* L., *Carex tomentosa* L., *Teucrium chamaedrys* L., *Fragaria viridis* Duch., *Filipendula vulgaris* Moench), присутствовали всходы и подрост граба (*Carpinus orientalis* Mill.). К 2018 г. это уже дубово-грабинниковый молодняк (6Г64Дп, полнота 0,7) с подростом тех же пород, травянистый ярус сильно разрежен (покрытие не более 25%), в качестве доминантов здесь выступают типчак и эгонихон (*Festuca valesiaca* Gaudin и *Aegonichon purpureo-caeruleum* (L.) Holub), также присутствует лишайник (*Cladonia* sp.). В последние два года большую часть СП-1 покрывает лесная подстилка.

СП-3 (площадь 25,5 м²) установлена на противоположном (левом) юго-восточном склоне балки крутизной 14°, покрытом травянистой растительностью с участием кустарников. В 1998 г. это эфемерно-грудницево-сухоцветно-типчачовая степь окруженная кустарниками. Подрост: держи-дерево, груша лохолистная (*Paliurus spinachristi* Mill, *Pyrus elaeagrifolia* Pall); густой травянистый покров: типчак, сухоцвет цилиндрический, грудница, синеголовник полевой, василек солонский, эгилопс, лук прочноодетый (*Festuca valesiaca* Gaudin, *Xeranthemum cylindraceum* Sibth. et Smith, *Galatella villosa* (L.) Reichenb., *Eryngium campestre* L., *Centaurea salonitana* Vis., *Aegilops biuncialis* Vis., *Allium firmotunicatum* Fomin.). В 2018 г. – смешанная кустарниково-степная группировка: кустарниковый ярус образован держи-деревом (*Paliurus spinachristi* Mill), покрытие 25%; в травянистом ярусе доминируют житняк гребенчатый, бородач кровоостанавливающий, грудница мохнатая (*Agropyron pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng, *Galatella villosa* (L.) Reichenb.).

Для определения полевой влажности почвы пробы отбирались в 30 точках стационара (Ландшафтно-экологический ..., 1999), распределенных по 5 растительным группировкам на глубине 5–10 см. К настоящему времени состав и структура наблюдаемых растительных сообществ претерпела значительные изменения вплоть до смены степных на кустарниковые (точки 1, 2, 9, 13, 25) и лесные (точки 5, 23). В марте 2017 года добавлено три новых мест отбора проб (точка № 32 – формация клена полевого, точка №33 – степное сообщество, точка №34 – фисташковое редколесье).

Определение влажности производилось методом прямых весовых измерений (термовесовым методом). Расчет влажности проводился по формуле:

$$W = (\bar{b} - \bar{v}) / (\bar{v} - a) * 100\%, \quad (3)$$

где a – масса бюкса, г; \bar{b} – масса бюкса с сырой почвой, г; \bar{v} – масса бюкса с абсолютно сухой почвой, г; $(\bar{b} - \bar{v})$ – масса воды, г; $(\bar{v} - a)$ – масса сухой почвы, г.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) (показатель увлажнения территории) определялся как:

$$ГТК = \sum r / (0,1 \sum t), \quad (4)$$

где $\sum r$ – сумма осадков (мм) за рассматриваемый период календарного года (месяц, вегетационный период) со среднесуточными температурами выше 10°C; $\sum t$ – сумма активных температур выше 10°C (САТ) за тот же период календарного года.

Колодец, используемый в качестве пункта наблюдений за грунтовыми водами, расположен на днище балки в 300 м от КЛЭС и в 2,25 км севернее Карадагской научной

станции на высоте около 140 м н.у.м. Грунтовые воды вскрыты шахтой колодца в пролювиальных щебенистых суглинках у контакта их с глинами на глубине около 4 метров от поверхности. Областью питания грунтовых вод является верхняя часть Карадагской балки, которая на 70% покрыта лесом.

Источник С/Ю расположен неподалёку от КЛЭС на склоне балки Карадагской на южном склоне хребта Сюрю-Кая в 2,75 км к северу от Карадагской научной станции на высоте 250 м н.у.м. В питании источника участвуют воды атмосферных осадков и трещинно-карстовые воды прилегающей части хребта. Склон у источника сложен четвертичными коллювиальными и делювиальными щебнисто-суглинистыми карбонатными отложениями, залегающими на водоупорных юрских глинах. Кленово-дубовые насаждения, растущие на склоне, как и возвышающийся над ними известняковый массив способствуют быстрому проникновению атмосферной влаги до водонепроницаемых глинистых пластов.

Источник Л/Л, за режимом вод которого наблюдения ведутся с марта 2007 г., расположен в нижней части одноименной скалы, сложенной из туфа, расположенной у берега моря в 1 км к востоку от Карадагской научной станции. Источник постоянный, нисходящий, образован трещинно-грунтовыми водами, водоупором которых служит монолитный нетрещиноватый лавовый поток спилитов, питается в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Гидрологические наблюдения проводились с периодичностью раз в неделю и сразу после выпадения атмосферных осадков. Отслеживалась также суточная динамика параметров исследуемых объектов.

Результаты и обсуждение

В температурном режиме стационара 2012–2018 гг. относительно периода 2000–2011 гг. произошли следующие изменения: среднесуточная температура воздуха на КЛЭС повысилась на 0,8°C. Максимальный ее рост (на 1,8°C) наблюдался в мае. Лишь в октябре и ноябре температура воздуха оказалось прохладней на 0,1°C и 0,3°C соответственно (табл.1). Среднегодовые суточные минимальные значения температуры воздуха выросли на 0,7°C. Наибольшее увеличение среднемесячных суточных минимальных величин (на 1,7°C) произошло в мае. В ноябре они совпали. Незначительные (на 0,3 и 0,1°C) понижения суточных минимумов наблюдались в октябре и декабре. Среднемесячные суточные температурные максимумы, которые в среднем за год повысились на 0,8°C (более всего на 1,7°C в апреле и мае), стали ниже в октябре и ноябре. Произошло небольшое увеличение амплитуды колебания температуры воздуха. Средняя годовая амплитуда температуры воздуха (разность средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяца (август–январь) стала на Карадагском стационаре более континентальной на 1,1°C, и составила 23,4°C. Амплитуда, вычисленная из фактических ежегодных среднемесячных величин самого теплого и самого холодного месяца (которые иногда приходились не только на август и январь, но и на другие летние и зимние месяцы), оказалась больше на 0,1°C и составила 24,8°C. По формуле Н.Н. Иванова индекс континентальности в первом случае увеличился с 150 до 157, а во втором с 166 до 167 единиц. Амплитуда колебания температуры воздуха по среднемесячным величинам суточных абсолютных температурных значений в среднем за год увеличилась на 0,1°C. Длительность безморозного периода на стационаре увеличилась с 307 до 316 дней. Количество дней с температурой, превышающей биологический минимум для развития растений в 5,0°C, изменилось с 284 до 291. Период активной вегетации, когда среднесуточная температура была выше 10°C, составлял в 2000–2011 гг. – 207, а в 2012–2018 гг. уже 212 дней. Сумма среднесуточных температур воздуха более 10,0°C (САТ) изменилась с 3870,8 до

4131,6°C, что больше порогового значения, принятого для субтропического климата (4000°C). Число дней с температурой 30,0°C и более возросло с 29 до 40 дней. Произошли заметные сдвиги климатических сезонов (смещение сроков и изменение продолжительности). Метеорологическая зима стала наступать на 10 дней раньше (в среднем с 30 декабря), при этом ее продолжительность сократилось с 38 до 34 дней. Среднесуточная температура воздуха за климатический зимний сезон повысилась всего на 0,1°C и составила минус 1,4°C (за календарную зиму температура воздуха возросла на 0,4°C и в среднем за 2012–2018 гг. равнялась плюс 2,9°C). Метеорологический весенний сезон увеличился с 87 до 89 дней. Температура воздуха при этом поднялась с 7,7 до 8,1°C (за календарную весну с 10,3 до 11,7°C). Более всего увеличилась продолжительность метеорологического лета, количество дней которого изменилось с 150 до 155 дней, а температура воздуха с 21,1 до 22,0°C (у календарного летнего сезона с 22,8 до 24,0°C). Климатическая осень уменьшилась с 91 до 88 дней. Ее температура воздуха повысилась с 7,5 до 7,8°C (у календарной осени с 13,2 до 13,3°C).

Таблица 1.

Среднемесячные значения температуры воздуха на КЛЭС в 2000–2018 гг.

Месяц	Минимальная			Максимальная			Среднесуточная			Макс - Мин.		
	2000–2011	2012–2018	Разница	2000–2011	2012–2018	Разница	2000–2011	2012–2018	Разница	2000–2011	2012–2018	Разница
1	-1,2	-0,8	-0,4	4,6	5,2	-0,5	1,7	2,2	-0,5	5,8	6,0	-0,2
2	-1,1	-0,3	-0,8	5,3	5,6	-0,4	2,0	2,5	-0,5	6,3	5,9	0,4
3	1,6	2,6	-1,0	8,8	9,9	-1,1	5,0	6,2	-1,2	7,2	7,3	-0,1
4	6,2	6,8	-0,6	14,2	15,9	-1,7	10,1	11,4	-1,2	8,0	9,2	-1,1
5	11,0	12,7	-1,7	20,1	21,9	-1,7	15,6	17,4	-1,8	9,1	9,2	0,0
6	15,5	17,1	-1,5	24,9	26,4	-1,5	20,4	21,9	-1,5	9,3	9,3	0,1
7	19,1	19,8	-0,7	28,8	29,2	-0,3	24,1	24,6	-0,5	9,7	9,4	0,3
8	19,3	20,9	-1,6	29,0	30,6	-1,6	24,0	25,5	-1,5	9,7	9,8	-0,1
9	14,6	15,1	-0,5	23,5	24,3	-0,9	18,8	19,5	-0,7	8,9	9,2	-0,3
10	9,5	9,2	0,3	16,9	16,7	0,2	12,9	12,7	0,1	7,4	7,5	-0,2
11	4,9	4,9	0,0	11,7	11,0	0,7	8,1	7,8	0,3	6,8	6,1	0,7
12	1,0	0,8	0,1	6,5	7,1	-0,6	3,8	3,9	-0,1	5,6	6,3	-0,7
Сред.	8,4	9,1	-0,7	16,2	17,0	-0,8	12,2	13,0	-0,8	7,8	7,9	-0,1
Зима	-0,4	-0,1	-0,3	5,5	6,0	-0,5	2,5	2,9	-0,4	5,9	6,1	-0,2
Весна	6,3	7,4	-1,1	14,4	15,9	-1,5	10,3	11,7	-1,4	8,1	8,5	-0,4
Лето	18,0	19,2	-1,3	27,6	28,7	-1,2	22,8	24,0	-1,2	9,6	9,5	0,1
Осень	9,6	9,7	-0,1	17,3	17,3	0,0	13,2	13,3	-0,1	7,7	7,6	0,1
Годовая амплитуда по среднемноголетним среднемесячным температурам (август - январь)										22,3	23,4	-1,1
Годовая амплитуда (средняя из фактических ежегодных)										24,7	24,8	-0,1

