ISSN 1993-3916

Том 27 Номер 4 (89) Декабрь 2021

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Журнал освещает фундаментальные исследования и результаты прикладных работ по проблемам аридных экосистем и борьбы с антропогенным опустыниванием в региональном и глобальном масштабах. Издается с 1995 года по решению Бюро Отделения общей биологии Российской академии наук.

МОСКВА: Товарищество научных изданий КМК

2021

© Журнал основан в 1995 г.
Издается при поддержке
Прикаспийского института биологических ресурсов и
Института геологии Дагестанского научного центра Российской академии наук,
Института водных проблем Российской академии наук,
Товарищества научных изданий КМК
и содействии региональных отделений секции
"Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"
Научного совета "Проблемы экологии биологических систем"
отделения биологических наук Российской академии наук.
Подписной индекс русской версии журнала 39775 в 1 томе каталога «Пресса России»

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) ELIBRARY.ru, в базу научной электронной библиотеки "КИБЕРЛЕНИНКА" CYBERLENINCA.ru, в базу Российской государственной библиотеки (РГБ) rsl.ru, в базу данных Библиотеки по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН), в базу данных Russian Science Citation Index, размещенную на платформе Web of Science, входит в число реферируемых журналов и Базы данных Scopus, ВИНИТИ, Google Scholar, AGRICOLA, EBSCO Discovery Service, OCLC, Summon by ProQues, включен в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, передается в Российскую книжную палату, переводится на английский и распространяется издательством Springer за пределами России.
Сведения о журнале ежегодно поступают в международную справочную систему «Ulrich's Periodicals Directory».
Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте http://aridecosystems.ru/;
архив полнотекстовых статей по адресам: http://aridecosystems.ru/архивы/; http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8404&code=99990527, https://cyberleninka.ru/journal/n/aridnye-ekosistemy#/1009295

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН
ПРИКАСПИЙСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

*СЕКЦИЯ "Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"
Научного совета по проблемам экологии биологических систем*

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 27, № 4 (89), 2021, декабрь
Журнал основан в январе 1995 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор
доктор биологических наук, профессор
З.Г. Залибеков**

Заместитель главного редактора
доктор географических наук
Ж.В. Кузьмина*

Редакционная коллегия:
Б.Д. Абатуров, С.-В. Брекле (Германия), К.Б. Гонгальский, А. Джилили (Китай), Т.В. Дикарева, Л.А. Димеева (Казахстан), Т.Д. Зинченко, И.С. Зонн, К.Н. Кулик, Г.С. Куст, В.В. Неронов, К.З. Омаров, Л. Орловская (Израиль), Н.И. Рабазанов, А.А. Тишков, В.И. Черкашин, А.А. Чибилев, З.Ш. Шамсутдинов

Редакционный совет:
Д.Б. Асгерова, А.Б. Биарсланов, Э.А. Рустамов (Туркмения), Н.З. Шамсутдинов

Ответственные за выпуск:
Ж.В. Кузьмина*, О.С. Гринченко*(*Ответственный секретарь*)

Адреса редакции:
*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН
Телефон: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15
E-mail: arid.journal@yandex.ru

**Россия, 367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45, ПИБР ДНЦ РАН
Телефон: (872-2) 67-09-83
E-mail: arid_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК
2021

СОДЕРЖАНИЕ

Том 27, номер 4 (89), 2021 декабрь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Тенденции изменения термического режима на аридных и сопредельных территориях европейской части России в летний период
Л.М. Акимов 3-12

Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия
Н.А. Шумова 13-24

Анализ гидротермических условий в Ростовской области за период 1960-2019 гг.
В.Н. Гудко, А.В. Усатов, К.В. Азарин 25-31

Семиаридные межгорные котловины Северного Кавказа: ландшафты и трансформация землепользования
М.Н. Петрушина, А.Н. Гуня 32-40

Assessing Anthropogenic Pressure of Forest Villages in Semi-Arid Forest Ecosystem in Western India Using Cumulative Disturbance Index (CDI)
V. Rasal, M. Dhakad, D. Khandal 41-49

Формирование водного режима на песках Арчединско-Донского массива в зависимости от распространения растительных формаций
А.К. Кулик, К.Н. Кулик, М.В. Власенко, Ю.И. Сухоруких, С.Г. Биганова 50-58

Гумусное состояние почв археологических памятников эпохи раннего железного века (Республика Башкортостан)
А.Я. Кунгурцев, Р.Р. Сулейманов, В.В. Овсянников, Н.С. Савельев, Е.В. Абакумов, И.Г. Асылбаев 59-69

Современное состояние *Crambe edentula* Fisch. & C.A. Mey. ex Korsh. на плато Устюрт в Узбекистане
Н.К. Рахимова, Т. Рахимова, Б.А. Адилов, Ш.Б. Тамамбетова, Ф.И. Полвонов 70-76

Распространение степного сурка на Русской равнине в историческом прошлом: картографический обзор
В.Ю. Румянцев 77-85

Количество размножающихся на территории заповедника «Ростовский» пеликанов (*Pelecanidae*) и причины колебаний численности
Ю.В. Малиновская, В.А. Миноранский, С.И. Колесников 86-92

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Особенности кормовой растительности как одна из возможных причин массовой гибели сайгаков на степных пастбищах
Б.Д. Абатуров, С.С. Горбунов, А.И. Кошкина 93-100

О биотехнологическом потенциале продукционных ресурсов винограда, выращиваемого в засушливых условиях
О.К. Власова, Т.И. Даудова, З.К. Бахмулаева, С.А. Магадова, Г.Г. Магомедов 101-106

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Влияние ионного состава воды на структуру зоопланктона озер тажеранской степи (Западное Прибайкалье)
Н.И. Ермолаева, Г.В. Феттер 107-117

Влияние антропогенного фактора на химический состав озер засушливых районов Дагестана (на примере Большое и Малое Турали)
А.Р. Юсупов, А.С. Курбанисмаилова, К.Г. Алхулаев, А.С. Мамаев, З.А. Юсупов 118-122

Развитие планктона литоральных биотопов разного типа в содовых озерах
Н.А. Ташлыкова, Е.Ю. Афонина 123-132

Влияние климатическимх факторов на межгодовую и сезонную динамику экологического состояния соленого озера Аджи-Байчи (Крым)
И.И. Руднева, В.Г. Шайда, А.В. Щерба, А.В. Завьялов 133-142

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 3-12

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.524.3

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА АРИДНЫХ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© 2021 г. Л.М. Акимов

Воронежский государственный университет
Россия, 394047, г. Воронеж, ул. Хользунова, д. 40. E-mail: akl63@bk.ru, geoecolog@mail.ru

Поступила в редакцию 16.06.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

В работе представлены результаты анализа тенденций среднемесячной температуры воздуха, аридных земель европейской части России и сопряженных с ними территорий, в летний период, а также даны оценки их направленности и скорости изменений температуры во второй половине XX и начале XXI веков. На фоне глобального климата исследованы региональные особенности термического режима европейской территории России. Дан анализ широтных и долготных количественных показателей изменений термического режима, с пространственным распределением на исследуемой территории. Установлен существенный рост температуры воздуха на территориях аридных земель России, где тенденция повышения температуры значительно выше данных, представленных в Оценочных докладах и составила 0.066°С за 10 лет.

Ключевые слова: температура воздуха, глобальный климат, европейская территория России, термический режим, аридные земли, тенденция, изменчивость.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-3-12

В последние десятилетия на Европейской территории России, наблюдаются значительные температурные аномалии. В средствах массовой информации периодически появляются сведения об очень холодных или очень теплых зимах. Экстремально жаркое лето 2010 года вызвало существенные сдвиги в экосистемах. Высокие температурные режимы способствовали изменению напочвенного покрова в борах и широколиственных лесах, засуха и гибель растений наблюдались в г. Москве и ближнем Подмосковье (Полякова, Меланхолин, 2013).

Последствием воздействия высоких температур на территории ЕТР явилась засуха, которая способствовала развитию очагов инфекционных болезней в ослабленных древесных насаждениях. Отмечено значительное увеличение некрозов коры, различных видов рака, стволовых и корневых гнилей, что привело к накоплению сухостоя, общему ухудшению лесопатологического состояния насаждений, росту численности насекомых-вредителей (Иванов и др., 2013).

Погодно-климатические аномалии вносят определенные коррективы в цикличность многолетней и сезонной динамики функционирования экосистем. Сдвигаются у биоты сроки наступления фаз развития годового цикла, что ведет к изменению генеративного цикла, повреждению и даже гибели организмов (Соловьев и др., 2011). Нарушается ритм развития некоторых эпифитотийных болезней (Ширнина, 2019).

Установлено, что наблюдаемое увеличение экстремальных погодных явлений является следствием глобальных изменений климата (Оценочный доклад ..., 2008; Изменение климата, 2016; Доклад о климатических рисках ..., 2017; IPCC, 2007, 2013; Moriceet al., 2012).

Изменение климата в различных регионах Российской Федерации тщательно анализируется структурными подразделениями Росгидромета (Доклад Росгидромета ..., 2014).

В научных публикациях сообщается о широком спектре мнений и альтернативных оценок климата (Груза, Ранькова, 2011; Спорышев, Катцов, 2006). Наиболее широко обсуждаются данные вопросы в статьях (Акимов и др., 2012; Акимов, Задорожная, 2014, 2018, 2019; Ваганов и др., 2014; Федотов и др., 2019).

В связи с различными физико-географическими особенностями и циркуляционным режимом на территории России и ее большой протяженностью полученные результаты имеют существенные

различия и требуют уточнения региональных и локальных особенностей климатических изменений в каждом сезоне. Для получения подобных данных в каждом регионе необходимо вести регулярные, детальные, многолетние исследования, анализируя их с учетом увеличения скорости климатических изменений (Акимов, Задорожная, 2018; Алексеев и др., 2014; Спорышев,Катцов, 2006).

Следовательно, на фоне глобального изменения климата, изучение регионального термического режима, как основного фактора среды, по своим масштабам и степени важности является не менее актуальной задачей, чем исследование глобального климата.

Материалы и методы исследования

В работе рассматриваются характеристики средних месячных значений температуры воздуха в июле на территории Европейской части России и сопредельных государств (Украина, Беларусь, страны Прибалтики), в широтной зоне 40-60° с.ш., в секторе 30-60° в.д., в узлах регулярной сетки (i, j) с шагом 2.5x2.5°. В качестве информационной базы использованы массивы данных CRUTEM.4.5.0.0 − температура воздуха над сушей, HadSST.3.1.1.0 − температура воды на поверхности океанов и морей, HadCRUT.4.5.0.0 − объединенные данные о температуре воздуха над континентами и океанами, от 18.01.2017 (Полякова, Меланхолин, 2013). Массивы данных поддерживаются совместно двумя коллективами Великобритании: Хэдлицентром (Met Office Hadley Centre) и Университетом Восточной Англии (CRU UEA). Данные ежемесячно обновляются и публикуются производителем на web-сайтах Met Office (2020) и University of East Anglia (2020) в форме глобальных сеточных полей (в центрах 5-градусных боксов) и глобальных временных рядов (для Земного шара и обоих полушарий). Период наблюдений составил 60 календарных лет, с 1958 по 2017 годы.

С целью изучения временной динамики изменения температуры исходная выборка за весь период наблюдений с 1958 по 2017 годы разделена на три равных временных периода *fk*: 1958-1977 (*f1*), 1978-1997 (*f2*) и 1998-2017 (*f3*), с различным глобальным индексом температуры: 0.1, 0.47 и 0.74 соответственно (Morice et al., 2012).

На первом этапе для центрального месяца сезона были использованы данные среднемесячной температуры воздуха в узлах равномерной сетки (i, j) с шагом 2.5x2.5°. Всего на выбранной территории для каждого года получены 117 узлов. Здесь (i, j) – порядковые номера узлов по широте (i=1, 2, 3, ..., 13) и долготе j (j=1, 2, 3, ..., 9) соответственно. В результате сформированы индивидуальные массивы данных с 1958 по 2017 гг. размерностью (117x60), t – порядковый номер года t (t=1,2,3,...,60). Таким образом, массив включал 7020 значений средней месячной температуры.

Большое значение при оценке изменений климата уделяется анализу экстремальных проявлений, имеющих значительные влияния на негативные изменения в экосистеме, а также исследованию их временных тенденций. Данная проблема вызывает возрастающий интерес в многочисленных научных публикациях (Акимов, Задорожная, 2014, 2018; Груза, Ранькова, 2011; Платова, 2007).