Тенденция к повышению температуры воздуха сохраняется. За последние три года (2016–2018 гг.) среднесуточная температура воздуха на КЛЭС оказалась выше своего среднего многолетнего значения (2000–2015 гг.) на 0,6°C. При этом в июле она совпала, в январе и ноябре была ниже, а в остальные месяцы оказалась выше средней многолетней величины. 2018 г. стал самым теплым (13,6°C) за весь период исследования. Месячные минимальные значения температуры воздуха превышали многолетние абсолютные минимумы. Шестнадцатого февраля 2016 года максимальная температура воздуха (23,9°C) оказалась на 7,4°C выше абсолютной февральской зарегистрированной 29 февраля 2004 г. Максимальная температура воздуха (38,5°C), отмеченная 8 августа 2017 г., была близка к абсолютному температурному максимуму (38,9°C), зарегистрированному 8 августа 2010 г.

Минимальная и максимальная годовая температура воздуха, поверхности почвы и лесной подстилки существенно изменилась (табл. 2). Среднегодовая минимальная температура возросла: воздуха на 0,9°C, поверхности почвы на 1,1°C. В лесной подстилке из-за понижения ее минимальных температурных значений в зимние месяцы и в октябре она осталась прежней. Увеличение среднего годового температурного максимума произошло во всех наблюдаемых средах. В особенности возросла максимальная температура лесной подстилки в теплое и жаркое время (в среднем с апреля по сентябрь на 2,1°C), что свидетельствует о снижении защитной роли лесного полога, который из-за дефицита атмосферной влаги был вынужден уменьшить свою листовую поверхность, увеличив доступ солнечной радиации. О том, что кроны деревьев в 2012–2018 гг. стали более ажурными, говорит и сокращение температурных различий. Разница между минимальными температурами подстилки и воздуха сократилась на 0,8°C, подстилки и поверхности почвы – на 1,1°C. Сокращение среднегодового различия максимума подстилки к максимам воздуха и земной поверхности составило 0,5°C.

Таблица 2.

Средние значения по недельным показателям температурного режима воздуха, поверхности почвы и лесной подстилки за период с 2000–2018 гг.

Мес яц	В будке		На поверхности почвы		В подстилке в лесу		Разница мин. температур		Разница макс. температур	
	Мин	Макс	Мин	Макс	Мин	Макс	Подстилки и воздуха	Подстилки и поверхности почвы	Подстилки и воздуха	Подстилки и поверхности почвы
Данные измерений температурного режима 2000–2011 гг.										
1	-5,3	9,2	-5,9	11,2	0,6	5,7	5,9	6,5	-3,5	-5,6
2	-5,2	9,9	-5,8	15,1	0,5	5,8	5,6	6,2	-4,2	-9,4
3	-2,1	13,2	-4,1	25,5	2,0	8,5	4,1	6,0	-4,7	-17,0
4	2,8	17,9	0,2	37,8	5,9	13,1	3,1	5,7	-4,8	-24,7
5	7,7	23,4	5,6	50,6	11,2	16,1	3,5	5,6	-7,3	-34,5
6	12,4	27,7	11,5	57,5	15,3	19,8	2,9	3,8	-7,9	-37,6
7	16,0	31,0	14,6	59,9	18,3	22,4	2,3	3,7	-8,6	-37,5
8	17,0	32,5	15,3	58,4	19,2	24,1	2,2	3,9	-8,4	-34,3
9	12,3	27,5	9,5	46,7	15,7	20,9	3,4	6,2	-6,6	-25,7
10	6,7	22,1	5,6	33,7	10,8	16,7	4,1	5,2	-5,4	-16,9
11	1,6	16,4	-0,5	20,8	6,0	12,1	4,4	6,4	-4,3	-8,8
12	-2,4	11,2	-3,7	13,3	3,0	8,3	5,4	6,7	-2,9	-5,0
Ср. год.	5,1	20,2	3,5	35,9	9,1	14,5	3,9	5,5	-5,7	-21,5
Данные измерений температурного режима 2012–2018 гг.										
1	-4,4	9,9	-4,8	12,1	0,2	7,0	4,7	5,0	-2,8	-5,1
2	-4,5	10,4	-3,8	15,0	0,1	6,4	4,5	3,8	-4,1	-8,6
3	-0,7	14,2	-2,0	26,1	2,5	9,2	3,2	4,6	-5,0	-16,9
4	2,9	19,5	1,2	41,6	6,4	14,8	3,5	5,2	-4,7	-26,8
5	9,6	25,1	8,0	52,3	12,6	18,5	3,1	4,6	-6,6	-33,8
6	14,1	29,0	13,2	55,7	15,9	21,9	1,7	2,6	-7,1	-33,8
7	16,8	32,2	15,9	60,5	18,3	24,7	1,5	2,4	-7,5	-35,7
8	18,4	33,4	16,6	60,0	19,7	26,3	1,3	3,1	-7,1	-33,7
9	13,4	29,0	11,4	50,0	15,8	22,6	2,4	4,4	-6,4	-27,3
10	6,3	21,4	3,6	33,1	9,3	17,0	3,0	5,7	-4,4	-16,1
11	2,7	16,0	-0,1	21,3	6,1	12,6	3,4	6,2	-3,4	-8,6
12	-2,4	12,0	-3,5	14,1	2,1	9,0	4,4	5,5	-3,1	-5,1
Ср. год.	6,0	21,0	4,6	36,8	9,1	15,8	3,1	4,4	-5,2	-21,0

Примечание: Надо учитывать, что среднегодовые температурные минимумы, вычисленные из суточных минимальных температур, будут на 3,2°C выше, чем рассчитанные из недельных минимальных значений, а средние максимальные годовые, взятые из суточных максимальных температурных показателей, окажутся на 4,0°C ниже полученных из недельных максимальных.

В среднем за 2012–2018 гг. на КЛЭС годовое количество осадков уменьшилось по сравнению с периодом 2000–2011 гг. с 500,5 до 466,8 мм (табл. 3). При этом наблюдалось внутригодовое их перераспределение. Среднее количество осадков оказалось больше в январе и с мая по июль. Во все другие месяцы года атмосферной влаги стало меньше. Такое изменение в распределении количества осадков с тенденцией к летнему увлажнению наблюдается с 2010 г. Это связано, прежде всего, с увеличением объема летних ливневых осадков, причем не за счет увеличения количества дождливых дней, которых, напротив, с апреля по сентябрь (теплое полугодие) сократилось с 35 до 32, а за счет увеличения поступлений влаги за дождь. В результате индекс годового распределения осадков (Игхо) изменился на КЛЭС с минус 0,126 до плюс 0,070. Самым сухим за 2012–2018 гг. выдался 2012 г.: на стационаре выпало 349,7 мм атмосферной влаги, что в 1,3 раза меньше средней многолетней величины. За эти годы самым влажным был 2016 г.: на КЛЭС выпало 618,7 мм осадков, что в 1,3 раза больше среднего многолетнего значения.

Таблица 3.

Поступление осадков за 2000–2018 гг.

Месяц	Среднее			Минимальное			Максимальное		
	2000–2011	2012–2018	Разница	2000–2011	2012–2018	Разница	2000–2011	2012–2018	Разница
1	39,4	51,5	-12,1	13,1	32,0	-18,9	106,4	69,3	37,1
2	42,5	31,1	11,4	3,8	15,0	-11,3	94,5	63,2	31,3
3	45,1	32,3	12,7	5,5	11,3	-5,8	113,8	63,9	49,9
4	28,8	18,5	10,4	0,0	3,2	-3,2	59,8	39,7	20,1
5	29,0	39,2	-10,2	2,2	4,5	-2,3	63,2	122,1	-58,9
6	42,3	91,8	-49,5	2,7	24,3	-21,6	130,7	212,3	-81,6
7	28,5	36,8	-8,3	0,0	1,9	-1,9	67,0	85,2	-18,2
8	43,7	27,8	15,9	0,0	0,3	-0,3	173,1	76,8	96,3
9	46,5	35,7	10,8	5,4	1,5	3,9	134,1	99,5	34,6
10	52,0	38,2	13,8	5,6	9,7	-4,1	133,1	80,8	52,3
11	59,4	26,7	32,7	1,1	9,1	-8,0	137,4	45,7	91,7
12	43,3	37,2	6,1	3,8	5,8	-2,0	115,5	86,5	29,0
Год	500,5	466,8	33,7	308,3	349,7	-41,4	714,5	618,7	95,8
4–9	218,8	249,8	-31,0						
1–3, 10–12	281,7	217,0	64,7						
Игхо:	-0,126	0,070	-0,196						

В кронах наблюдаемого грабинниково-дубового леса может задерживаться до 100% атмосферных осадков. Перехват осадков древесными кронами максимален в вегетационный период. Зимой твердые осадки, как правило, почти не задерживаются. Но иногда в результате ветрового переноса под кронами леса количество твердых осадков бывает заметно меньшим, чем в степи. Количество проникшей под древесный полог влаги зависит не только от времени года, но и от величины и интенсивности осадков. Часто осадки небольшой величины полностью расходуются на смачивание крон деревьев и испаряются, не достигнув поверхности почвы. Благодаря этому период без дождей оказывается более продолжительным под лесом, чем вне его. Зимняя форма дуба пушистого способна удерживать атмосферную влагу облиственными кронами большую часть года. Очень слабые (до 1 мм) жидкие осадки более всего проникают сквозь лесной полог в начале метеорологической весны, когда окончательно осыпается прошлогодняя листва. Выпадающие в жидкой форме осадки как в условиях степного сообщества, так и под пологом леса достаточно быстро проходят сквозь наблюдаемый слой почвы. На открытый степной участок поступает больше осадков, поэтому здесь наблюдается

большее изменение веса почвы как при поступлении, так и при потере влаги. Минимум содержания почвенной влаги, как правило, под древесным пологом фиксируется позднее, чем в степи. После засухи в начале наступления времени, когда осадки начинают выпадать сравнительно часто и достаточно обильно, наблюдается как в степи, так и под пологом леса быстрое и значительное насыщение влагой почвы. При этом вес задерживающейся в почве лизиметров влаги составляет более 80% от веса выпавших осадков. По мере насыщения количество влаги, задерживающейся после очередного выпадения осадков в наблюдаемой толще почвы, уменьшается.

За 2012–2018 гг. кроны деревьев удержали в себе 21,9% выпавших осадков, что на 10,9% меньше, чем за период 2000–2011 гг. (табл. 4). Причем задержание влаги пологом леса уменьшилось при всех грациях осадков. Более свободное проникновение атмосферной влаги связано с состоянием древесной растительности, обусловленным продолжительными засухами и понижением уровня грунтовых вод. Растения, реагируя на повышение температурного режима и недостаток влаги, были вынуждены для снижения транспирации уменьшить свою листовую поверхность.

Таблица 4.

Перехват осадков древесными кронами в 2000–2018 гг.

Период	Грация осадков	Число случаев	Осадки, мм		Задержано кронами	
			В лесу	На степном участке	мм	%
Сред. 2000–2011	0,1–1,0	28	3,7	16,1	12,3	76,7
	1,1–2,0	15	9,4	23,5	14,1	60,3
	2,1–5,0	19	33,7	66,7	33,0	49,2
	5,1–10,0	13	63,9	96,7	32,7	34,2
	10,1–20,0	9	87,5	119,0	31,5	26,7
	Более 20,0	6	140,6	178,7	38,1	21,6
	Итого	89	338,8	500,5	161,8	32,8
Сред. 2012–2018	0,1–1,0	30	5,7	15,8	10,2	65,4
	1,1–2,0	13	10,4	19,9	9,5	47,9
	2,1–5,0	19	39,2	62,6	23,4	37,8
	5,1–10,0	12	64,8	87,0	22,3	25,7
	10,1–20,0	7	76,0	93,0	17,0	19,8
	Более 20,0	6	170,9	188,5	17,6	9,8
	Итого	86	366,8	466,8	100,0	21,9

Дефицит атмосферной влаги в наиболее значимое для развития растительности время года.

С начала второй декады марта 2012 г. (Зуев, 2012) в степном и лесном сообществах наблюдаемый почвенный горизонт стал активно утрачивать влагу. Лишь в конце марта (с 28 марта) а затем и в начале апреля выпавшие небольшой величины (до 5,8 мм) осадки ненадолго увеличивали вес почвенного слоя. Большую часть апреля, первые две декады мая в исследуемой толще почвы влага убывала. В степи, пока там почва была еще относительно влажной, процесс потери почвенной влаги шел быстрее и в большем объеме. К концу засушливого периода более влажная лесная почва теряла влаги даже несколько больше, чем степная. Самый сухой период в 2012 году пришелся на сентябрь–октябрь. За сентябрь выпало всего 1,5 мм осадков, не сумевших осилить лесные кроны. Почва лизиметров активно теряла запас влаги. В результате в степи месячный водный баланс почвы оказался самым отрицательным за год. В октябре первые осадки (1,9 мм) поступили 19 октября. Накануне, в степном и лесном сообществах зафиксирован минимальный годовой вес лизиметров (4,297 и 3,720 кг.). Всего за календарную осень 2012 г. поступило лишь 31,2 мм, что на 126,7 мм меньше средней многолетней величины.

В марте 2013 г. (Зуев, 2013; Летухова, 2013) выпало 26,2 мм (в 1,7 раз меньше среднего мартовского количества) осадков. Наблюдаемый слой почвы в степи имел

отрицательный месячный водный баланс. Два последних весенних месяца выдались аномально сухими. В апреле поступило 3,2 мм атмосферных осадков (из них кроны леса удержали 58,3%), что в 9,1 раз меньше среднего для апреля. Почти весь май дождей не было. Наблюдаемый почвенный горизонт активно терял влагу. Лишь в середине третьей декады мая прошло два дождя (24 мая – 0,7 мм, 25 мая – 3,8 мм), количество которых оказалось в 6,5 раза меньше среднего майского. Продолжительный период с дефицитом атмосферной влаги не только не позволил нормально развиваться и сформироваться многим видам травянистой растительности (которая уродилась аномально низкопродуктивной, а некоторые виды вообще не зацвели), но и не позволил нормально сформироваться побегам и листовым пластинкам у большинства древесно-кустарниковой растительности. Начало июня выдалось дождливым. Только за два дня (3 и 4 июня) поступило в 1,3 раза больше среднемесячного для июня количества. Сразу после поступления влаги увеличение веса степного лизиметра оказалось почти равно весу осадков. А в лесу вес почвы оказался в 1,8 раз меньше веса поступившей атмосферной влаги. Всего же за первую декаду июня (в основном за три дождя – 3, 4 и 8 июня) выпало почти две средней июньской величины атмосферных осадков. Большая часть (87,2%) из них не задержалась в кронах деревьев. Прошедшие 16–17 июня еще более обильные и интенсивные осадки почти все (98%) миновали лесные кроны. При этом в лесной почве зафиксировано максимальное за год количество почвенной влаги. В итоге прошедшие невероятно обильные июньские осадки (наибольшие для этого месяца за все годы наблюдений) не только способствовали второй вегетации растительности (что для многих видов, в частности для дуба, вполне типично), но и позволили усыхающим от засухи деревьям выжить, сформировав из спящих почек новые побеги. Однако наиболее ослабленной кустарниковой растительности оправиться не удалось. Произошло массовое усыхание шиповника и терна.

Февраль 2014 г. (Зуев, 2014; Летухова, 2014) оказался сухим – поступило 15,0 мм осадков, что на 25,1 мм меньше среднего количества за последние четырнадцать лет. Кроны леса задержали 29,7%. В марте преобладала сухая и теплая погода. За семь дней с осадками поступило 11,3 мм, что в 3,9 раза меньше среднего для этого месяца количества. Кроны леса преодолело всего 56,2%. В лесу убывание почвенной влаги происходило заметно медленнее. В апреле засуха продолжилась. В три дождливых дня выпало 12,2 мм (в 2,2 раза меньше средней апрельской величины). Из них лесные кроны задержали в себе 46,7%. В мае до конца второй его декады атмосферной влаги также было мало. Наблюдаемый почвенный горизонт продолжал обезвоживаться. Восемнадцатого–девятнадцатого мая прошел мелкий, не интенсивный дождь (10,3 мм), после которого в лесу вес почвы лизиметра увеличился на величину веса проникших под полог осадков. А на степном участке оказался всего лишь на 24% меньше массы поступивших осадков. В целом же за май осадков поступило в 1,9 раз меньше обычного (среднего) количества для этого месяца. Июль 2014 г. был типично сухим – поступило 5,9 мм осадков (в 4 раза менее средней июльской величины), лесные кроны смогло преодолеть 2,4 мм (40,7%). Почва лизиметров потеряла много влаги, количественно больше в степи. В августе было всего два дождя, за которые поступило 10,7 мм атмосферной влаги (в 4,1 раз меньше среднего августовского с 2000 г.), из них кроны леса смогло преодолеть 3,9 мм (36,4%).

Большинство дней мая 2015 г. (Зуев, 2015) были очень сухими. С начала месяца по 27 мая выпало всего 2,8 мм осадков, которые почти полностью удержали собой выросшие на кронах деревьев листья. В сухом (всего 3 дождя, в сумме 1,9 мм – в 14,7 раз меньше нормы) и жарком (24,1°C) июле 2015 г. кроны деревьев леса перехватили все поступившие осадки. Наблюдаемый слой почвы в лесном и степном сообществах активно обезвоживался. Почти полные две декады августа были очень сухими. Небольшой (2,0 мм) дождь, прошедший 5 августа, почти весь удержали древесные

кроны. В степи вес лизиметра увеличился почти на величину веса поступивших дождевых вод. В лесу же наблюдаемый слой почвы продолжал терять влагу. Из 18,5 мм осадков, выпавших 18 августа, кроны леса преодолело 82,7%. Вес почвы лесного лизиметра увеличился на величину веса проникшей под лесной полог атмосферной влаги. В степи наблюдаемый почвенный горизонт удержал в себе влаги несколько меньше веса поступивших осадков. Всего же за август за два дождливых дня поступило 20,5 мм осадков, что в 2,0 раза меньше средней многолетней августовской величины. Сентябрь был очень сухим (суше за годы наблюдений на стационаре был лишь сентябрь 2012 г.). За три дня с дождями (7, 8 и 14 сентября) поступило 3,9 мм, что в 11,2 раз меньше среднего сентябрьского многолетнего значения. Кроны деревьев пропустили часть влаги (17,9%) только одного дождя. Почва лизиметров продолжала терять влагу.

Наиболее сухими месяцами во влажном **2016** г. (Зуев, 2016; Летухова, 2016) были март, апрель и октябрь. За 7 дождливых дней марта выпало 21,3 мм, это в 2 раза меньше нормы. Основное количество осадков (14,7 мм) поступило за один дождь – с 22 на 23 марта, большей своей частью (86,2%) пройдя сквозь кроны леса. В еще более сухом (чем март) апреле, за пять дней с осадками выпало 10,5 мм, что в 2,5 раза меньше средней многолетней величины. Лесные кроны пропустили лишь 59,0% поступившей влаги. Влаг в почве лизиметров стало заметно меньше. Прошедшие 12, 13 и 14 октября дожди были не интенсивны, сквозь кроны леса прошло 46,3% (8,7 мм) их общего количества (11,4 мм). Выпавшие в конце месяца (30–31 октября) 3,4 мм осадков большей частью были задержаны древесными кронами. В итоге за шесть дней поступило 15,8 мм атмосферной влаги, что в 3,1 раз меньше среднего многолетнего значения для октября. Кроны леса преодолело 10,1 мм (63,9%).