Целью исследования явилось изучение пространственно-временного распределения среднемесячной температуры воздуха летнего периода, как основного абиотического фактора среды влияющего на жизнь биоты, т.к. биоразнообразие является индикатором состояния окружающей среды, служит параметром региональной и локальной её динамики.

Задачей исследования является уточнение, детализация и оценка изменений термического режима в аридных землях Европейской территории России и на сопряженных с ними территорий.

По наблюдениям последних лет отмечается отклик биоты ландшафтов на сезонные изменения климата, например в орнитологии, проявляется в смещении сроков у рано-прилетающих птиц на пять дней (канюк, славка-черноголовка и т.д.). Установлено обогащение состава местной орнитофауны в центре Европейской России новыми видами. Расширяются северные границы ареала представителями южного фаунистического комплекса (тропического, средиземноморского и т.д.). Наблюдается продвижение южных элементов флоры на север (*Cleistogenes squarrosa*, *Berula erecta* и т.д.), более раннее цветение катальпы (*Catalpa*) в Воронеже, продвижение границы степной зоны на север и т.д. (Федотов и др., 2019).

Особенностью данного исследования, по сравнению с уже имеющимися работами, является использование фактической средней месячной температуры у поверхности Земли, а не ее отклонение от «нормы». Анализ географических особенностей рассматриваемых характеристик динамики

климата приводился по пространственным осреднениям температуры как вдоль широты *i*, так и вдоль долготы *j* в узлах регулярной сетки с шагом по широте *i*=2.5° и долготе *j*=2.5°, за период наблюдений с 1958 по 2017 гг., для среднего месяца сезона – июля. Полученные средние многолетние значения температуры характеризуют бюджет запаса тепла в летний период, в отдельных регионах исследуемой территории.

Результаты исследований и их обсуждение

Термический режим Европейской территории России в летний период формируется за счет сложного взаимодействия сезонных центров действия атмосферы, определяющих в данном регионе циркуляцию воздуха. Южные районы, особенно юго-восток территории, подвержены влиянию гребня Азорского антициклона, переносящего сухой и жаркий воздух из субтропиков. Восточная часть Европейской территории России, особенно Предуралье, находится под влиянием тыловой части Южно-Азиатской депрессии, способствующей периодическому проникновению холодного северного воздуха. Остальная часть, рассматриваемой территории, находится под влиянием теплого и влажного воздуха с Атлантики, определяющего умеренный температурный фон.

Пространственное распределение средней многолетней температуры воздуха в июле, за исследуемый промежуток времени, представленное на рисунке 1, имеет не выраженное широтное направление.

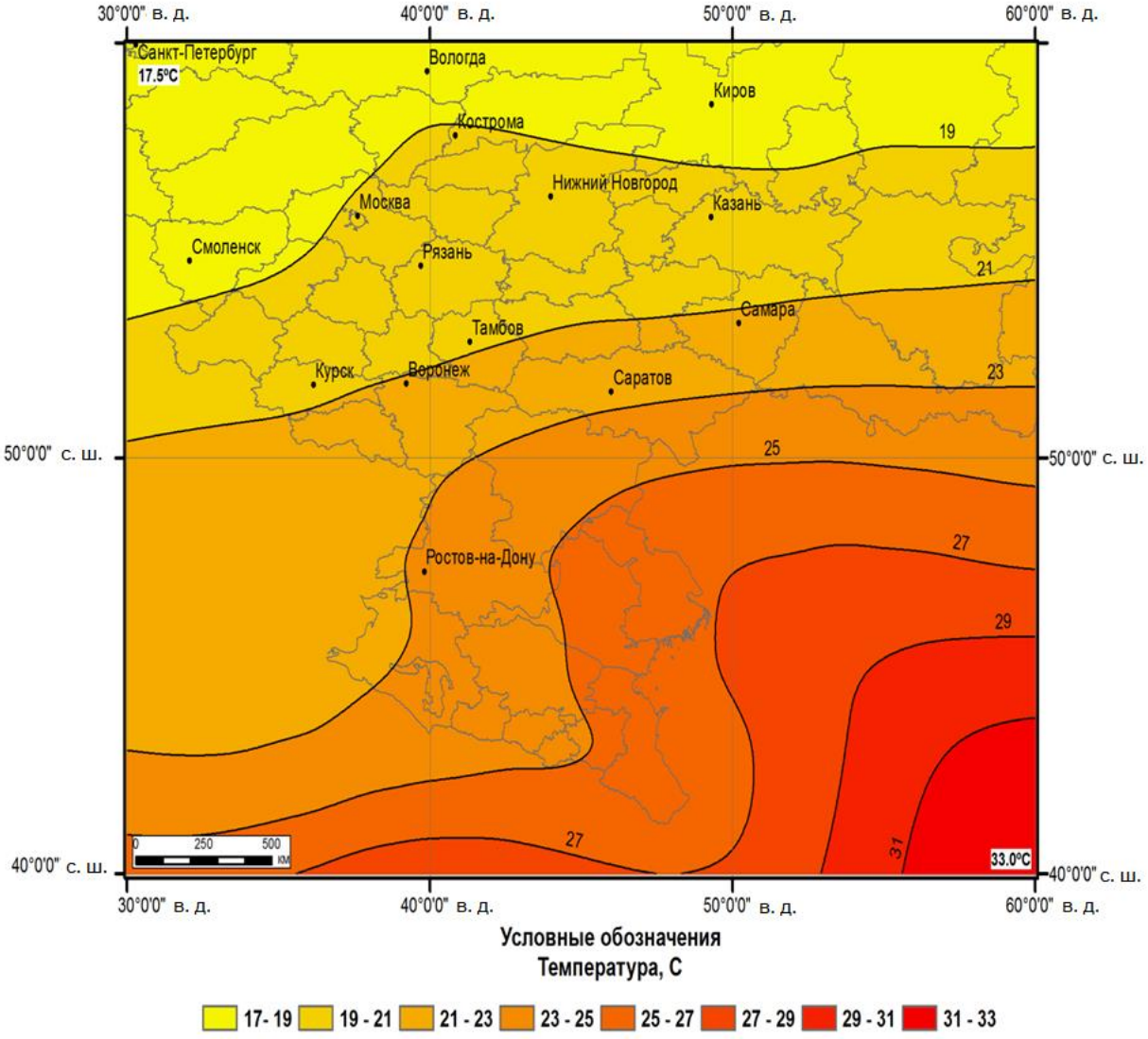

Рис. 1. Средняя многолетняя температура июля за период 1958 по 2017 годы.

В северных районах европейской части России (Ленинградская, Смоленская, Вологодская, Кировская и Пермская области), значение средней многолетней температуры ниже 19.0°С. Наименьшее значение 17.5°С наблюдается в районе Санкт-Петербурга (60.0° с.ш., 30.0° в.д.), к югу температура воздуха повышается. Территория, расположенная между изотермами 19.0-21.0°С является переходной линией раздела аридных земель расположенных южнее 21.0°С, особенно на юго-востоке и увлажненных территорий – соответственно, расположенных севернее 19.0°С. Распределение температур в диапазоне с 21.0 по 25.0°С имеют сложную форму в виде соединенных вместе ложбины и гребня, занимают около 41% территории и полностью охватывают широты 52.5-50.0° с.ш., а на западе территории (до долготы 44.5° в.д. включительно) опускаются до широт от 47.7-42.5° с.ш. Выявленная температурная ложбина, расположенная на западе территории, обусловлена проникновением ветров с Атлантики, а на юго-востоке наблюдается мощный гребень тепла, где средние многолетние значения температуры увеличиваются до значений 31.0°С (5.1%), достигая максимума 33.0°С (40.0° с.ш., 60.0° в.д.).

Для более детального анализа особенностей термического режима климата исследуемой территории в летнее время, проведен анализ сглаженных средних многолетних значений температур, осредненных вдоль долгот и вдоль широт, а также исследованы межширотные изменения температуры воздуха региона изучения. Результаты анализа средних многолетних значений температуры июля, осредненные вдоль фиксированных долгот и широт, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сглаженные средние многолетние значения температуры воздуха за период 1958-2017 гг. в июле.

а) Осреднение вдоль долгот													
Восточная долгота, градусы	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0
Средняя температура, °С	20.7	20.9	21.2	21.7	22.1	22.5	22.8	23.0	23.4	24.0	24.4	24.9	25.0

б) Осреднение вдоль широт									
Северная широта, градусы	60.0	57.5	55.0	52.5	50.0	47.5	45.0	42.5	40.0
Средняя температура, °С	18.1	18.9	19.6	22.3	23.1	24.7	25.4	26.3	28.4

Анализ результатов представленный в таблице 1 позволил установить, что в долготном направлении (табл. 1, а) идет монотонное повышение температуры с запада на восток от 20.7°С (30.0° в.д.) до 25.0°С (60.0° в.д.). В широтном направлении (табл. 1, б) выражена тенденция роста температуры с севера на юг, от 18.1°С (60.0° с.ш.) до 28.4°С (40.0° с.ш.). Таким образом, градиент средней месячной температуры воздуха вдоль широт в июле, в среднем составил 0.5°С на 1.0° широты.

В качестве дополнительной характеристики при анализе особенностей термического режима исследуемой территории, рассматривалась межширотная изменчивость средних широтных значений температуры воздуха, представленная на рисунке 2.

Распределение, осредненной по широтам межширотной разности является более неоднородным, со значительными колебаниями от широты к широте. Причем, наименьшие изменения отмечаются между крайними северными широтами, 57.5-60.0° с.ш. Здесь при смещении на 2.5° с.ш. вдоль долготы, повышение средней широтной температуры составляет +0.58°С. При дальнейшем перемещении к югу, величина прироста температуры от широты к широте, увеличивается, достигая наибольшего значения в широтной зоне от 52.5° с.ш. до 47.5° с.ш., с экстремумом между широтами 52.5-50.0° с.ш., где рост температуры при перемешении с севера на юг составляет 2.1°С. Второй максимум, с величиной 2.06°С, отмечается между широтами 40.0-42.5° с.ш.

Для выявления динамики изменения температуры воздуха исследуемой территории в летний период, исходная выборка за весь период наблюдений с 1958 по 2017 гг., была разделена на три равных временных периода (*fk*) имеющих различный глобальный индекс температуры $\bar{\bar{T}}^{f1}$(1958-1977 гг.)=0.1°С; $\bar{\bar{T}}^{f2}$(1978-1997 гг.)=0.47°С и $\bar{\bar{T}}^{f3}$(1998-2017 гг.)=0.74°С соответственно (Morice et al., 2012).

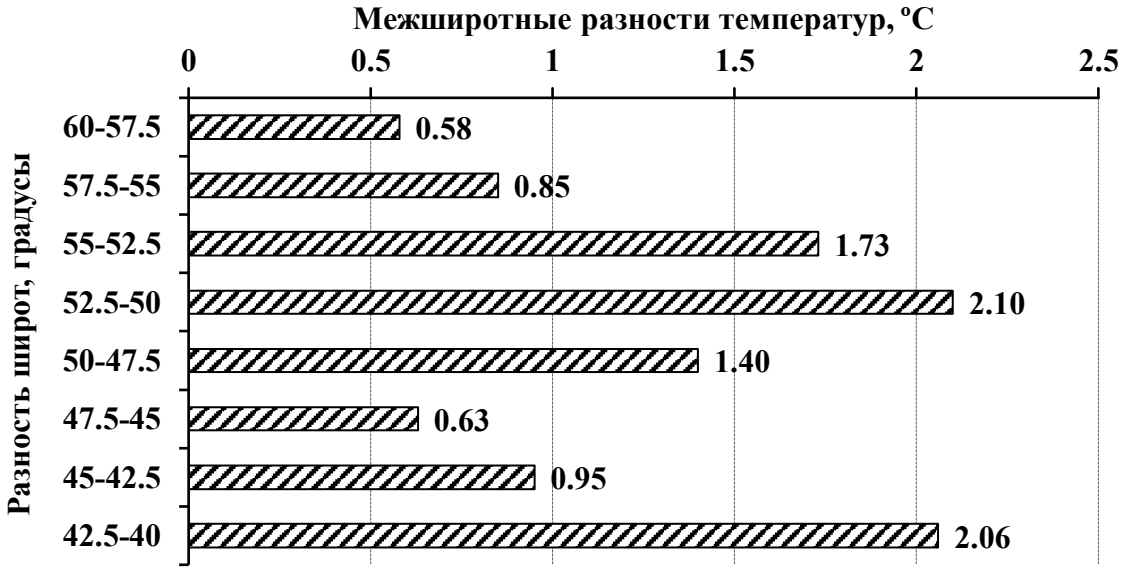

Рис. 2. Распределение межширотной разности температуры за 1958-2017 гг. в июле.

На следующем этапе исследования, проведен сравнительный анализ осредненных величин значений средней месячной температуры воздуха в июле по всей рассматриваемой территории (30.0-60.0° в.д., 40.0-60.0° с.ш.), в различных временных периодах *fk*. Результаты анализа представлены в таблице 2, в скобках обозначен процент изменения температуры относительно исходного первого периода $\bar{\bar{T}}^{f1}$(1958-1977 гг.).

Таблица 2. Средние температуры воздуха в июле, осредненные по всей территории в различные временные периоды.

Временные периоды, годы	1957-1977	1977-1997	1997-2017
Температура, °С	22.1 (100%)	22.7 (103%)	24.6 (111%)

В результате установлено, что в течение рассматриваемого промежутка времени, от периода к периоду, происходило монотонное повышение температуры воздуха, хотя и не равномерное. Так, в среднем разность температур между периодами $\bar{\bar{T}}^{f1}$(1958-1977 гг.) и $\bar{\bar{T}}^{f2}$(1978-1997 гг.) за 20 лет повысилась на 0.6°С, что составило 3%. В то же время от второго периода $\bar{\bar{T}}^{f2}$(1978-1997 гг.) к третьему (современному периоду $\bar{\bar{T}}^{f3}$(1998-2017 гг.) температура повысилась на 1.9°С, т.е. средняя по всей площади температура повысилась на 11% по отношению к исходному первому периоду. Этот факт подтверждает вывод оценочных докладов (Оценочный доклад ..., 2008; IPCC, 2007, 2013) о продолжающемся глобальном потеплении, которое может быть обусловлено повышенным фоном загрязняющих веществ.

Учитывая тот факт, что термический режим территории является важным абиотическим фактором развития биоты, выявленную региональную динамику температуры можно рассматривать как глобальную характеристику исследуемой территории.

В этой связи дополнительно проведено исследование динамики экстремальных максимальных и минимальных значений температуры воздуха. Средняя максимальная температура воздуха от периода к периоду росла более равномерно, чем при средних многолетних значениях. Ее повышение происходило на большую величину, по отношению к средним значениям, особенно от первого периода ко второму (1.1°С). Примерно на таком же уровне повышалась температура и от второго к современному периоду. Минимальные температуры также растут, но, по отношению к средним максимальным значениям, их величина значительно меньше и составила 0.62°С как между первым и вторым, так и между вторым и третьим периодами.

Исходя из представленных анализов осредненных по территории, различных параметров температуры воздуха, следует сделать вывод, что в летний период, в многолетнем ходе параметров температуры, происходит ее повышение, как по средним, так и по экстремальным максимальным и минимальным их значениям. Однако скорость повышения средних максимальных значений температуры превышает таковую для минимальных.

Динамику повышения температуры иллюстрирует рисунок 3, на котором представлены сравнительные оценки кривых температуры, описывающих распределение по долготе осредненных ее значений, рассчитанных по средним месячным значениям, наблюдавшихся в различных временных периодах *f1, f2* и *f3*.

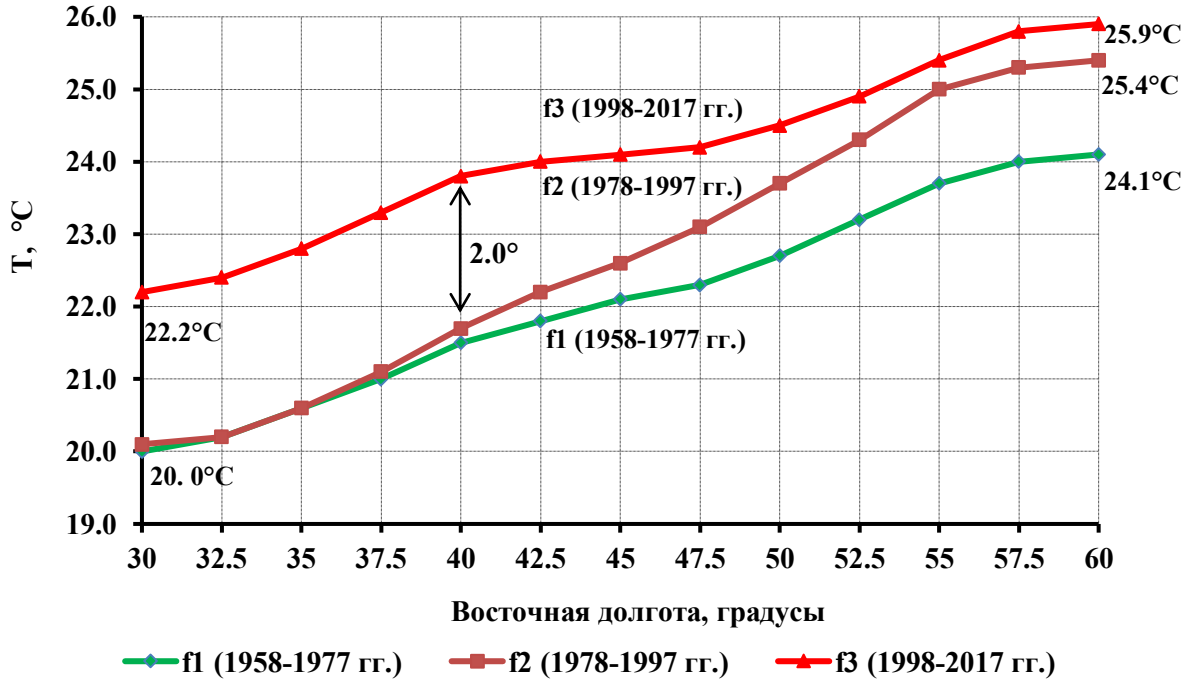

Рис. 3. Средние долготные температуры воздуха (Т) в июле в различные периоды времени.

Анализ характера кривых свидетельствует о том, что самые высокие средние долготные температуры отмечаются в современном периоде $\bar{\bar{T}}^{f3}$(1998-2017 гг.). При анализе рядов температуры первого $\bar{\bar{T}}^{f1}$(1958-1977 гг.) и второго $\bar{\bar{T}}^{f2}$(1978-1997 гг.) периодов установлено, что на отрезке долгот от 30.0° в.д. до 37.5° в.д., подверженных влиянию Атлантики, различий в средних периодных данных не отмечено. Начиная с долготы 40.0° в.д. и далее на восток, где в основном расположены аридные земли, наблюдается увеличение разности температур между (*f1*) и (*f2*) периодами. Наибольшие различия между текущим периодом (*f3*) и предшествующими (*f2*) и (*f1*) периодами отмечаются на западе (до 40.0° в.д.), где они достигают значения 2.2°С. Далее к востоку, разность между текущим и предыдущим периодами уменьшается до 0.5°С. Отмечено, что на протяжении всего ряда долгот наименьшая температура отмечается в самом раннем периоде. При этом уровень температур во всех периодах с запада на восток увеличивается, достигая максимума в Предуралье.

Такое изменение пространственного распределения температуры на исследуемой территории, объясняется изменением циркуляционного режима на фоне глобального изменения климата. Наблюдается смещение Южно-Азиатской депрессии в более высокие широты, тем самым под действие ее тыловой части, способствующей затоку холодного воздуха с севера, попадают районы Поволжья и восточная часть Центрально-Черноземного региона. Гребень Азорского антициклона смещается в юго-восточном направлении, перенося адвекцию тепла на территорию Западной Европы, а также в районы аридных земель России. Эти изменения циркуляционного режима атмосферы, объясняют прохладное лето 2019 года в центральной части России и жару в Западной Европе.

Особый интерес представляет временная динамика изменения температуры, а именно

межпериодные разности температур между соседними временными периодами (*f2-f1*) и (*f3-f2*) на различных широтах (рис. 4).

Из рисунка 4 наглядно видно, что значительное повышение температуры между современным (*f3-f2*) и предыдущим (*f2-f1*) периодами, по отношению к предущей паре, происходило в северной половине рассматриваемой территории (60.0-50.0° с.ш.). На этих широтах разность температур была положительной и превышала 1.5°С, достигая максимума 1.72°С на широте 52.5° с.ш. Резкое изменение знака разности δТ произошло на широте 47.5° с.ш. Во всех широтах расположенных южнее 47.5° с.ш., величина и знак разности межпериодной температуры изменились. Рост температуры в современном периоде *f3* (1998-2017 гг.), по отношению к предыдущему *f2* (1978-1997 гг.) уменьшился в два-три раза и составил 0.30-0.55°С. Демаркационной линией резкого изменения температуры является широта 50° с.ш.

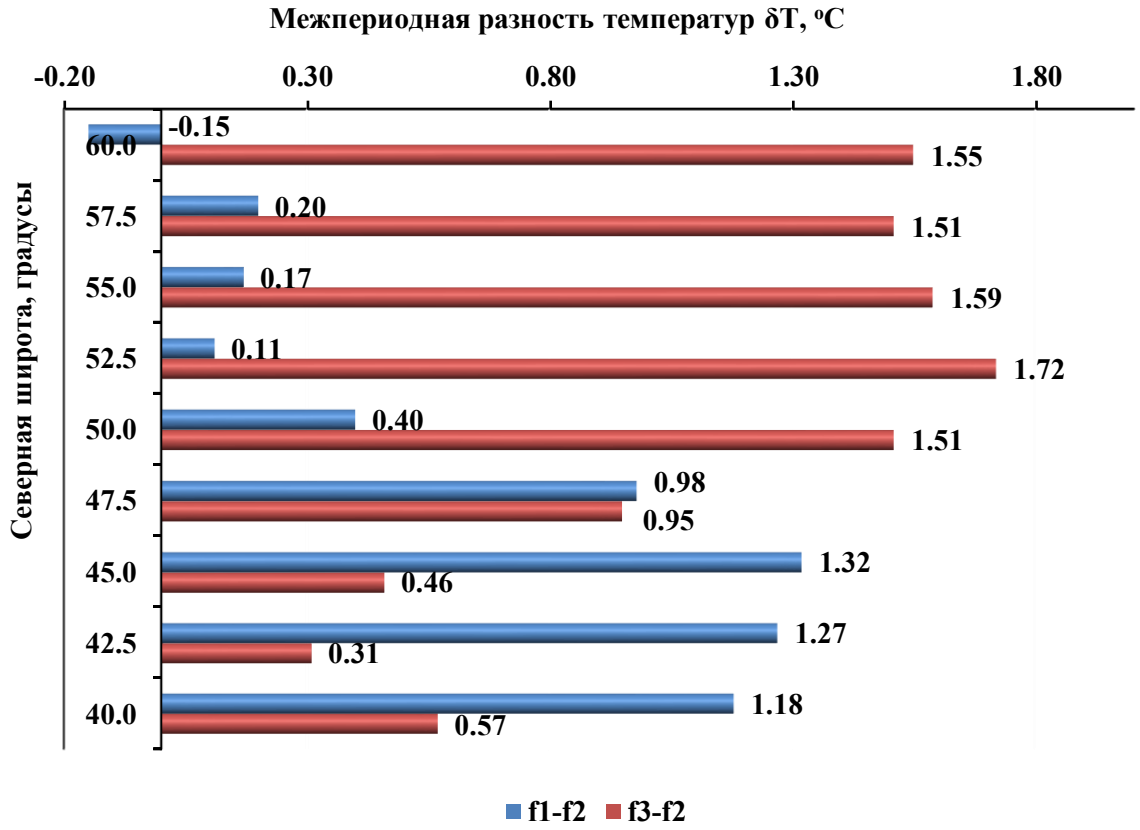

Рис. 4. Сравнительный анализ межпериодных разностей средней месячной температуры воздуха δТ°С в июле на различных широтах.

Таким образом, исходя из анализа фактических данных температуры воздуха, расчитанных с помощью различных сглаженых параметров, можно сделать вывод, что наибольшее повышение температуры в течение современного периода происходило в северной половине рассматриваемой территории. В южных широтах, особенно подверженных влиянию Атлантики, происходило замедление роста. В тоже время на юго-востоке территории, в местах размещения аридных земель, хотя и наблюдалось замедление скорости роста температуры, но тенденция сохранилась. Данные изменения являются следствием изменения циркуляционного режима европейской территории России на фоне глобального изменения климата.