Почти две декады августа **2017** г. (Зуев, 2017; Летухова, 2017) были не только жаркими, но и сухими. За первую половину месяца прошел один дождь – 15 августа, принесший 0,1 мм атмосферной влаги. А так как ранее последний раз она поступала 19 июня, то в почве наблюдался значительный водный дефицит. Происходило массовое усыхание листвы у древесно-кустарниковой растительности. Велика вероятность отпада значительной ее части. Чрезвычайно обильный и интенсивный грозовой дождь прошел 18–19 августа. Из поступивших 36,3 мм (98,9% всех августовских осадков, которых оказалось в 1,1 раз меньше среднего многолетнего значения) атмосферной влаги лесные кроны преодолело 34,4 мм. Вес почвы лизиметров возрос почти на величину веса поступившей влаги. До конца месяца был еще один день (23 августа) с небольшими (0,3 мм) осадками, которые полог леса полностью удержал. Период жары и засухи захватил и сентябрь. Количество почвенной влаги лизиметров уменьшилось почти до наименьшей годовой величины, зафиксированной перед ливнем, выпавшим 18–19 августа. Первый и единственный за месяц дождь прошел 23 сентября. Из выпавших 16,8 мм (в 2,4 раза меньше средней многолетней величины) кроны леса смогло преодолеть 12,7 мм.

Апрель **2018** г. выдался очень сухим, к тому же в конце него – начале мая произошла вспышка численности зеленой дубовой листовертки. Второго апреля выпали слабые осадки величиной 3,8 мм. Очень слабые осадки (до 1 мм) поступили 19 и 20 апреля. В итоге за три дождливых дня выпало 4,7 мм осадков, что в 5,6 раз меньше среднего многолетнего значения. Суше было лишь в апреле 2013 (3,2 мм) и 2009 (0,0 мм) гг. Только 61,7% осадков смогло преодолеть кроны деревьев. Почва лизиметров потеряла много влаги. С 12 мая по 22 июня было всего четыре дождливых дня, за которые сумма поступлений атмосферной влаги составила 3,5 мм. Кроны леса смогли преодолеть 1,4 мм. Август был очень сухим, суше было лишь в 2008 г., когда в августе осадков вообще не было. Единственный очень слабый дождь (0,3 мм), прошедший 7 августа, был полностью удержан лесными кронами. К концу месяца почва степного лизиметра иссушилась до того, что уменьшение ее веса по прошествии недели едва фиксировалось.

Таким образом, при частой повторяемости засушливых лет недостаток влаги привел к ослаблению устойчивости лесных фитоценозов, а у отдельных пород и к физиологическим нарушениям. Самый массовый текущий отпад шиповника и терна зафиксирован в 2013. В течение 2014–2018 гг. состояние древесно-кустарниковых сообществ стационара продолжало ухудшаться. Наиболее массовое усыхание ранее ослабленных деревьев клена и ясеня произошло в 2015 г. и в особенности в последние два года (2017–2018 гг.).

Считается, что роль осенних осадков является определяющей в пополнении запаса влаги корнеобитаемого слоя лесной почвы и непосредственным образом или через изменение других факторов сказывается на жизнеспособности древостоев. Установлена достоверная связь между текущим отпадом стволов, минимумами осадков и максимумами температур воздуха в конце каждого вегетационного периода, особенно с сентябрьскими показателями (Рыжков, Рыжкова, 2000). На КЛЭС за 2012–2016 гг. количество осадков в осенний сезон снизилось по сравнению с периодом 2000–2011 гг. с 157,9 до 100,6 мм (при уменьшении числа дождливых дней с 21 до 16). Наибольшая убыль поступлений атмосферной влаги наблюдалась в ноябре – с 59,4 до 26,7 мм. Можно предположить, что в водной составляющей устойчивого состояния лесных насаждений Юго-Восточного Крыма наиболее значимыми осадками являются ноябрьские. Летние дожди, хотя их величина за последние годы и возросла на 41,9 мм, неспособны в силу своего ливневого характера и редкости поступления на фоне повышения температурного режима (а за теплое полугодие (апрель–сентябрь) средняя максимальная температура, полученная из суточных максимальных температурных показателей, возросла на 1,3°C) обеспечивать в лесных насаждениях нормальный водный режим.

В условиях КЛЭС образование поверхностного стока возможно круглогодично. Величина и характер стока зависит от величины и интенсивности осадков, мощности снежного покрова и быстроты снеготаяния, крутизны и длины склона, состояния почвы и растительности. В зависимости от характера выпадения и поступления (в случае с твердыми осадками) осадков при одинаковом либо близком годовом количестве атмосферной влаги формируются совершенно различные объемы поверхностного стока. На юго-восточном склоне балки, покрытом густой травянистой растительностью с куртинами держи-дерева, в нижней части которого установлена стоковая площадка СП-3, сток образуется редко, как правило, в результате сильных ливней. Его объем зависит от соотношений интенсивности осадков и скорости впитывания влаги в почву. За период наблюдений в большинстве случаев сток был вызван ливневыми осадками величиной более 20 мм. При ливнях меньшей величины небольшая крутизна (14°) недлинного (50 м) участка склона и густой травостой обычно не позволяют образоваться поверхностному стоку. Исключение составляет формирование стока в связи с относительно небольшими (10–15 мм), но чрезвычайно интенсивными осадками. На формирование поверхностного стока на СП-1 существенное влияние оказывает растущий над и на ней дубово-грабинниковый лес. Проникающие под полог лесного сообщества воды ливневых осадков благодаря лесной подстилке, выполняющей роль фильтра, предохраняющего почву от заиливания, и большой водопродности лесной почвы быстро впитываются. Поэтому поверхностный сток за исключением случаев, связанных с ливнями разрушительной силы, может формироваться лишь в пределах находящегося на стоковой площадке небольшого безлесного пространства. Совершенно другая ситуация складывается над СП-1 в холодное время года при выпадении значительного количества твердых осадков. В результате ветрового переноса здесь скапливается большое количество снега. В случае резкого потепления происходит быстрое таяние снега, образующаяся вода не успевает проникнуть в почву, поверхностный сток принимает достаточно крупные размеры и заметно превосходит его расход на СП-3. Заметное влияние на характер стока оказывает воздействие животных (дикого кабана) на почву,

состав и продуктивность растительного покрова. В периоды, когда значительная часть СП-3 была перерыта кабанами, и поступающая от осадков вода значительной частью впитывалась в почву, сток на ней был куда меньше, чем на СП-1. За период исследований самый большой сток ($1,2100 \text{ л/м}^2$) на СП-1 наблюдался 1 марта 2007 г. Его формирование было вызвано таянием выпавшего за неделю до этого двадцати сантиметрового слоя снега. Как в большинстве других случаях образования стока от снега после выпадения твердых осадков до их активного таяния в результате ветрового воздействия произошло перераспределение снега с левого на правый склон балки. На СП-3 наибольшее за 2000–2018 гг. количество стоковых вод ($1,7200 \text{ л/м}^2$) зафиксировано в необычайно влажный период, длившийся с августа по октябрь 2002 г., после стока, произошедшего там 16 сентября, вызванного выпавшими с 14 по 16 сентября ливневыми осадками величиной 93,8 мм. Наиболее слабое стоковое явление ($0,0025 \text{ л/м}^2$) на СП-1, отмеченное 19 февраля 2009 г., возникло вследствие небольшого (16,1 мм) поступления атмосферной влаги, через два дня после предыдущего случая стока. Минимальное стекание по склону ($0,0010 \text{ л/м}^2$) на СП-3 за все годы наблюдений произошло 7 июля 2012 г. Столь малый объем стока (на СП-1 он был в 7 раз больше), при поступлении 26,1 мм атмосферных осадков, обусловлен кабаньем воздействием на поверхность стоковой площадки.

В среднем количество стоковых вод с 1 м^2 при близкой величине стокообразующих осадков за 2012–2018 гг. оказалась меньше, чем за период 2000–2011 гг., на СП-1 в 3,1, на СП-3 в 2,6 раз (табл. 5). Величина стока уменьшилась, прежде всего, из-за роста и увеличения деятельной поверхности крон древесной и кустарниковой растительности (на СП-1 из-за растущего над и рядом с ней дубово-грабинникового леса и поднявшихся на самой площадке молодых деревьев дуба и граба, а также вследствие формирования на ней лесной подстилки; на СП-3 из-за разросшихся кустов и примыкающих к ней куртин держи-дерева). На площадках добавилось в среднем по одному случаю возникновения стока.

Таблица 5.

Характеристика поверхностного стока 2000–2018 гг.

№ стоковой площадки	Значение	Сток за дождь, л/м^2 (раз)	Число случаев за год, шт.	Стокообразующие осадки, мм.
Сток 2000–2011 гг.				
СП-1	Среднее	0,1270	6	28,6
	Минимальное	0,0025	0	7,1
	Максимальное	1,2100	13	119,9
СП-3	Среднее	0,1094	6	30,4
	Минимальное	0,0020	1	7,8
	Максимальное	1,7200	13	119,9
Сток 2012–2018 гг.				
СП-1	Среднее	0,0410	7	34,9
	Минимальное	0,0030	5	10,1
	Максимальное	0,3680	13	103,2
СП-3	Среднее	0,0418	7	35,1
	Минимальное	0,0010	3	10,1
	Максимальное	0,3412	12	103,2

Из-за повышения температурного режима количество твердых осадков уменьшилось с 11,2 до 7,2% от годовой суммы атмосферной влаги, а общая продолжительность залегания снежного покрова с учетом минимальной степени покрытия сократилось с 24 до 16 дней. Стало нормой, что с момента выпадения снега и до его схода проходит 0,5–3 дня. Твердые осадки не успевают накапливаться. В результате количество случаев стоковых явлений, вызванных таянием снега, возросла. За период 2000–2011 гг. из 68 случаев стока на СП-1 6 вызваны сходом снега; в 2012–2018 гг. из 50 случаев

образования стока на СП-1 7 произошли вследствие снеготаяния, следовательно, в условиях этой СП количество случаев за год увеличилось с 0,5 до 0,9. На СП-3 частота стока от таяния снега увеличилась с 0,5 до 0,7 случая за год: за 2000–2011 гг. – 6 из 74; за 2012–2018 гг. – 5 из 48. Но при этом из-за уменьшения общего количества твердых осадков и из-за изменения лесом и шибляком условий формирования стока, количество влаги за случай стока заметно уменьшилось. Таким образом, повышение температуры, увеличение числа случаев формирования стока, снижение объема твердых осадков и быстрый переход их в сток уменьшили количество влаги доступной растениям.