Описанный выше анализ климатических параметров температуры воздуха в летнем сезоне, позволил получить лишь качественные оценки характера колебаний климата за рассматриваемый период, а именно направление и динамику.

Количественным показателем изменения климата является коэффициент линейного тренда b, полученный на основе решения линейного уравнения регрессии и оценки его вклада в общую дисперсию

R^2. Он описывает знак (направление) изменения температуры воздуха за рассматриваемый период и величину его скорости в °С/10 лет.

Для полного представления о величине линейного тренда b, за период наблюдений с 1958 по 2017 гг., производен расчет тренда b для каждого узла регулярной сетки с шагом 2.5 градуса. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 5.

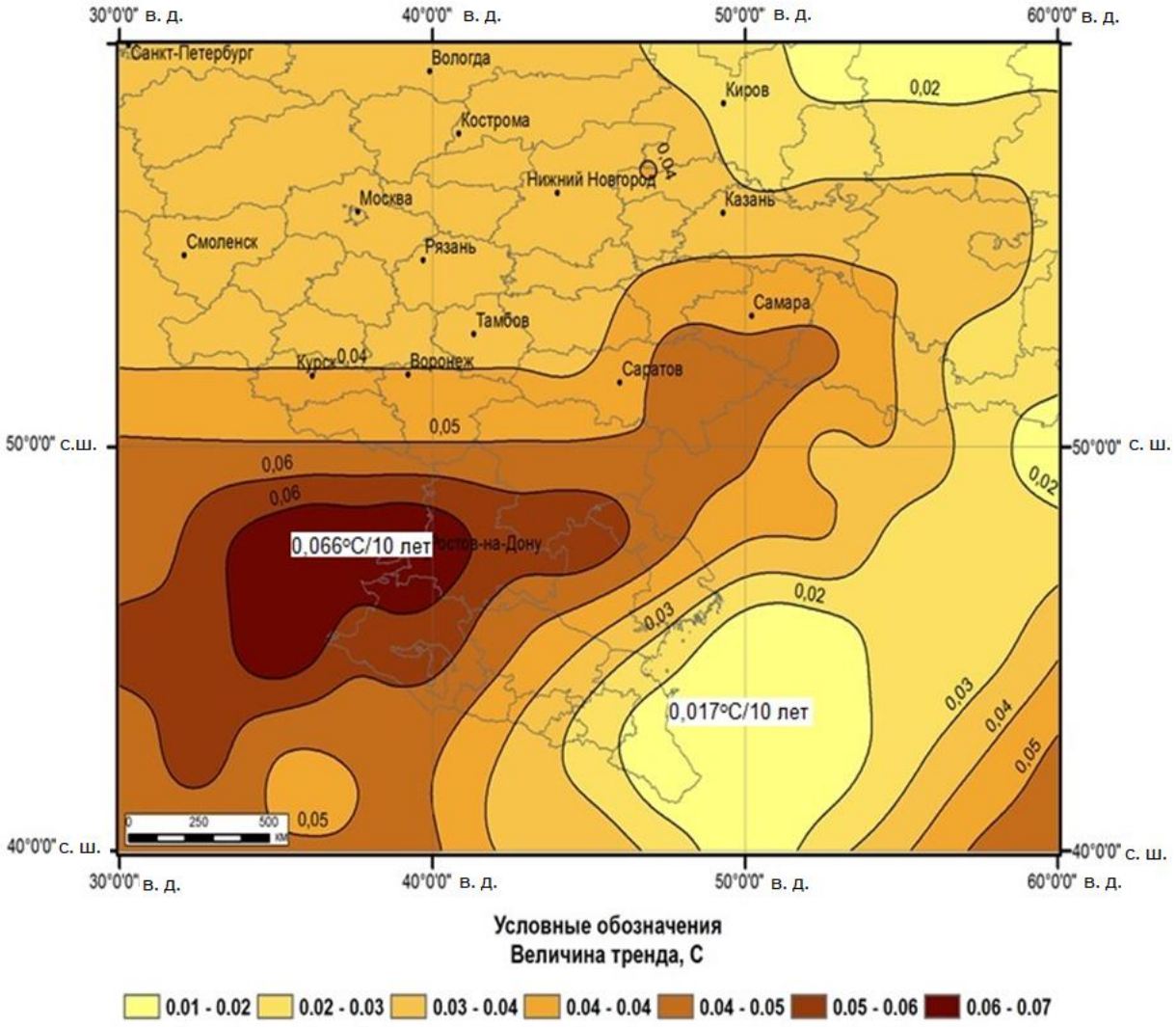

Рис. 5. Величина линейного тренда b (°С/год) на исследуемой территории (40-60° с.ш., 30-60° в.д.) за период 1958-2017 гг. в июле.

Анализ пространственного распределения линейного тренда b показал, что самое значительное потепление происходило на широте 47.5° с.ш. в секторе 37.5-40.0° в.д., в районе аридных земель Калмыкии, Ростовской области, Поволжья, Ставропольского края, части Волгоградской и Астраханской областей, Республики Дагестан, а также юга Центрально-Черноземного региона. Здесь рост температуры составляет 0.066°°С за 10 лет, что значительно выше, чем в данных, представленных в Оценочных докладах. Данная тенденция распределения температуры обусловлена поворотом оси гребня Азорского антициклона в более широтном направлении.

В северо-восточном направлении, величина повышения температуры уменьшается до 0.02°С за 10 лет, а на юго-востоке территории (47.0° с.ш. и 50.0° в.д.), величина тренда температуры уменьшается до 0.017°С за 10 лет. Эти районы находятся под влиянием Южно-Азиатской депрессии, тыловая часть которой способствует уменьшению скорости роста температуры.

Несмотря на то, что полученные результаты о климатическом распределении температуры

воздуха на исследуемой территории, на пике летнего периода, являются значительно осредненными, они позволили выявить некоторые особенности в формировании термического режима, которые могут быть полезными, в качестве методических рекомендаций, при решении экологических и экономических задач в случае отсутствия исходной информации.

Заключение

В процессе проведенных исследований установлено, что в летний период, в многолетнем ходе температуры, происходит ее повышение, как по средним, так и по максимальным и минимальным значениям. Однако скорость их повышения в различных местах не однородна и имеет свои региональные особенности:

− в районах расположения аридных земель России, особенно на землях Калмыкии, Ростовской области, Ставропольского края, части Волгоградской и Астраханской областей, Республики Дагестан, а также юга Центрально-Черноземного региона наблюдается наибольший рост температуры, который составляет 0.066°С за 10 лет и по своим показателям превышает данные Оценочных докладов;

− в центральной части и на востоке ЕТР, охватывающей Предуралье и Поволжье, существенного роста температуры не наблюдается.

Данные региональные особенности изменения температуры обусловлены в первую очередь изменением циркуляционного режима над рассматриваемой территорией усиливающегося на фоне глобального потепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимов Л.М., Владимиров Д.В., Григорьевская А.Я. 2012 Тенденции изменения флоры луговых степей Центрального Черноземья России в условиях современного состояния климата // Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы). Материалы Международной научной конференции / Ред. В.И. Федотов. С. 275-278.

Акимов Л.М., Задорожная Т.Н. 2014. Исследование динамики многолетнего ряда температуры в целях разработки сверхдолгосрочного прогноза // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». № 3. С. 35-39.

Акимов Л.М., Задорожная Т.Н. 2018. Особенности распределения трендов температуры воздуха на Европейской территории России и сопредельных государств // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». № 4. С. 5-14.

Акимов Л.М., Задорожная Т.Н., Закусилов В.П. 2019. Климатическая неоднородность температуры воздуха на территории Восточной Европы в весенний период // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «География. Геоэкология». № 1. С. 29-38.

Алексеев Г.В., Асарин А.Е., Балонишникова Ж.А., Битков Л.М., Булыгина О.Н., Бугров Л.Ю., Щепащенко Д.Г. 2014. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. 1018 с.

Ваганов Е.А., Золотокрылин А.Н., Пчелкин А.В., Величко А.А., Гаврило М.В., Минин А.А., Парфенова Е.И., Романовская А.А., Чебакова Н.М., Голубев А.В. 2014. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменения климата. Росгидромет. М. С. 242-255.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2011. Вероятностная оценка наблюдаемых и ожидаемых изменений климата Российской Федерации: температура воздуха // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: Институт глобального климата и экологии. С. 43-70.

Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. 2017. Санкт-Петербург. 106 с.

Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2013 год. 2014. М.: Росгидромет. 246 с.

Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н. 2013. Изменения в биогеоценозах центральной части Брянской области после летней жары 2010 года // Вестник ПГТУ. «Лес. Экология. Природопользование». № 1. С. 25-35.

Изменение климата. 2016. Информационный Бюллетень № 58. Гидрометиздат. С. 12-15.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Т. 1. Изменения климата. М.: Росгидромет. 227 с.

Платова Т.В. 2007. Климатическая характеристика некоторых показателей экстремальности

температуры приземного воздуха и атмосферных осадков на территории России // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». № 1. С. 38-47.

Полякова Г.А., Меланхолин П.Н. 2013. Влияние засухи 2010 года на травяно-кустарничковый покров Подмосковных лесов // Лесоведение. № 4. С. 43-51.

Соловьев А.Н., Шихова Т.Г., Бусыгин Е.И. 2011. Влияние погодно-климатических аномалий 2010 года на состояние растений средних широт востока Русской равнины // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о земле». Вып. 4. С. 8-20.

Спорышев П.В., Катцов В.М. 2006. Пространственно-временные особенности глобального потепления // Доклады РАН. Серия «Геофизика». Т. 410. № 4. С. 532-537.

Федотов В.И., Успенский К.В., Григорьевскя А.Я., Федотов С.В. 2019. Отклик биоты ландшафтов на углубляющиеся изменения климата // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы Материалы международной научно-практической конференции. Посвящается 85-летию факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ // Ред. С.А. Куролап, Л.М. Акимов, В.А. Дмитриева. С. 13-19.

Ширнина Л.В. 2019. Трансформация патологических процессов в насаждениях лесных древесных пород в условиях изменения климата // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции. Посвящается 85-летию факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ / Ред. С.А. Куролап, Л.М. Акимов, В.А. Дмитриева. Т. 2. С. 213-217.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.

Met Office. 2020 [Электронный ресурс http://www.MetOffice.gov.uk (дата обращения: 02.03.2020)].

Morice C.P., Kennedy J.J., Rayner N.A., Jones P.D. 2012. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 dataset // Journal of Geophysical Research. No. 117 (D8). P. 8101.

NCEP Model Analyses & Forecasts. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2020 [Электронный ресурс https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/ncep/qs_eurasia/daily/sflux/air.2m/ (дата обращения: 02.03.2020)].

Osborn T. 2020. HadCRUT4 global temperature graphs Administration [Электронный ресурс https://crudata.uea.ac.uk/~timo/diag/tempdiag.htm (дата обращения: 02.03.2020)].

University of East Anglia. Climatic Research Unit. 2020 [Электронный ресурс http://www.cru.uea.ac.uk(дата обращения: 02.03.2020)].

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 13-24

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.582

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЛИМАТА В ПРИЛОЖЕНИИ К ОЦЕНКЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЛМЫКИЯ[1]

© 2021 г. Н.А. Шумова

Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: shumova_aqua@rambler.ru

Поступила в редакцию 27.04.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Исследование направлено на оценку достоверности описания гидротермических условий территории Калмыкии количественными показателями климата, в основе которых лежат данные о температуре воздуха и осадках (доступны в базах данных и широко используются в климатических моделях). В настоящей работе рассматривается использование гидротермического коэффициента Селянинова, коэффициента увлажнения, индекса аридности Торнтвейта, метода Кёппена и схемы Холдриджа. Расчет количественных показателей климата выполнен за период 1966-2017 гг. на основе данных о среднемесячной температуре воздуха и месячных суммах осадков на метеорологической станции Яшкуль, расположенной на Чёрных землях – в самой засушливой части республики. Рассчитанные значения гидротермического коэффициента Селянинова за рассматриваемый период в 2 случаях соответствовали природной зоне пустынь, в 19 случаях – зоне полупустынь, в 31 случае – зоне степей. При использовании коэффициента увлажнения в 45 случаях климатические условия соответствовали зоне полупустыни, в 7 случаях – степи. Полученные значения индекса аридности Торнтвейта присущи природной зоне пустынь и сверхзасушливым регионам. Оценки по методу Кёппена свидетельствуют о том, что в 41 случае гидротермические условия, соответствовали природной зоне степей, в 4 случаях – зоне пустынь, в 7 случаях отмечена более высокая увлажненность территории. В соответствии со схемой Холдриджа гидротермические условия соответствовали зоне степей в 25 случаях, зоне пустынь в 27 случаях. Наибольшая достоверность присуща климатическим оценкам, полученным на основе гидротермического коэффициента Селянинова и свидетельствующим о гумидном потеплении в Калмыкии, которое подтверждается материалами наблюдений за формированием растительных сообществ на мелиорированных землях Приергенинской равнины. О гумидном потеплении свидетельствуют оценки, выполненные на основе метода Кёппена и схемы Холдриджа, и в меньшей степени – коэффициента увлажнения. Оценки, выполненные с использованием индекса аридности Торнтвейта, свидетельствуют об усилении аридизации территории, что не соответствует современной динамике климатических условий Калмыкии, и не являются достоверными.

Ключевые слова: количественные показатели климата, природные зоны, региональный уровень, Республика Калмыкия.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-13-24

Ведущим фактором природной среды, определяющим состояние и развитие наземных экосистем, являются гидротермические условия территории, а именно соотношение ресурсов тепла и влаги (количественные показатели климата). Оценка гидротермических условий и их возможных изменений в применении к анализу состояния и развития наземных экосистем является чрезвычайно важной задачей. Для оценки гидротермических условий территории обычно используются условные показатели – это коэффициенты увлажнения (индексы увлажнения, индексы влажности, индексы

[1] Работа выполнена по теме Госзадания раздела 2.6 «Эволюция наземных экосистем в изменяющихся природных условиях» темы НИР ИВП РАН «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности» (№ 0147-2018-0002), № госрегистрации АААА-А18-118022090104-8.

гумидности) и индексы аридности (индексы сухости); общая информация о том, какие условные показатели используются для климатических оценок в настоящее время, приводится в Справочнике по показателям и индексам засушливости (Справочник …, 2016).

Среди количественных показателей климата наибольшее распространение в нашей стране получили коэффициент увлажнения (Высоцкий, 1960) и гидротермический коэффициент Селянинова (Селянинов, 1928), для расчетов которых достаточно располагать информацией о температуре воздуха и осадках, представленных в базах метеорологических данных, что является их большим преимуществом.

При оценке уязвимости гидротермических условий и зональных границ засушливых земель Прикаспийской низменности с использованием различных сценариев изменения климата мы столкнулись с тем фактом, что конечный результат при прочих равных условиях зависит от выбранного метода их (гидротермических условий) оценки (Шумова, 2007). Было выявлено, что согласно оценкам, полученным при использовании коэффициента увлажнения, характеризующего годовой отрезок времени, гидротермические условия исследуемой территории могут стать более засушливыми при возможном изменении климата. При оценках с использованием гидротермического коэффициента Селянинова, описывающего период с температурами воздуха выше 10°С, наблюдается обратная картина – гидротермические условия при возможном изменении климата могут стать более благоприятными для ведения сельского хозяйства.

Аналогичная ситуация сложилась при использовании коэффициента увлажнения и гидротермического коэффициента Селянинова для оценки современных климатических условий в Республике Калмыкия (Шумова, 2020), выполненной на основе данных по температуре воздуха и осадкам на метеорологической станции Яшкуль за 1966-2017 гг. Среднемноголетнее значение коэффициента увлажнения за временной интервал 1966-2017 гг. составило 0.23, что, согласно классификации Н.Н. Иванова (1941), присуще полупустыне. Динамика гидротермического коэффициента Селянинова свидетельствует об увеличении увлажненности территории Калмыкии за временной интервал 1966-2017 гг.; среднемноголетнее значение гидротермического коэффициента составило 0.44 при диапазоне его изменения от 0.11 до 0.83, что по классификации Г.Т. Селянинова (1928) соответствует географической зональности от пустыни до типичной степи. В результате анализа динамики гидротермического коэффициента сделан вывод о гумидном потеплении на территории республики.

Вывод о гумидном потеплении подтверждается данными, полученными Н.М. Новиковой с соавторами (2020) в результате полевых исследований на мелиорированных солонцовых почвах Приергенинской равнины Калмыкии. Выполненные исследования показали, что на изучаемой территории формируются растительные сообщества, характерные для заключительных стадий восстановительной сукцессии не для солонцовых, а для светло-каштановых почв. Сказанное позволяет сделать методический вывод о том, что гидротермический коэффициент Селянинова (по сравнению с коэффициентом увлажнения) более достоверно отражает климатические условия территории, влияющие на состояние и развитие растительного покрова, и может быть рекомендован для оценки климатических условий в Республике Калмыкия.

Вопрос о том, насколько достоверно количественные показатели климата описывают гидротермические условия территории на региональном уровне, весьма актуален. Целью настоящей работы является оценка достоверности описания гидротермических условий территории Республики Калмыкия наиболее известными количественными показателями климата, при расчете которых используются данные о температуре воздуха и осадках, которые доступны в базах данных и широко используются в климатических моделях.

Материалы и методы

Расчет количественных показателей климата для территории Республики Калмыкия за период 1966-2017 гг. выполнен на основе использования массивов данных по среднемесячной температуре воздуха и месячных сумм осадков на метеорологической станции Яшкуль (46° 11' с.ш., 45° 21' в.д., абсолютная высота – -7 м н.у.м. БС), включенной в Глобальную сеть наблюдений ВМО за климатом (Булыгина и др., 2019а, 2019б). Расположена метеорологическая станция на Чёрных землях – в самой засушливой части территории республики, отличающейся резко континентальным климатом.

Среднемноголетнее значение среднегодовой температуры воздуха за период 1966-2017 гг. составило 10.7°С (среднеквадратическое отклонение σ=1.0°С, коэффициент вариации C_v=0.09); среднемноголетняя годовая сумма осадков равна 267 мм (σ=61 мм, C_v=0.23).

В настоящей работе оцениваются гидротермические условия территории Республики Калмыкия на основе использования наиболее известных количественных показателей климата, а именно гидротермического коэффициента Селянинова, коэффициента увлажнения, индекса аридности Торнтвейта, метода Кёппена и схемы Холдриджа.

Результаты и обсуждение

Гидротермический коэффициент Селянинова. Одним из наиболее часто используемых количественных показателей климата является гидротермический коэффициент Селянинова, характеризующий период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°С (условно говоря, период вегетации). Гидротермический коэффициент, разработанный Г.Т. Селяниновым (1928) для климатических условий России, определяется по соотношению:

$$ГТК = \frac{10P_{>10}}{\sum T_{>10}} \quad (1),$$

где *ГТК* – гидротермический коэффициент; $P_{>10}$ – сумма осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°С, мм; $\Sigma T_{>10}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за тот же период, °С.

Недостатком этого показателя является то, что в числителе и знаменателе стоят величины разной размерности. Несмотря на это и на простоту, в большинстве случаев данный метод оценки гидротермических условий дает неплохие результаты (Будыко, 1956). По гидротермическим условиям Г.Т. Селяниновым (1958) выделяются семь природных зон, информация о которых показана в таблице 1.

Таблица 1. Значения гидротермического коэффициента Селянинова по природным зонам.

Природные зоны	Гидротермический коэффициент
Тайга	>1.6
Тайга и лиственные леса	1.6-1.3
Лесостепь	1.3-1.0
Типичная степь	1.0-0.7
Степь на южных черноземных и каштановых почвах	0.7-0.4
Полупустыня	0.4-0.2
Пустыня	<0.2

Динамика гидротермического коэффициента, рассчитанного по зависимости (1) с использованием материалов наблюдений метеорологической станции Яшкуль за временной интервал 1966-2017 гг., показана на рисунке 1, где в соответствии с таблицей 1 отмечены природные зоны пустыни, полупустыни и степи. Среднемноголетнее значение гидротермического коэффициента составило 0.44 при диапазоне его изменения в пределах от 0.11 до 0.83; среднеквадратическое отклонение равно σ=0.16 коэффициент вариации равен C_v=0.36. В соответствии с таблицей 1, выявленный диапазон изменения гидротермического коэффициента за период 1966-2017 гг. соответствует природной зональности от пустыни до типичной степи. За рассматриваемый временной интервал в 2 случаях гидротермические условия территории соответствовали природной зоне пустынь, в 19 случаях – зоне полупустынь, в 31 случае – зоне степей. В межгодовом распределении гидротермического коэффициента прослеживается пока еще не достоверная тенденция его увеличения, что также может свидетельствовать о гумидном потеплении территории.

Вывод, сделанный на основании анализа динамики гидротермического коэффициента о гумидном потеплении на территории Республики Калмыкия, подтверждается данными о том, что на мелиорированных землях Приергенинской равнины происходит формирование растительных

сообществ, характерных для заключительных стадий восстановительной сукцессии для светло-каштановых почв (Новикова и др., 2020).

Коэффициент увлажнения, представляет собой «отношение количества атмосферных осадков к потенциальной величине суммарного испарения в данной экосистеме за год» (Экологическая …, 2010). В «Метеорологическом словаре» (Хромов, Мамонтова, 1974) приведенное выше соотношение обозначено как «индекс Высоцкого». В некоторых работах данный коэффициент упоминается как коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова. Коэффициент увлажнения определяется по соотношению (Высоцкий, 1960):

$$КУ=P/E_O \quad (2),$$

где $КУ$ – коэффициент увлажнения, P – годовая сумма осадков, мм; E_O – годовая сумма испаряемости, мм.

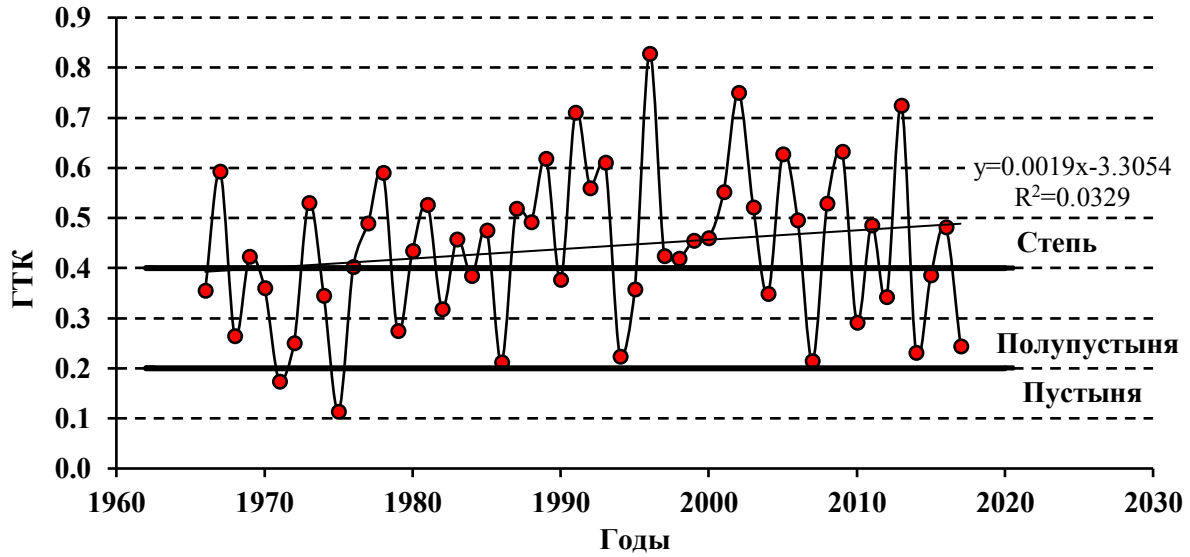

Рис. 1. Динамика гидротермического коэффициента ГТК.

Величина испаряемости, входящая в соотношение (2), представляет собой испарение в данной местности, не лимитированное запасами воды в почве и определяемое комплексом метеорологических условий. Существует большое число расчетных методов определения испаряемости, основанных на использовании метеорологических данных; методы различаются в зависимости от того, какое информационное обеспечение требуется для расчета испаряемости (Черенкова, Шумова, 2007). Кроме расчетных методов оценить испаряемость можно при помощи водных испарителей, используя эмпирические коэффициенты для приведения измеренных значений к значениям испаряемости.