Изменение влажности почвы зависит от величин поступления осадков и непосредственного испарения, которое, в свою очередь, определяется радиационным и тепловым режимами, силой ветра и влажностью воздуха. Растительные сообщества по-разному воздействуют на концентрацию и распределение влаги в почве. Верхний почвенный слой под степной растительностью и одиночно стоящими деревьями иссушается быстрее и сильнее, чем под лесными сообществами. В лесу наблюдаемый слой почвы, прикрытый подстилкой, защищенный кронами деревьев и в то же время практически свободный от древесных корней в течение всего года более влажный по сравнению с такими же почвенными слоями безлесного пространства. В наиболее жаркое и сухое время года содержание влаги в верхнем слое почвы под одиночно стоящими деревьями на 3–8% выше, чем под степной растительностью. В этот же период в степных сообществах, граничащих с лесом, благодаря отеняющей деятельности последнего в почве сохраняется больше влаги, чем в большинстве других степных участков. За все годы наблюдения наибольшее (в среднем по сообществам 38,1%) количество влаги в наблюдаемом слое почвы отмечено в феврале 2006 г. В январе–феврале этого года из-за необычайно сильных морозов и при невысоком снежном покрове земля глубоко промерзла. После потепления образовавшаяся в результате таяния снега влага не имела возможности передвигаться из верхнего размороженного слоя почвы в нижние все еще находящиеся в замороженном состоянии. В это время на снегозадерживающих участках, расположенных рядом с лесом запас влаги в наблюдаемом почвенном слое был почти таким же большим, как и в лесных массивах. На юго-восточном склоне (точки 25, 26, 27), где в результате ветрового переноса к моменту потепления снега осталось немного, почвенной влаги было меньше, чем в других аналогичных сообществах. Минимальное содержание почвенной влаги (в среднем по растительным группировкам 7,1%) зафиксировано в 2015 г. В сухом июле в растительных сообществах полевая влажность почвы уменьшилась в 1,3 раза по сравнению с июнем и оказалась в 1,3 раза меньше средней многолетней для июля. Большинство дней августа тоже были без дождей. Влагой в наблюдаемом почвенном слое в среднем по растительным сообществам стало меньше, чем в предыдущем месяце в 1,5 раз и оказалось в 1,7 раз меньше среднего многолетнего августовского значения. Почва оказалась самой сухой с начала наблюдений (с 1998 г.). В петрофитной степи влаги было в 1,3 раза меньше абсолютного минимального значения, отмеченного в августе 2014 г. На большинстве других степных участков влаги было в 1,1 раз меньше минимума, учтенного в августе 2001 г. Влажность почвы в степи, прилегающей к лесу, оказалась равна абсолютному ее минимуму, который был отмечен в августе 2014 года. Под одиночно расположенными деревьями почвенной влаги было в 1,2 раза меньше, чем в августе 2001 г., когда в этих сообществах было отмечено минимальное ее содержание. Лишь в лесу влажность почвы оказалась в 1,1 раз больше абсолютного минимального значения, зафиксированного здесь в августе 2001 г. Тенденция к уменьшению увлажненности территории КЛЭС не прекращается. Наибольший дефицит почвенной влаги в 2017 г. наблюдался в августе: ее было меньше среднего многолетнего августовского значения в 1,6 раз (суше было лишь в августе 2015 г.). А в сухой и жаркий июнь 2018 г. полевая влажность почвы оказалась от 1,7 (под одиночными деревьями и в лесу) до 2,4 (в

петрофитной степи) раз меньше своей средней многолетней величины и наименьшей июньской за всё время наблюдений.

За 2012–2018 гг. годовое содержание влаги в исследуемом горизонте почвы в среднем по всем растительным сообществам оказалось меньше средней многолетней величины в 1,2 раза (табл. 6).

Таблица 6.

Полевая влажность почвы (%) 1998–2018 гг.

Значение	Растительные сообщества	Месяцы												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Полевая влажность почвы (%) 1998–2011 гг.														
Среднее	Петрофитная степь	18,8	18,6	17,3	15,6	12,2	9,9	7,6	6,5	9,1	11,9	14,1	16,8	13,2
	Степные сообщества	26,0	26,1	25,1	22,5	18,2	14,8	12,5	11,5	13,2	16,6	19,9	23,5	19,1
	Степь, граничащая с лесом	25,9	26,9	25,1	23,5	19,8	16,9	14,1	13,6	14,1	17,4	20,2	23,6	20,1
	Одиночно стоящие деревья	26,3	25,9	26,1	24,3	20,7	17,7	15,6	14,7	15,1	17,5	20,7	24,2	20,7
	Лесные сообщества	33,1	34,4	33,4	32,2	28,1	24,3	21,4	18,8	19,6	21,8	26,2	30,6	27,0
	Среднее	26,0	26,4	25,4	23,6	19,8	16,7	14,2	13,0	14,2	17,1	20,2	23,7	20,0
Минимальное	Петрофитная степь	15,3	16,5	14,6	12,1	8,4	5,1	3,7	3,5	4,1	7,2	8,3	8,4	11,8
	Степные сообщества	22,6	21,4	20,4	17,8	13,3	9,0	6,7	5,2	6,7	10,4	12,8	11,9	16,1
	Степь, граничащая с лесом	21,8	20,5	19,9	17,8	13,8	11,8	8,9	7,7	7,8	11,5	12,4	12,1	16,7
	Одиночно стоящие деревья	19,8	18,2	17,1	14,3	15,3	12,1	11,5	9,8	10,9	11,5	13,1	12,1	16,4
	Лесные сообщества	24,4	22,0	22,8	21,2	21,3	18,0	14,9	11,8	14,5	14,8	17,3	16,9	21,2
	Среднее	20,8	19,7	19,0	16,6	14,4	11,2	9,1	7,6	8,8	11,1	12,8	12,3	16,4
Максимальное	Петрофитная степь	28,3	24,8	19,8	18,4	16,2	18,2	14,4	15,2	18,6	20,0	20,6	20,9	15,3
	Степные сообщества	32,7	35,9	29,4	26,0	25,9	24,3	23,1	24,0	27,2	26,6	27,4	27,4	21,7
	Степь, граничащая с лесом	35,3	43,0	28,1	27,0	26,8	27,8	24,0	23,9	22,8	27,6	25,9	28,2	22,8
	Одиночно стоящие деревья	35,3	34,7	31,2	29,7	28,3	26,5	23,7	23,6	28,7	28,3	29,9	29,8	23,7
	Лесные сообщества	41,7	52,0	38,6	37,0	35,8	35,5	33,1	32,1	35,2	34,6	37,6	39,3	30,5
	Среднее	34,7	38,1	29,4	27,6	26,6	26,5	23,7	23,8	26,5	27,4	28,3	29,1	22,8
Полевая влажность почвы (%) 2012–2018 гг.														
Среднее	Петрофитная степь	14,5	16,6	13,6	9,9	7,2	9,3	6,3	3,4	7,0	7,7	10,2	12,1	9,8
	Степные сообщества	21,6	23,5	20,7	15,7	12,7	15,1	11,5	7,0	12,1	13,0	15,1	18,9	15,5
	Степь, граничащая с лесом	22,0	24,7	20,3	16,2	13,8	16,4	12,9	8,8	13,0	14,5	16,1	19,1	16,5
	Одиночно стоящие деревья	25,3	28,1	23,7	19,8	17,4	20,4	16,3	11,5	16,4	17,4	18,3	21,4	19,6
	Лесные сообщества	29,1	33,2	29,2	25,3	21,9	25,7	20,4	14,8	18,9	20,0	21,6	25,6	23,8
	Среднее	22,5	25,2	21,5	17,4	14,6	17,4	13,5	9,1	13,5	14,5	16,2	19,4	17,1
Минимальное	Петрофитная степь	7,1	15,3	11,0	5,9	2,8	4,2	3,7	2,3	3,4	5,0	8,3	7,8	8,9
	Степные сообщества	11,5	21,8	16,8	10,4	6,8	8,0	7,6	4,8	6,7	9,4	12,0	12,1	14,6
	Степь, граничащая с лесом	12,3	23,0	17,7	9,4	8,7	8,3	9,8	7,2	9,3	11,4	14,0	13,3	15,1
	Одиночно стоящие деревья	13,3	24,3	20,9	15,5	11,5	11,3	11,7	8,2	10,0	12,7	15,5	14,1	18,4
	Лесные сообщества	17,8	29,7	24,5	20,7	13,5	15,1	16,5	12,8	14,0	16,2	19,3	20,1	22,2
	Среднее	12,4	22,8	18,2	12,3	8,7	9,4	9,8	7,1	8,7	10,9	13,8	13,5	15,8
Максимальное	Петрофитная степь	18,3	19,0	18,8	14,2	12,4	16,7	12,3	5,0	14,7	12,9	13,5	14,8	11,0
	Степные сообщества	27,0	26,8	25,5	19,4	21,1	23,7	18,5	10,7	23,0	20,3	20,5	23,2	16,7
	Степь, граничащая с лесом	26,8	28,0	25,7	21,1	20,3	24,8	19,2	11,5	20,2	21,1	21,7	23,3	17,6
	Одиночно стоящие деревья	33,2	32,8	30,0	25,3	24,7	26,4	20,7	16,2	27,4	24,3	22,7	28,5	21,4
	Лесные сообщества	34,8	36,4	37,5	33,5	31,0	35,4	25,8	19,4	28,7	25,0	27,5	30,3	25,8
	Среднее	28,0	28,6	27,5	22,7	21,9	25,4	19,3	12,6	22,8	20,7	21,2	24,0	18,5

Более всего (в 1,3 раза) ее уменьшилось в почве петрофитной степи. Под одиночными деревьями и в лесу убыль почвенной влаги оказалась наименьшей (в 1,1 раз). Только в июне влаги в почве стало больше, причем с небольшой разницей (в 1,04 раза) и не по всем растительным группировкам. Несмотря на то, что гидротермический коэффициент Селянинова, характеризующий условия увлажнения территории в вегетационный период (апрель – октябрь), не изменился и по-прежнему

равняется 0,7 единицам, прослеживается явное уменьшение количества воды в почвенном слое наиболее важном для большинства видов травянистой растительности, самосева и подроста древесно-кустарниковой растительности. В апреле и с августа по октябрь гидротермический коэффициент (ГТК) в среднем уменьшился с 0,9 до 0,6 (табл. 7). А с мая по июль произошло его увеличение на 0,3 единицы. В целом этот показатель (ГТК) аридности не вполне объективно отражает степень обеспеченности растительности влагой. За продолжительный временной промежуток рассматривается общее количество выпадающих осадков без учёта частоты их поступлений. При обильных ливнях, чередующихся с продолжительными засухами, коэффициент Селянинова может быть достаточно высоким. Однако в большинстве дней в корнеобитаемом почвенном слое наблюдается недостаточное количество влаги для нормального роста и развития растений. Так, например, за июнь 2015 г. за шесть дождей поступило 61,5 мм, что почти соответствует средней многолетней величине (на 2,1 мм больше). Месячная сумма активных температур составила 647,4°C. Соответственно ГТК за этот месяц равнялся 1,0. При этом большая часть количественного поступления атмосферных осадков (46,8 мм) пришлась на начало месяца (5 июня). Благодаря значительному повышению температурного режима и отсутствию новых поступлений осадков к середине месяца влаги в наблюдаемом почвенном горизонте оказалось в 1,3 раза меньше среднего многолетнего июньского значения.