С учетом того, что в данной работе мы ориентируемся на доступность данных, к которым относятся температура воздуха и осадки, для расчета годовых значений испаряемости используется соотношение (Шумова, 2010):

$$E_O=\alpha(\Sigma T_{>0}) \quad (3),$$

где E_O – испаряемость, мм; $\Sigma T_{>0}$ – сумма среднесуточных положительных температур воздуха, °С; α=0.28. Соотношение (3) удобно использовать для оценки испаряемости, когда информационное обеспечение сводится к данным о температуре воздуха, что обычно бывает при использовании баз метеорологических данных или данных климатических моделей.

В основе построения формулы (3) лежит модель суммарного испарения А.И. Будаговского (1964), согласно которой на основе комплекса метеорологических величин (температура воздуха, дефицит влажности воздуха, скорость ветра и радиационный баланс) значения испаряемости определяются по формуле, которая может быть записана в виде (Шумова, 2003):

$$E_{O\ Будаговский}=b_1D_\omega d+b_2R \quad (4),$$

$$b_1 = \frac{0.7}{1+1.56\varphi}, \qquad b_2 = \frac{0.026\varphi}{1+1.56\varphi} \tag{5},$$

$$\varphi = \frac{24513}{(235+T)^2} e^{\frac{17.1T}{235+T}} \tag{6},$$

$$D_\omega = \frac{c_1\tilde{u}}{c_2\tilde{u}^{1/2}+1}, \qquad \tilde{u}=u+0.4 \tag{7},$$

где $E_{O\ Будаговский}$ – испаряемость, мм/сут; b_1 и b_2 – функции температуры воздуха; φ – производная насыщающей упругости водяного пара от температуры воздуха, мб/°С; D_ω и $\tilde{u}$ – функции скорости ветра; T – среднесуточная температура воздуха, °С; d – среднесуточный дефицит влажности воздуха, мб; u – среднесуточная скорость ветра на высоте 2 м, м/сек; R – радиационный баланс, кал/(см^2·сут.). Расчет испаряемости по зависимости (4) выполнен за безморозный период по материалам наблюдений 45 метеорологических станций лесостепной и степной зон России и частично выходящих за их пределы. Для этих же станций определены суммы среднесуточных температур воздуха за безморозный период. Коэффициент корреляции между рассчитанными по формуле (4) значениями испаряемости и соответствующими значениями сумм среднесуточных температур воздуха за безморозный период равен 0.79, что свидетельствует о приемлемой точности уравнения (3).

Н.Н. Иванов (1941) на основании коэффициента увлажнения выделил 5 природных зон (табл. 2).

Таблица 2. Значения коэффициента увлажнения по природным зонам.

Природные зоны	Коэффициент увлажнения
Лесная зона	1.0-1.5
Лесостепь	0.6-1.0
Степь	0.3-0.6
Полупустыня	0.1-0.3
Пустыня	<0.1

Значения коэффициента увлажнения, рассчитанного по зависимости (2) с использованием данных о температуре воздуха и осадках на метеорологической станции Яшкуль за временной интервал 1966-2017 гг., представлены на рисунке 2, где выделены природные зоны полупустыни и степи в соответствии с таблицей 2. При среднемноголетнем значении коэффициента увлажнения, равном 0.23, диапазон его изменения за исследуемый период находится в пределах от 0.13 до 0.33; среднеквадратическое отклонение равно σ=0.05, коэффициент вариации равен C_v=0.24. В соответствии с таблицей 2, диапазон изменения коэффициента увлажнения относится к природной зональности от полупустыни до степи; в 45 случаях из 52 климатические условия соответствуют зоне полупустыни, в 7 случаях – степи. В межгодовой динамике прослеживается незначимая тенденция увеличения гидротермического коэффициента, свидетельствующая все же о некотором повышении увлажненности территории за исследуемый период.

Индекс аридности Торнтвейта. Условные показатели климата Торнтвейта (Thornthwaite, 1948), к которым относятся индекс аридности, индекс гумидности и индекс влажности, наиболее распространены в США и Канаде; индексы Торнтвейта используются и в других странах, в том числе и в России.

Индекс аридности Торнтвейта определяется по соотношению (в записи условных обозначений, принятых в настоящей статье):

$$I_{a(Торнт)} = 100\frac{\sum(P-E_{Торнт})_{приP<E_{Торнт}}}{\sum E_{Торнт}} \tag{8},$$

где $I_{a(Торнт)}$ – индекс аридности; P – месячная сумма осадков, см/мес; $E_{Торнт}$ – месячная сумма испаряемости, см/мес. При расчете индекса аридности учитываются месяцы, для которых месячная

сумма осадков меньше месячной суммы испаряемости.

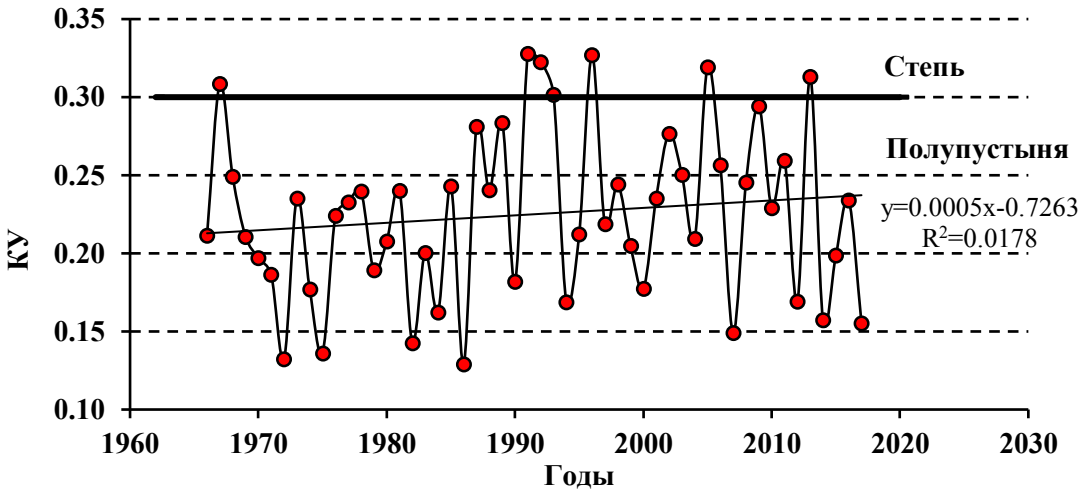

Рис. 2. Динамика коэффициента увлажнения КУ.

Для расчета месячной суммы испаряемости используется формула:

$$E_{Торнт}=1.6(10T_{мес}/\Sigma I_{мес})^{a} \quad \text{при } T_{мес}>0 \tag{9},$$

$$I_{мес}=(T_{мес}/5)^{1.514} \tag{10},$$

$$a=\frac{0.926}{2.42-\log\sum I_{мес}} \tag{11},$$

где $E_{Торнт}$ – испаряемость по Торнтвейту, см/мес; $T_{мес}$ – среднемесячная температура воздуха, °С; $I_{мес}$ – месячный индекс тепла, учитывающий поправку на широту. Расчет испаряемости проводится при условии, когда среднемесячная температурой воздуха превышает 0°С. Значения испаряемости, полученные по формуле (9), имеют размерность см/мес. Количественные значения индекса аридности Торнтвейта по природным зонам представлены в таблице 3 (Экологическая …, 2010а).

Таблица 3. Значения индекса аридности Торнтвейта по природным зонам.

Природные зоны	$I_{а(Торнт)}$
Полупустыня	от -20 до -40
Пустыня	ниже -40
Сверхзасушливые регионы	ниже -57

Индекс гумидности Торнтвейта определяется по зависимости, аналогичной (8), с той разницей, что должно выполняться условие, когда $P>E_{Торнт}$:

$$I_{г(Торнт)}=100\frac{\sum(P-E_{Торнт})_{приP>E_{Торнт}}}{\sum E_{Торнт}} \tag{12},$$

где $I_{г(Торнт)}$ – индекс гумидности.

Индекс влажности, положенный Торнтвейтом в основу классификации климатов, рассчитывается по соотношению:

$$I_{в(Торнт)}=\frac{100\sum(P-E_{Торнт})_{(P>E_{Торнт})}-60\sum(P-E_{Торнт})_{(P<E_{Торнт})}}{\sum E_{Торнт}} \tag{13},$$

где $I_{в(Торнт)}$ – индекс влажности.

Индекс аридности Торнтвейта, рассчитанный по зависимости (8) на основе данных по температуре воздуха и осадкам метеорологической станции Яшкуль за период 1966-2017 гг., представлен на рисунке 3. Среднее значение индекса аридности за исследуемый период составило -74

при диапазоне изменения от -90 до -52; среднеквадратическое отклонение равно σ=8, коэффициент вариации равен C_v=0.26. Согласно таблице 3, полученные значения индекса аридности Торнтвейта соответствуют природной зоне пустынь и сверхзасушливым регионам, к которым территория Калмыкии не относится по существующему физико-географическому районированию. В динамике индекса аридности отмечается незначимая отрицательная тенденция, свидетельствующая о повышении засушливости территории. Кроме того, отмеченная тенденция изменения индекса аридности Торнтвейта не соответствует климатическим изменениям, наблюдаемым в период 1966-2017 гг. на территории Калмыкии, поэтому данный метод оценки гидротермических условий не может быть рекомендован для климатических исследований на территории республики.

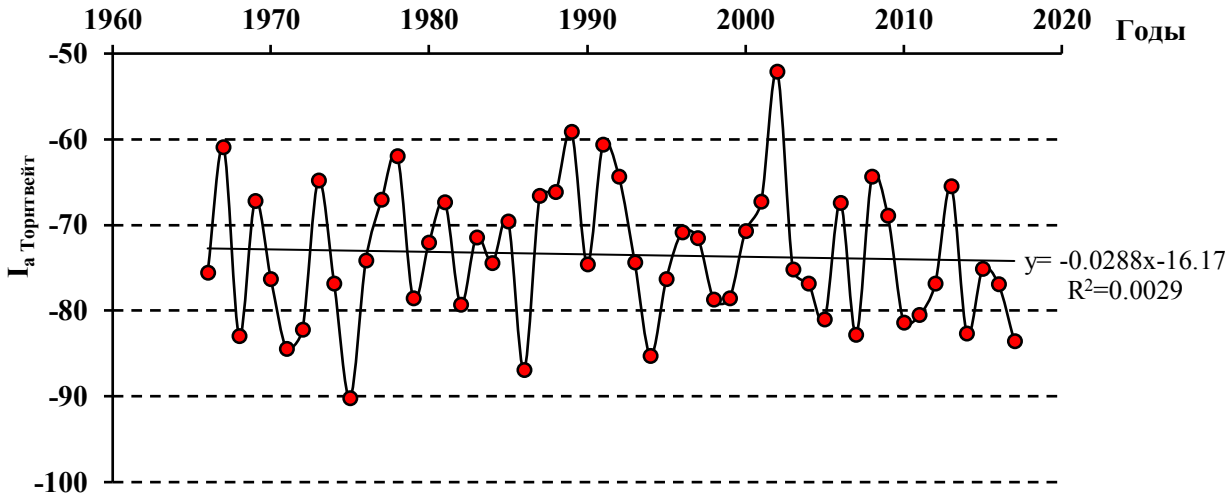

Рис. 3. Динамика индекса аридности Торнтвейта $I_{a(Торнтвейт)}$.

Метод Кёппена. Для количественной характеристики сухого климата В.П.Кёппен использует соотношение между среднегодовой температурой воздуха и годовой суммой осадков с учётом сезонности увлажнения (Дроздов и др., 1989). Выделяется три типа сезонного увлажнения – это преобладание осадков холодного периода, преобладание осадков теплого периода и равномерное распределение осадков в течение года. Теплый период, в данном контексте в северном полушарии, продолжается с апреля по сентябрь включительно. Для каждого типа сезонного увлажнения установлены температурные границы, определяемые на основе среднегодовой температуры воздуха (табл. 4). В зависимости от выполнения соотношения между среднегодовой температурой воздуха и годовой суммой осадков, представленных в таблице 4, определяется природная зона (степь или пустыня). В отношении пустынь отметим, что в зависимости от среднегодовой температуры воздуха В.П. Кёппен различает «жаркие пустыни» (при среднегодовой температуре воздуха T>18°C) и «холодные пустыни» (при T<18°C).

Таблица 4. Соотношение между ресурсами тепла и влаги для сухих зон по иетоду Кёппена.