Таблица 7.

Гидротермический коэффициент (ед.) 2000–2018 гг.

Показатель	Месяц							За вегетационный период
	4	5	6	7	8	9	10	
Гидротермический коэффициент (ед.) 2000–2011 гг.								
Осадки	28,8	29,0	42,3	28,5	43,7	46,5	52,0	270,8
САТ	199,5	470,2	612,0	746,8	744,7	562,9	342,0	3678,0
ГТК	2,0	0,7	0,7	0,4	0,6	0,8	1,7	0,7
Гидротермический коэффициент (ед.) 2012–2018 гг.								
Осадки	18,5	39,2	91,8	36,8	27,8	35,7	38,2	288,0
САТ	255,4	540,0	655,7	760,6	791,7	585,9	336,9	3926,1
ГТК	1,1	0,8	1,4	0,5	0,4	0,6	1,3	0,7

За годы наблюдений естественным образом выделились два периода различных по динамике уровня грунтовых вод (Зуев, 2017б). В первый из них, занявший 1995–2011 гг, атмосферные осадки непосредственно не влияли на колебание уровня грунтовых вод. После выпадения значительных осадков и до подъема уровня воды в смотровом колодце, используемом в качестве пункта наблюдений за грунтовыми водами, проходило несколько месяцев, а иногда и лет. Однако спад уровня по времени занимал не более 1030 дней (с 22 мая 2006 г. по 16 марта 2009 г.). Поднятие уровня, как правило, происходило резко и на большую высоту – до 3,225 м (между 6 и 13 января 1997 г.). При этом обычно наблюдалось и понижение температуры воды на 1–2°C. Самый высокий уровень (1,115 м) в колодце отмечен 7 апреля 1997 г. В 1996 г. колодец пересыхал. Пересохшим колодец оставался 180 дней (с 30 января по 29 июля). В редкое время, когда грунтовые воды находились высоко, происходила постоянная их подпитка за счет поступающих осадков, на которые уровень тут же реагировал повышением. Начало нынешнего особо депрессивного периода состояния грунтовых вод пришлось на февраль 2011 г. Тогда начавшееся опускание уровня воды в колодце продолжалось в 2012–2016 гг. Совсем небольшое (на 5 мм) поднятие воды в колодце зафиксировано в самом конце необычайно дождливого мая 2016 г. В начале июня того же года после поступления еще более обильных ливневых осадков уровень поднялся еще на 35 мм. Скорее всего, как и в предыдущие годы в подобных случаях атмосферная влага попала сверху под кольцо колодца. Далее уровень грунтовых вод продолжал опускаться, пока в начале ноября

2016 г. колодец не пересох, и в настоящее время остается пересохшим. Столь длительное депрессивное состояние уровня грунтовых вод свидетельствует о вероятном изменении гидрологических условий, что косвенно подтверждается фактом уменьшения расхода воды в источнике Чобан-Чокрак, расположенном на склоне хребта в 500 м от и на 110 м выше месторасположения колодца. По сравнению с периодом 1995–2011 гг. среднегодовой дебит источника в 2011–2018 гг. уменьшился в 7,9 раз при уменьшении количества атмосферной влаги всего на 33,7 мм и увеличении среднегодовой температуры воздуха на 0,8°C (табл. 8). Пока колодец не пересох, температура воды в нем изменялась плавно, параллельно изменению температурного режима воздуха. При этом как понижение, так и повышение температуры воды колодца по сравнению с температурой воздуха запаздывало по мере охлаждения или прогрева водоносных слоев. В среднем температура колодезной воды за годы наблюдений составила 11,2°C. Наиболее низкой (1,9°C) температура воды, которой в колодце к тому времени почти не осталось, была 23 января 1996 г. накануне полного его пересыхания. Максимальная температура 15,5°C зафиксирована 3 августа 1998 и 27 сентября 2010 гг.

Таблица 8.

Средние и абсолютные многолетние значения уровня, дебита и температуры грунтовых вод

Месяц	Величина	Осадки, мм	Температура воздуха, °С	Колодец		Источник С/Ю		Источник Л/Л	
				Температура воды, °С	Уровень воды, м	Температура воды, °С	Дебит источника, л/с	Температура воды, °С	Дебит источника, л/с
Грунтовые воды 1995/2007–2011 гг.									
Январь	Средняя	39,4	1,7	8,6	-2,840	11,9	0,2200	14,8	0,00493
	Минимум	13,1	-24,0	1,9	-4,768	9,5	0,0100	13,5	0,00363
	Максимум	106,4	15,4	11,5	-1,227	13,2	1,1550	17,1	0,00957
Февраль	Средняя	42,5	2,0	7,9	-2,629	11,8	0,2458	14,7	0,00572
	Минимум	3,8	-15,8	3,2	-4,241	9,1	0,0110	12,4	0,00363
	Максимум	94,5	16,5	10,0	-1,240	13,1	1,0870	16,5	0,01345
Март	Средняя	45,1	5,0	7,8	-2,537	12,0	0,3011	15,2	0,00536
	Минимум	5,5	-7,8	3,8	-4,210	10,0	0,0200	13,7	0,00385
	Максимум	113,8	21,1	9,8	-1,215	13,4	2,0000	16,5	0,01012
Апрель	Средняя	28,8	10,1	8,7	-2,399	12,4	0,1933	15,5	0,00475
	Минимум	0,0	-5,4	4,8	-4,200	10,7	0,0250	14,5	0,00415
	Максимум	59,8	24,8	10,7	-1,115	13,5	1,0000	16,4	0,00603
Май	Средняя	29,0	15,6	10,5	-2,375	12,8	0,1393	16,9	0,00444
	Минимум	2,2	2,9	8,5	-4,180	12,1	0,0190	15,7	0,00408
	Максимум	63,2	30,2	12,5	-1,280	14,0	1,7540	18,5	0,00487
Июнь	Средняя	42,3	20,4	11,8	-2,630	13,6	0,0544	18,7	0,00421
	Минимум	2,7	7,1	10,3	-4,370	12,5	0,0150	16,5	0,00387
	Максимум	130,7	33,7	14,5	-1,495	16,7	0,3080	20,0	0,00481
Июль	Средняя	28,5	24,1	12,9	-2,845	14,6	0,0586	20,1	0,00408
	Минимум	0,0	11,3	11,4	-4,710	12,8	0,0070	18,9	0,00372
	Максимум	67,0	37,2	15,1	-1,795	17,7	1,8870	21,8	0,00511
Август	Средняя	43,7	24,0	13,8	-3,092	15,3	0,0336	20,9	0,00388
	Минимум	0,0	11,0	12,3	-4,790	13,5	0,0070	19,5	0,00359
	Максимум	173,1	38,9	15,5	-2,305	18,5	0,3700	22,3	0,00455
Сентябрь	Средняя	46,5	18,8	14,1	-3,181	15,1	0,1076	20,8	0,00375
	Минимум	5,4	7,4	12,2	-4,750	13,5	0,0068	18,8	0,00344
	Максимум	134,1	32,7	15,5	-2,535	17,5	1,8000	22,4	0,00443
Октябрь	Средняя	52,0	12,9	13,7	-3,173	14,2	0,0942	19,4	0,00404
	Минимум	5,6	0,0	10,5	-4,720	12,8	0,0050	17,3	0,00354
	Максимум	133,1	27,4	15,1	-1,425	16,4	1,3000	21,7	0,00571

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ПРИМЕРЕ КАРАДАГСКОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ...