Сезонное увлажнение	Степи (семиаридный)	Пустыни (аридный)
Преобладание осадков холодного периода	P≤2T	P<T
Преобладание осадков тёплого периода	T+14≤P≤2T+14	P<T+14
Равномерное распределение осадков в течение года	T+7≤P≤2(T+7)	P<T+7

Примечания к таблице 4: T – среднегодовая температура воздуха, °C; P – годовая сумма осадков, см.

Среднемноголетнее значение среднегодовой температуры воздуха на метеорологической станции

Яшкуль за период 1966-2017 гг. составило 10.7°С, что по классификации В.П.Кёппена позволяет отнести исследуемую территорию к «холодной пустыне». Анализ месячных сумм осадков за период 1966-2017 гг. показал, что в Калмыкии осадки теплого периода (апрель-сентябрь) в среднем составляют 60% от годового количества, что позволяет считать распределение осадков в течение года равномерным; преобладанием осадков теплого или холодного периода считается, если они составляют 70% и более от их годовых значений. Исходя из этого, в настоящей работе для оценки гидротермических условий в Калмыкии используется выражение $T+7 \leq P \leq 2(T+7)$, которое соответствует равномерному распределению осадков в течение года.

Графическое изображение выражения $T+7 \leq P \leq 2(T+7)$, выполненное на основе данных о среднегодовых температурах воздуха и годовых сумм осадков на метеорологической станции Яшкуль за период 1966-2017 гг., представлено на рисунке 4. На рисунке 4 показаны температурные границы T+7 и 2(T+7), а также представлены значения годовых сумм осадков. В соответствии с приведенным выше выражением, если точки, обозначающие годовую сумму осадков, располагаются внутри температурных границ T+7 и 2(T+7), то это указывает на гидротермические условия, характерные для степной зоны. Если точки, обозначающие годовую сумму осадков, расположены ниже температурной границы T+7, то такие гидротермические условия присущи зоне пустыни. Точки, обозначающие годовую сумму осадков, которые расположены выше температурной границы 2(T+7), свидетельствуют об экстремальной высоких осадках и соответствующей им увлажненности территории в эти годы.

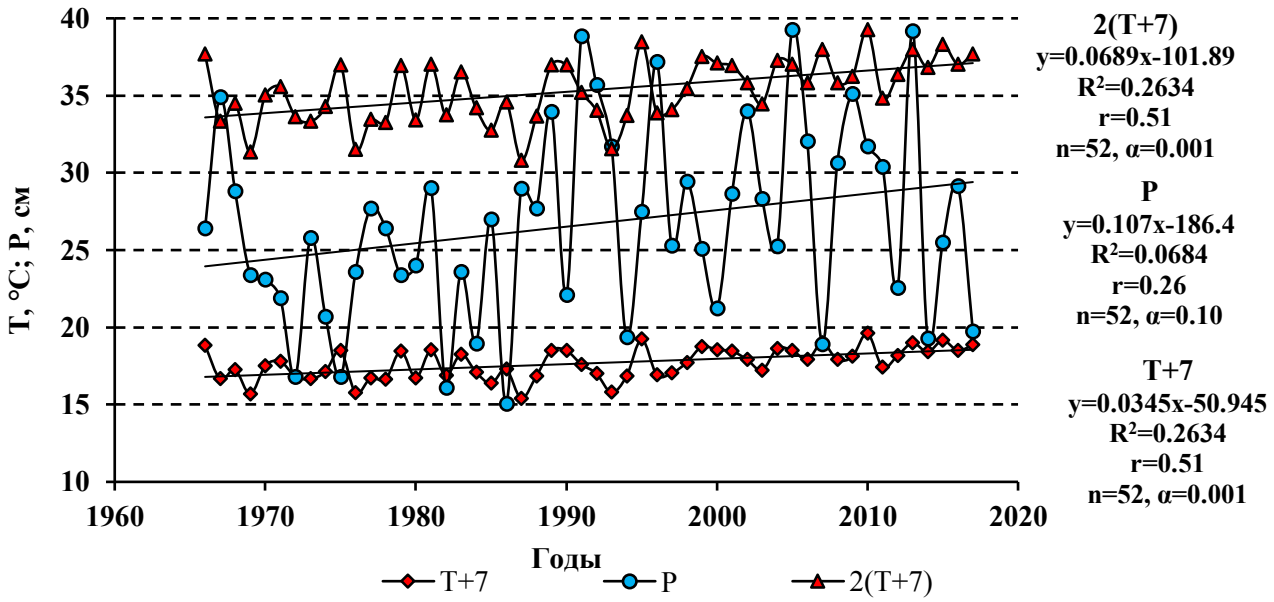

Рис. 4. Динамика гидротермических условий сухих зон по Кёппену.

На основе анализа данных, полученных с использованием метода В.П. Кёппена, можно сделать вывод о том, что на исследуемой территории в период 1966-2017 гг. в 41 случае из 52 наблюдались гидротермические условия, соответствующие природной зоне степей, в 4 случаях – зоне пустынь, в 7 случаях отмечены гидротермические условия, присущие более увлажненным территориям. В динамике годовых температурных характеристик и годовых сумм осадков за период 1966-2017 гг. отмечаются достоверные положительные тренды, свидетельствующие о гумидном потеплении. Данный метод отличает простота и достоверность.

Схема Холдриджа. В 1990-х годах схема природных зон Холдриджа была рекомендована и широко применялась при оценке уязвимости природных зон и их границ при возможном изменении климата (Guidance …, 1994). Для оценок с использованием данной схемы необходимо располагать данными о температуре воздуха и осадках. Входными параметрами схемы является значение годовой суммы осадков, среднегодовая биотемпература и эвапотранспирационное отношение, показывающее степень засушливости территории и представляющее собой отношение годовой суммы испаряемости

к годовой сумме осадков. Использование осадков пояснения не требует. Биотемпература определяется по зависимости (Holdridge, 1959):

$$T_{bio} = \frac{\sum T_{ср.мес}}{12} \quad (14),$$

где T_{bio} – биотемпература, °С; $T_{ср.мес}$ – среднемесячная температура воздуха, °С. При расчете биотемпературы суммируются только месяцы с положительной среднемесячной температурой воздуха, отрицательные температуры воздуха при суммировании принимаются равными нулю.

Эвапотранспирационное отношение рассчитывается по формуле

$$I_{Холдридж} = \frac{E_{0\,Холдридж}}{P_{год}} \quad (15)?$$

где $I_{Холдридж}$ – эвапотранспирационное отношение; $E_{O\,Холдридж}$ – испаряемость, мм/год; $P_{год}$ – осадки, мм/год.

Испаряемость определяется по формуле:

$$E_{O\,Холдридж}=58.93T_{bio} \quad (16).$$

На основании данных о температуре воздуха и осадках на метеорологической станции Яшкуль за период 1966-2017 гг. для каждого года были рассчитаны биотемпература и эвапотранспирационные отношения. На рисунке 5 показана динамика эвапотранспирационного отношения за исследуемый период, рассчитанного по зависимости (15). Среднее значение эвапотранспирационного отношения Холдриджа за исследуемый временной интервал составило 2.71 при диапазоне изменения от 1.75 до 4.44; среднеквадратическое отклонение равно σ=0.70, коэффициент вариации равен C_v=0.26.

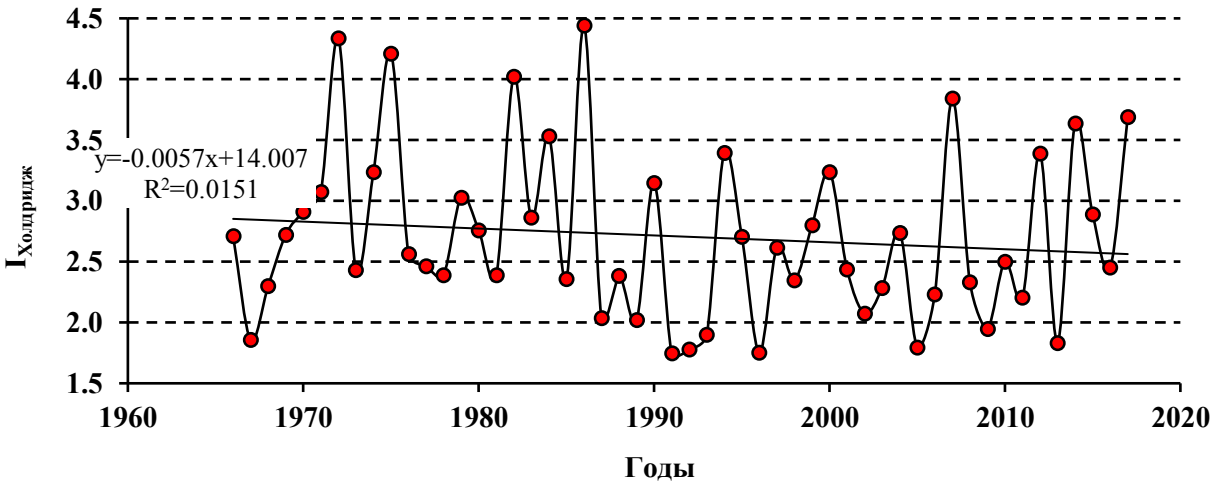

Рис. 5. Динамика эвапотранспирационного отношения Холдриджа.

Наблюдаемая пока еще недостоверная отрицательная тренденция в динамике эвапотранспирационного отношения Холдриджа свидетельствует об уменьшении засушливости территории. Эта выявленная тенденция уменьшения эвапотранспирационного отношения Холдриджа полностью соответствует климатическим изменениям, а именно гумидному потеплению, наблюдаемому в период 1966-2017 гг. на территории Калмыкии, поэтому данный метод оценки гидротермических условий по-видимому может быть использован для климатических исследований на территории республики.

Схема природных зон Холдриджа (рис. 6) представляет собой треугольник, внутри которого расположен массив шестиугольников с обозначением природных зон (Life Zone). Боковые стороны треугольника являются осями координат: правая ось – это значение годовой суммы осадков (Avarage Total Annual Precipitation), левая – эвапотранспирационное отношение (Potential Evapotranspiration Ratio). Вертикальные оси, расположенные слева и справа от треугольника, являются осями среднегодовой биотемпературы (Mean Annual Biotemperature).

На основании вычисленных по формуле (14) значений биотемпературы и значений эвапотранспирационного отношения по формуле (15), а также имеющихся данных по осадкам, по схеме Холдриджа (рис. 6) были определены природные зоны, соответствующие трём указанным входным параметрам схемы. В соответствии со схемой Холдриджа за временной интервал 1966-2017 гг. гидротермические условия исследуемой территории соответствовали зонам-шестиугольникам: зоне степей (Steppe) – 15 случаев; зоне колючекустарниковых степей (Thorn Steppe) – 10 случаев; зоне кустарниковых пустынь (Desert Bush) – 27 случаев. Приведенные данные, в совокупности с отрицательной тенденцией эвапотранспирационного отношения, свидетельствуют о гумидном потеплении исследуемой территории.