Месяц	Величина	Осадки, мм	Температура воздуха, °С	Колодец		Источник С/Ю		Источник Л/Л	
				Температура воды, °С	Уровень воды, м	Температура воды, °С	Дебит источника, л/с	Температура воды, °С	Дебит источника, л/с
Ноябрь	Средняя	59,4	8,1	12,3	-3,138	13,2	0,1462	17,7	0,00507
	Минимум	1,1	-7,7	8,3	-4,725	11,5	0,0100	15,8	0,00365
	Максимум	137,4	22,4	14,0	-1,362	14,5	0,9100	20,0	0,01291
Декабрь	Средняя	43,3	3,8	10,7	-3,156	12,4	0,1844	15,6	0,00537
	Минимум	3,8	-12,7	5,5	-4,745	10,0	0,0090	12,0	0,00355
	Максимум	115,5	18,0	13,4	-1,455	13,8	1,7540	17,5	0,01282
Год	Сред. Год.	500,5	12,2	11,1	-2,904	13,3	0,1480	17,8	0,00461
	Минимум	308,3	-24,0	1,9	-4,790	9,1	0,0050	12,0	0,00344
	Максимум	714,5	38,9	15,5	-1,115	18,5	2,0000	22,4	0,01345
Грунтовые воды 2012–2018 гг.									
Январь	Средняя	51,5	2,2	9,9	-3,758	11,2	0,0332	14,3	0,00321
	Минимум	32,0	-18,4	7,3	-4,392	9,8	0,0062	10,9	0,00191
	Максимум	69,3	13,2	10,7	-3,055	12,3	0,1589	17,1	0,00423
Февраль	Средняя	31,1	2,5	8,8	-3,783	11,1	0,0304	14,1	0,00328
	Минимум	15,0	-18,5	7,4	-4,427	10,0	0,0138	11,1	0,00271
	Максимум	63,2	23,9	10,4	-3,095	12,2	0,0711	16,1	0,00422
Март	Средняя	32,3	6,2	8,9	-3,804	11,2	0,0278	14,4	0,00308
	Минимум	11,3	-5,7	7,5	-4,453	10,1	0,0118	12,4	0,00234
	Максимум	63,9	19,8	9,8	-3,123	12,2	0,0680	17,8	0,00421
Апрель	Средняя	18,5	11,4	9,5	-3,819	11,9	0,0190	15,8	0,00301
	Минимум	3,2	-2,4	8,0	-4,468	11,0	0,0107	13,9	0,00219
	Максимум	39,7	29,7	10,5	-3,143	12,8	0,0305	18,4	0,00520
Май	Средняя	39,2	17,4	10,5	-3,836	12,9	0,0156	17,6	0,00290
	Минимум	4,5	6,1	9,5	-4,487	12,0	0,0054	15,7	0,00207
	Максимум	122,1	30,2	11,4	-3,154	14,1	0,0294	19,4	0,00434
Июнь	Средняя	91,8	21,9	11,4	-3,835	13,9	0,0207	18,9	0,00423
	Минимум	24,3	10,5	10,5	-4,453	12,7	0,0042	17,8	0,00199
	Максимум	212,3	34,7	12,1	-3,173	15,0	0,0597	21,8	0,01165
Июль	Средняя	36,8	24,6	12,5	-3,852	15,1	0,0150	20,1	0,00372
	Минимум	1,9	12,7	11,7	-4,473	14,1	0,0053	18,0	0,00193
	Максимум	85,2	35,9	13,4	-3,201	16,8	0,0303	21,7	0,00618
Август	Средняя	27,8	25,5	13,4	-3,914	16,2	0,0125	21,2	0,00334
	Минимум	0,3	12,9	12,7	-4,578	14,5	0,0038	19,8	0,00194
	Максимум	76,8	38,5	14,1	-3,263	17,5	0,0712	22,8	0,00461
Сентябрь	Средняя	35,7	19,5	14,1	-3,972	16,0	0,0103	20,7	0,00314
	Минимум	1,5	7,0	13,5	-4,605	14,7	0,0048	17,8	0,00187
	Максимум	99,5	34,5	15,0	-3,295	17,5	0,0311	25,0	0,00444
Октябрь	Средняя	38,2	12,7	13,7	-4,006	14,7	0,0136	19,2	0,00310
	Минимум	9,7	-1,4	11,2	-4,790	12,9	0,0059	16,5	0,00205
	Максимум	80,8	28,4	14,9	-3,341	16,3	0,0371	21,5	0,00401
Ноябрь	Средняя	26,7	7,8	12,8	-3,871	13,4	0,0104	17,3	0,00291
	Минимум	9,1	-5,3	11,8	-4,332	11,7	0,0067	13,2	0,00182
	Максимум	45,7	20,9	14,3	-3,378	15,2	0,0203	20,0	0,00355
Декабрь	Средняя	37,2	3,9	11,1	-3,901	11,9	0,0168	15,6	0,00293
	Минимум	5,8	-9,7	10,0	-4,365	10,2	0,0063	13,5	0,00195
	Максимум	86,5	18,0	13,2	-3,410	13,8	0,0554	18,1	0,00377
Год	Сред. Год.	466,8	13,0	11,3	-3,883	13,3	0,0188	17,4	0,00324
	Минимум	349,7	-18,5	7,3	-4,790	9,8	0,0038	10,9	0,00182
	Максимум	618,7	38,5	15,0	-3,055	17,5	0,1589	25,0	0,01165

Вследствие понижения уровня грунтовых вод вероятно и произошёл наблюдаемый в последние годы массовый отпад древесно-кустарниковой растительности. Повышение температуры воздуха привело к увеличению естественного

испарения, а также к возрастанию транспирации у растительности, что неизбежно повлияло на грунтовые воды и могло вызвать падения их уровня. Но скорее всего гидрологические изменения имеют более глубинную первопричину. Известные случаи массовой гибели дубрав связывают с ведущим ключевым фактором, которым считают смену засушливых и влажных периодов, возникающей под влиянием солнечно-обусловленных циркуляционных преобразований в атмосфере (Рожков, Козак, 1989). Произрастающая на большей части территорий древесно-кустарниковая растительность использует смешанный способ водного питания (автоморфный и гидроморфный). В относительно влажное время корни растений стационара получают воду в основном за счет поступления влаги от инфильтрации атмосферных осадков. В прежние годы (1998–2011 гг.) средний уровень грунтовых вод составлял 2,904 м. В продолжительные сухие периоды почвообразующие глинистые отложения, распространенные на большей части КЛЭС, позволяли благодаря капиллярному поднятию влаги над поверхностью грунтовых вод деревьям и кустарникам ее использовать. В период 2012–2018 гг. понижение водоносного горизонта ниже критического уровня в сочетании с длительными, год от года повторяющимися засухами привели к гибели наиболее уязвимых (хотя и отнесенных группе мезоксерофильных) видов кустарников и сильно ослабили древесные ксеромезофиты и даже привели к усыханию некоторых из них. Изменился и состав травянистой растительности стационара. Не встречаются больше такие гигрофиты как: мята длиннолистная (*Mentha longifolia* (L.) L.), кипрей (*Epilobium roseum* Schreb.), тростник (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Сильно снизилось в составе растительных группировок участие таких мезофитов как: Melissa лекарственная (*Melissa officinalis* L.), осока Отрубь (*Carex otrubae* Podp.), щавель курчавый (*Rumex crispus* L.), ситник Жерара (*Juncus gerardii* Loisel.). Гораздо реже теперь также можно встретить чесночник черешчатый (*Alliaria petiolata* (Bieb.) Cavara et Grande), аронник (*Arum elongatum* Stev.), спаржу (*Asparagus verticillatus* L.), гравилат городской (*Geum urbanum* L.), лактук дубравный (*Lactuca quercina* L.)

Во время сильных осадков растущий над источником Чобан-Чокрак лес препятствует либо резко уменьшает образование поверхностного стока, вследствие этого количество дождевой воды, достигшее водоносного горизонта источника, увеличивается. При достаточной величине атмосферных осадков, поступающих в жидкой форме, дебет источника увеличивается в день выпадения либо в ближайшее за ним время. При температурах воздуха ниже 0°C, когда выпадают твердые осадки, расход воды в источнике не увеличивается. При таянии большого объема снега дебет родника естественно возрастает. Максимальный за все годы наблюдения расход воды (2,000 л/с) в источнике отмечен в начале марта 2007 г. после резкого таяния снега. Даже за последний период с учетом потепления наиболее заметное увеличение разгрузки воды в источнике зачастую связано с твердыми осадками, оно фиксировалось: в 2,8 раз после поступления и таяния в конце января 2014 года обильных снежных осадков; в 2015 году – в середине января в 1,5 раз после таяния снега, в середине третьей декады февраля в 1,3 раза и тоже после снеготаяния; в 1,4 раза – в начале декабря 2016 года после таяния снега; в 2017 году в 2,9 раз 9 января после таяния снега; в 2018 г.: в 4,5 раза 22 января после таяния снега и поступления обильных ливневых осадков, в 2,8 раз 3 декабря вследствие таяния снежного покрова, в этот день в источнике расход воды составил 0,0520 л/с и оказался наибольшим за пять последних лет. Выходит, что хотя в условиях заповедника твердых осадков выпадает немного (в среднем за все годы исследований 11,1% от общей суммы), но они занимают непропорционально большую часть в том количестве атмосферной влаги, которая после инфильтрации достигает зеркала грунтовых вод. При этом надо учитывать, что в последние годы, как правило, с момента формирования (если температурный режим позволит сформироваться) обычно невысокого снежного покрова до его схода проходит 0,5–3 дня. Повышение температуры

привело к уменьшению количества снеговых осадков и увеличению их испаряемости, снизив объём талой влаги способной проникнуть до уровня грунтовых вод. Из среднего годового объёма влаги (518,0 мм), поступившей за период 2001–2011 гг., количество твердых осадков, выпавших за 12 дней, составило 57,8 мм (или 11,2%). В 2013–2018 гг. из 486,3 мм годовых осадков в среднем за 10 снежных дней пришлось 35,1 мм (или 7,2%). В среднем за 2012–2018 гг. расход источника был в 7,9 раз меньше среднего значения со времени наблюдения (с 1996 по 2011 гг.). Абсолютное снижение дебита (0,0038 л/с) отмечено в начале августа 2012 г. в конце жаркого и сухого периода. Водоносные слои находятся близко к поверхности почвы, о чем свидетельствует частое колебание температуры воды источника, которая напрямую зависит от температуры воздуха и температуры инфильтрующих пород. Среднегодовая температура воды в источнике за годы исследования не изменилась и составляет по-прежнему 13,3°C. В результате уменьшения расхода воды ее различие с температурой воздуха сократилось с 1,1 до 0,3°C. В холодное и прохладное время (с января по апрель и в декабре) вода стала остывать сильнее, а в теплую и жаркую пору года ее температура повысилась. Температурный режим воды источника зависит и от температуры поступающих осадков. Так за сентябрьской засухой 2011 г. после череды дождей (с 11 по 19 октября) дебит источника увеличился в 17,4 раза. При этом температура воды источника понизилась сразу на 2,5°C. Максимальная температура воды источника (18,5°C) наблюдалась в жаркий и сухой период 2001 г. (20 августа), тогда же в источнике был отмечен минимальный для того года расход воды. Наивысшее температурное значение 2012–2018 гг. (17,5°C) фиксировалось дважды. Первый раз в самое сухое и жаркое время 2017 г. – 14 августа, при минимальном годовом дебете (0,0073 л/с). Точно такая же температура – 17,5° и тоже на фоне абсолютного снижения дебита (0,0068 л/с) в источнике наблюдалось почти через год после продолжительной засухи в начале сентября 2018 г. Абсолютный температурный минимум воды (9,1°C) в источнике был зафиксирован в конце холодной зимы 2000 г. (28 февраля). Минимальное значение периода 2012–2018 гг. (9,8°C) температура воды источника имела в начале 2017 г. во время наступления таяния снега.

В продолжительные засушливые периоды относительно стабильное состояние источника Л/Л (весьма медленное уменьшение его разгрузки и ее малозаметное колебание) связано как с инфильтрацией атмосферных осадков, так и с образованием конденсационных вод. Но явление конденсата в источнике носит незначительный характер. Средний дебит источника Л/Л за 2012–2018 гг. составил 0,00324 л/с, это в 1,4 раза меньше среднего значения за 2007–2011 гг., что подтверждает общую динамику происходящих изменений в состоянии грунтовых вод в пределах Карадагской горной группы. Максимальный текущий отпад в насаждениях стационара по времени практически совпал с минимумами разгрузки воды в источнике. Начиная сначала осени 2012 г. в течение десяти месяцев дебит родника Л/Л почти не изменялся, едва заметно уменьшаясь, и к концу мая 2013 г. оказался на тот момент абсолютным минимальным с 2007 г. (0,00242 л/с). Массовое усыхание шиповника и терна произошло осенью 2013 г. В 2017–2018 гг. расход воды источника составил в среднем 0,00249 л/с, это в 1,6 раз меньше средней многолетней величины (рекордный за все время наблюдений минимум расхода воды - 0,00182 л/с в источнике был зафиксирован 27 ноября 2018 г.). Именно в вегетационный период этих лет в лесных сообществах Карадагского заповедника отмечена наибольшая за годы исследований интенсивность отпада ясеня и клена.

Выводы

За последние годы происходит значительное отклонение основных климатических показателей от средних многолетних значений. Сохраняется тенденция к повышению температуры воздуха. Увеличились средние годовые температуры воздуха

(в среднем на $0,8^{\circ}\text{C}$), с каждым годом изменяются даты начала смены температуры и длительности переходных периодов от одного метеорологического сезона к другому. Минимальная и максимальная годовые температуры воздуха, поверхности почвы и лесной подстилки существенно изменились. Значительное повышение максимальной температуры лесной подстилки в теплое и жаркое время свидетельствует о снижении защитной роли лесного полога, который из-за дефицита атмосферной влаги был вынужден уменьшить свою листовую поверхность и тем самым увеличил доступ солнечной радиации. О том, что кроны деревьев в 2012–2018 гг. стали более ажурными, говорит и сокращение в наблюдаемых средах температурных различий.

Годовое количество осадков уменьшилось на КЛЭС с 500,5 до 466,8 мм. Наблюдается внутригодовое перераспределение атмосферной влаги, связанное, прежде всего, с увеличением объема летних ливневых осадков, причем не за счет увеличения количества дождливых дней, число которых, напротив, за теплое полугодие сократилось, а за счет увеличения в это время поступлений влаги за дождь. Задержание влаги пологом леса уменьшилось при всех грациях осадков из-за ухудшения состояния древесной растительности, обусловленного продолжительными засухами и понижением уровня грунтовых вод.

При частой повторяемости засушливых лет недостаток влаги привел к ослаблению устойчивости насаждений, а у отдельных пород и к физиологическим нарушениям. Наиболее массовый текущий отпад шиповника и терна наблюдался в 2013 г. Наиболее массовое усыхание ранее ослабленных деревьев клена и ясеня произошло в 2015 г. и в особенности в 2017–2018 гг. Из годовых поступлений атмосферной влаги наибольшее влияние на жизнеспособность лесных сообществ КЛЭС оказывает влага, выпадающая в ноябре.

Количество влаги за случай стока заметно уменьшилось, как и из-за уменьшения общего количества твердых осадков, так и из-за изменения лесом и шибляком условий формирования стока.

За 2012–2018 гг. годовое содержание влаги в исследуемом горизонте почвы в среднем по всем растительным сообществам сократилось в 1,2 раза. Прослеживается явное уменьшение количества воды в почвенном слое наиболее важном для большинства видов травянистых растений, самосева и подроста древесно-кустарниковой растительности. Значения гидротермического коэффициента (ГТК) не вполне объективно отражают реальной картины влагообеспеченности растений.

Продолжается многолетний период, начавшийся в феврале 2011 г., с отрицательной динамикой состояния грунтовых вод, негативно отражающейся на растительности. Пересохший в ноябре 2016 г. смотровой колодец, используемый в качестве пункта наблюдений за грунтовыми водами, и в настоящее время продолжает оставаться пересохшим. За 2012–2018 гг. расход источника Чобан-Чокрак был в 7,9 раз меньше среднего значения периода наблюдений 1996–2011 гг. Уменьшение дебита источника Левинсона-Лессинга оказалось несколько более пропорциональным уменьшению количества атмосферных осадков. Его разгрузка сократилась в 1,4 раза, но и это значение подтверждает общую динамику происходящих изменений в состоянии грунтовых вод в пределах Карадагской горной группы.

Повышение температуры привело к уменьшению количества снеговых осадков и увеличению их испаряемости, снизив объем талой влаги способной проникнуть до уровня грунтовых вод.

Наиболее массовый текущий отпад деревьев и кустарников, произошедший в 2013, 2015, 2017 и 2018 гг., связан как с дефицитом влаги в корнеобитаемом почвенном слое, обусловленным засухой, так и с падением грунтовых вод ниже критического для корней растительности уровня.

Главным причинно-индикаторным гидроклиматическим показателем, отображающим нынешнее состояние растительности, является уровень грунтовых вод, точнее его катастрофическое понижение.

Климатические изменения могут оказаться причиной деградации сложившихся экосистем и привести к смене растительных формаций. Нынешние сукцессионные процессы не являются восстанавливающими и не поддерживают высокий уровень видового разнообразия. Продолжение изменений в растительных сообществах под воздействием быстро меняющихся климатических составляющих скорей всего приведет к обеднению их состава.

Список литературы

1. Зуев А.В. Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) // Летопись природы. Том XXIX. 2012 год. – С. 16–29 (рукопись).
2. Зуев А.В. Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) // Летопись природы. Том XXX. 2013 год. – С. 15–40 (рукопись).
3. Зуев А.В. Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) // Летопись природы. Том XXXI. 2014 год. – С. 16–42 (рукопись).
4. Зуев А.В. Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) // Летопись природы. Том XXXII. 2015 год. – С. 12–41 (рукопись).
5. Зуев А.В. Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) // Летопись природы. Том XXXIII. 2016 год. – С. 17–47 (рукопись).
6. Зуев А.В. Карадагский ландшафтно-экологический стационар (КЛЭС) // Летопись природы. Том XXXIV. 2017 год. – С. 12–30 (рукопись).
7. Зуев А.В. Стационарные исследования грунтовых вод на территории Карадагского заповедника // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2017б. – Том 3 (13). – Вып. 4. – С. 70–77.
8. Иванов Н.Н. Об определении величины континентальности климата // Изв. Всесоюзного Географического общества. – 1953. – Т. 85. – Вып. 4. – С. 455–457.
9. Ландшафтно-экологический стационар Карадагского природного заповедника. Вып. 1 / под ред. А.Л. Морозовой, Ю.И. Будашкина, В.А. Бокова. – Симферополь: Таврия-Плюс, 1999. – 112 с.
10. Летухова В.Ю. Результаты фенологических наблюдений в Карадагском природном заповеднике // Летопись природы. Том XXX. 2013 год. – С. 74–80 (рукопись).
11. Летухова В.Ю. Результаты фенологических наблюдений в Карадагском природном заповеднике // Летопись природы. Том XXXI. 2014 год. – С. 67–74 (рукопись).
12. Летухова В.Ю. Результаты фенологических наблюдений в Карадагском природном заповеднике // Летопись природы. Том XXXIII. 2016 год. – С. 75–83 (рукопись).
13. Летухова В.Ю. Результаты фенологических наблюдений в Карадагском природном заповеднике // Летопись природы. Том XXXIV. 2017 год. – С. 83–117 (рукопись).
14. Природа Карадага / ред. Морозова А.Л., Вронский А.А. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.
15. Рожков А.А., Козак В.Т. Устойчивость лесов. — М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
16. Рыжков О.В., Рыжкова Г.А. Взаимосвязь отпада стволов дуба и древесного опада между собой и с факторами среды // Анализ многолетних данных мониторинга природных экосистем Центрально-Черноземного заповедника: Тр. Центр.-Черноземн. гос. заповедника. Тула, 2000. – Вып. 16. – С. 135–143.
17. Сергин С.Я., Яйли Е.А., Цай С.Н., Потехина И.А. Климат и природопользование Краснодарского Причерноморья. – СПб.: изд. РГГМУ, 2001. – 188 с.

**CLIMATE CHANGE AS A FACTOR OF THE VEGETATION TRANSFORMATION
ON THE EXAMPLE OF THE KARADAG LANDSCAPE-ECOLOGICAL
STATIONARY**

Zuev A.V., Letukhova V.Ju., Zueva E.A.

*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Kurortnoe, Feodosia, Russian Federation,
email: letukhova@gmail.com*

The current work considers the influence of rapidly changing climatic factors on the viability of individual plant species in conditions of the the Karadag Landscape-Ecological Stationary. It is noted that in recent years there has been a significant deviation of the main climatic data from the long-term averages ones: the average annual, minimum and maximum temperatures of air, as well as of soil surface and forest litter increased, the annual precipitation and the amount of water in the soil layer decreased. This all, in turn, entailed the transformation of vegetation, the mass drying up of certain species of trees and shrubs, the disappearance or number reduction of some hydrophilous forest herbaceous plants in the territory of the Karadag Landscape-Ecological Stationary. It has been determined that among the annual precipitations November downfall has the greatest impact on the state of forest phytocoenosis. It has been besides established that the main cause of the current vegetation state is a catastrophic decrease in the level of groundwater.

Key words: climate, temperature, precipitation, surface run-off, groundwater, change of forest conditions, vegetation's state, Karadag reserve.

Зуев Александр Васильевич	инженер отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
Летухова Виктория Юрьевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» email: letukhova@gmail.com
Зуева Елизавета Александровна	лаборант отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

Поступила в редакцию 05.08.2019 г.

**Ассоциация по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных
«ЖИВАЯ ПРИРОДА СТЕПИ»**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»
«КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН»**

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Основан в мае 2016 г.

**Основатель журнала –
ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского –
природный заповедник РАН»**

Научное издание

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Сер. ПИ № ФС77-76870 от 11 октября 2019 г.**

Утверждено к печати научно-техническим советом Карадагской научной станция им. Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН – филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
(протокол № 1 от 10 июля 2020 г.)

Главный редактор: Р.В. Горбунов, канд. геогр. наук
Заместитель главного редактора: В.И. Мальцев, канд. биол. наук
Технические редакторы: Т.Ю. Горбунова, Л.В. Знаменская

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 11,5. Тираж 100 экз. Заказ № 08А/13.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии «ИТ «АРИАЛ».
295015, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 31-а/2,
тел.: +7 978 71 72 901, e-mail: it.arial@yandex.ru, www.arial.3652.ru