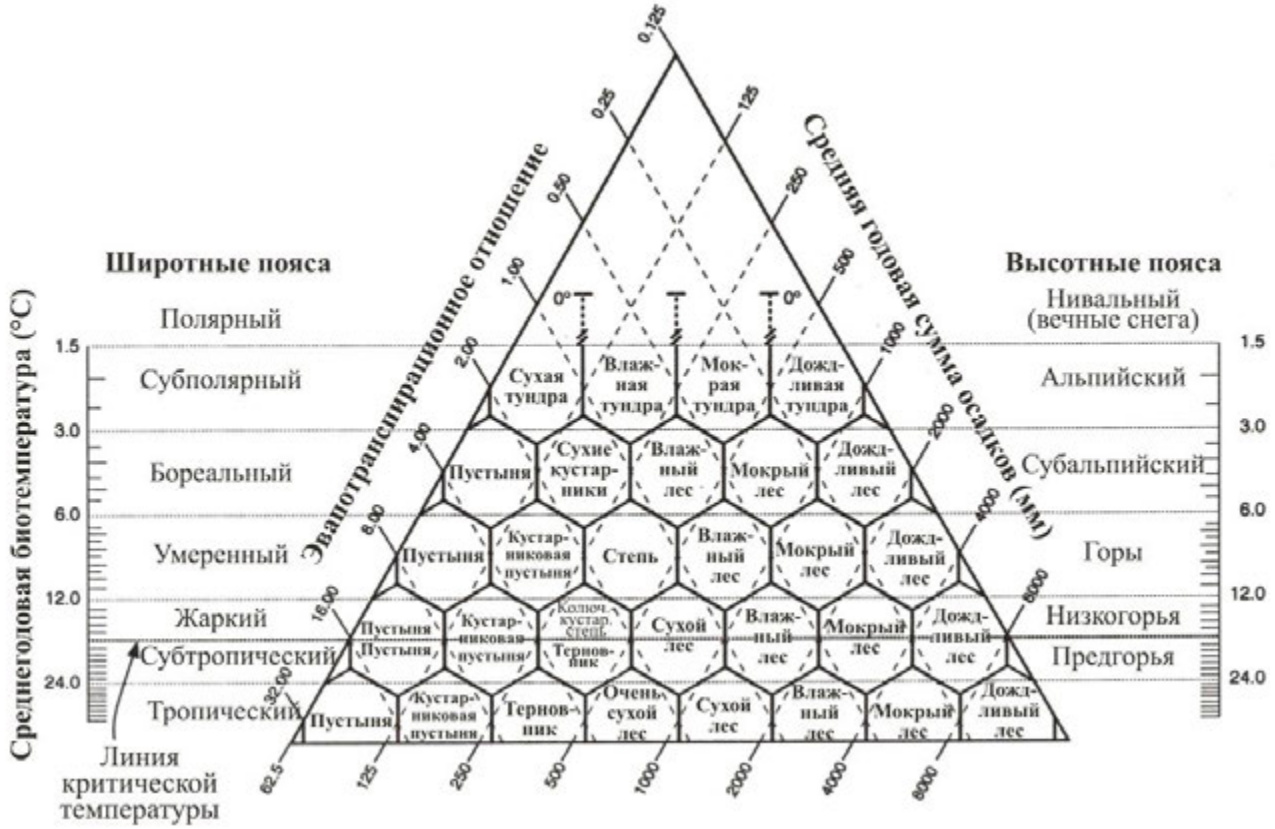

Рис. 6. Схема природных зон (Life Zone) по Холдриджу (Holdridge, 1967).

Представление о числе случаев соответствия природным зонам количественных показателей климата, рассчитанных разными методами с использованием массива данных метеорологической станции Яшкуль за период 1966-2017 гг., даёт таблица 5. При её построении годы, в которые гидротермические условия соответствовали зоне пустынь и полупустынь, были объединены в одну группу; к другой группе – степь – были отнесены годы, по гидротермическим условиям отнесенные к различным типам степей.

Таблица 5. Природные зоны, определённые на основе количественных показателей климата разных авторов (число случаев, %).

Количественные показатели климата	**Природные зоны**	
	Пустыня и полупустыня	**Степь**
Гидротермический коэффициент Селянинова	40	60
Коэффициент увлажнения	87	13
Индекс аридности Торнтвейта	100	0
Метод Кёппена	8	92

Схема Холдриджа	52	48

Выводы

От выбора количественного показателя климата зависит достоверность результатов оценки динамики гидротермических условий территории на региональном уровне как в условиях современного климата, так и при использовании климатических моделей, дающих представление о направлении и масштабах возможного изменения климата.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод, что из пяти рассмотренных подходов только четыре с разной степенью достоверности оценивают гидротермические условия и их динамику на территории Республики Калмыкия: это гидротермический коэффициент Селянинова, коэффициент увлажнения, метод Кёппена и схема Холдриджа.

Результаты оценок гидротермических условий республики, полученные с использованием индекса аридности Торнтвейта, недостоверны, так как характеризуют период 1966-2017 гг. как период усиления аридизации климата, что не соответствует современным климатическим условиям изучаемой территории.

Наиболее достоверными оценками гидротермических условий и их динамики на территории Республики Калмыкия можно признать оценки, выполненные на основании гидротермического коэффициента Селянинова и метода Кёппена, достоверность которых подтверждается материалами полевых исследований изменения растительности на мелиорированных землях Приергенинской равнины за 10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Будаговский А.И. 1964. Испарение почвенной влаги. М.: Наука. 242 с.

Будыко М.И. 1956. Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеоиздат. 256 с.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. 2019а. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения 04.09.2019)].

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. 2019б. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных (дата обращения 04.09.2019)].

Высоцкий Г.Н. 1960. Избранные труды. М.: Сельхозгиз. 435 с.

Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. 1989. Климатология. Л.: Гидрометеоиздат. 568 с.

Иванов Н.Н. 1941. Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР. Серия география и геофизика. № 3. С. 261-288.

Новикова Н.М., Волкова Н.А., Уланова С.С., Чемидов М.М. 2020. Изменение растительности на мелиорированных солонцовых почвах Приергенинской равнины за 10 лет (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 30-39. [*Novikova N.M., Volkova N.A., Ulanova S.S., Chemidov M.M.* 2020. Change in Vegetation on Meliorated Solonetcic Soils of the Peri-Yergenian Plain over 10 Years (Republic of Kalmykia) // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 194-202.]

Селянинов Г.Т. 1928. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20. С. 165-177.

Селянинов Г.Т. 1958. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. С. 7-14.

Справочник по показателям и индексам засушливости. 2016. 53 с. [Электронный ресурс https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf (дата обращения 15.02.2021)].

Хромов С.П., Мамонтова Л.И. 1974. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат. 568 с.

Черенкова Е.А., Шумова Н.А. 2007. Испаряемость в количественных показателях климата // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 57-69.

Шумова Н.А. 2020. Анализ климатических условий в Республике Калмыкия за 1966-2017 гг. // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 23-29. [*Shumova N.A.* 2020. Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966-2017 // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 188-193.]

Шумова Н.А. 2010. Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в

условиях юга Русской равнины. М.: Наука. 239 с.

Шумова Н.А. 2003. Оценка точности модели для расчета динамики запасов воды в почве // Метеорология и гидрология. № 10. С. 124-133.

Шумова Н.А. 2007. Оценка уязвимости гидротермических условий и зональных границ аридных территорий при различных сценариях изменения климата // Аридные экосистемы. Т. 13. № 32. С. 34-46.

Экологическая энциклопедия: в 6 т. 2010а. Т. 2. Г-И. М.: Энциклопедия. 448 с.

Экологическая энциклопедия: в 6 т. 2010б. Т. 3. И-М. М.: Энциклопедия. 448 с.

Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments. 1994. US Country studies program. Washington, D.C., US Country Studies Management Team (PO-63). 518 p.

Holdridge L.R. 1959. Simple Method for determining Potential Evapotranspiration from Temperature Data // Science. No. 130. P. 572.

Holdridge L.R. 1967. Life zone ecology. San Jose: Tropical Science Center. 206 p.

Thornthwaite C.W. 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate // Geographical Review. Vol. 38. P. 55-94.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 25-31

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.524.3

АНАЛИЗ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД 1960-2019 ГГ.[1]

© 2021 г. В.Н. Гудко, А.В. Усатов, К.В. Азарин

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1. E-mail: Gudko.1985@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

На основании данных шести метеорологических станций Ростовской области в период 1960-2019 гг. были проанализированы тенденции изменений температуры воздуха, количества осадков и гидротермических условий, выраженных гидротермическим коэффициентом Селянинова. Для всех метеостанций определен значимый тренд повышения среднегодовой температуры воздуха и сумм температур выше 10°С. Годовое количество осадков имело значимый тренд увеличения только на метеостанции Чертково, на остальных пяти метеостанциях – тенденция увеличения. На фоне интенсивного роста температур, отмечена тенденция снижения значений гидротермического коэффициента Селянинова для метеостанций Гигант, Ростов-на-Дону, Таганрог и Цимлянск. На метеостанциях Чертково и Ремонтное рост температур компенсировался увеличением количества осадков, в результате отмечена тенденция увеличения значений гидротермического коэффициента Селянинова. Гидротермические условия на шести метеостанциях в период 1960-2019 гг. характеризовались как сухие, а среднемноголетнее значение ГТК варьирует в пределах 0.64-0.82. Наиболее засушливые условия характерны для метеостанций, расположенных на востоке и северо-востоке Ростовской области. На основании рассчитанных тенденций можно заключить, что в период 1960-2019 гг. для метеостанций Гигант, Ростов-на-Дону, Таганрог и Цимлянск характерно аридное потепление, а для метеостанций Ремонтное и Чертково – гумидное потепление.

Ключевые слова: температура воздуха, количество осадков, гидротермические условия, гидротермический коэффициент Селянинова, аридное потепление, гумидное потепление, Ростовская область.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-25-31

Наблюдаемые климатические изменения оказывают значительное влияние на состояние и развитие экосистем и вносят существенный вклад в деградацию ландшафтов. Исследования климатических изменений южных территорий России указывают на общую тенденцию увеличения средних температур, тогда как тенденции режима выпадения осадков неоднозначны (Назаренко, 2020; Шумова, 2020). Ростовская область в целом характеризуется относительно благоприятным умеренно-континентальным климатом. Климатические условия этого региона крайне неоднородны и характеризуются значительным температурным размахом с неустойчивым режимом увлажнения. Интенсивные климатические изменения оказывают значительное влияние на почвенно-растительный покров в Ростовской области. Так, для некоторых территорий региона, в особенности для его восточной и северо-восточной частей, реальна угроза опустынивания территории (Безуглова и др., 2021). В текущих условиях необходима оценка тенденций не только температурного режима и выпадения осадков, но и тенденций гидротермических условий, определяемых как соотношение тепла и влаги. В настоящем исследовании, на основании многолетних данных температур и количества осадков, анализируются тенденции гидротермических условий в Ростовской области.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в области научной деятельности (№ 0852-2020-0029).

Объекты и методы исследования

Исходными для исследования данными послужили наборы суточных климатических данных средней температуры воздуха и осадков, полученные из Всемирного центра данных Российского исследовательского института гидрометеорологической информации (ВНИИГМИ-МЦД; Булыгина и др., 2021). В исследовании использованы ряды климатических данных за период 1960-2019 гг. по шести метеорологическим станциям, географически относящихся к территории Ростовской области: Гигант, Ремонтное, Ростов-на-Дону, Таганрог, Цимлянск и Чертково. Метеорологические данные для некоторых из представленных станций были дополнены данными, предоставленными Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA, 2021). Таким образом, были собраны временные ряды климатических суточных данных за 60-летний период с не менее 95% полнотой данных для каждой исследуемой метеорологической станции.

На основании полученных рядов данных для каждой метеостанции в период 1960-2019 гг. были рассчитаны годовые значения и проанализированы тенденции: средней температуры воздуха ($T_{ср.год}$); количества осадков ($P_{год}$); сумм среднесуточных температур выше 10°C (сумма активных температур; $\Sigma T_{>10}$); количества дней со среднесуточной температурой выше 10°C (Nd_{10}), как условный показатель длины сезона вегетации; количества осадков при среднесуточной температуре выше 10°C ($P_{>10}$); показателя гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), характеризующего гидротермические условия территории (Селянинов, 1937). Анализ временных трендов указанных показателей проводили с помощью непараметрического критерия Манна-Кенделла при статистическом уровне значимости 95% ($\alpha<0.05$; Mann, 1965). Величину изменения во временном ряду определяли с помощью критерия наклона Сена. Расчёт показателей и оценка трендов проводился в пакете Microsoft Excel 2019 и R.

Результаты и обсуждение

Среднегодовая температура воздуха и годовое количество осадков. По каждой исследуемой метеостанции в период 1960-2019 гг. отмечена тенденция увеличения как среднегодовой температуры, так и годового количества осадков (рис. 1). На всех исследуемых метеостанциях отмечен статистически значимый тренд увеличения $T_{ср.год}$, при средней скорости роста в 0.3°C/10 лет. При этом минимальный рост отмечен на метеостанции Ростов-на-Дону (0.2°C/10 лет), а максимальный на метеостанциях Цимлянск и Таганрог (0.4°C/10 лет; рис. 1C, D, E). Рост годового количества осадков менее выражен. Статистически значимый тренд увеличения годовых осадков отмечен только на метеостанции Чертково – 14.7 мм/10 лет (рис. 1F). Немногим ниже росли осадки на метеостанциях Ремонтное – 14.3 мм/10 лет и Цимлянск – 9.7 мм/10 лет. В целом, среднемноголетнее количество осадков на метеостанциях Ремонтное и Цимлянск (рис. 1B, E), находящихся на востоке и северо-востоке региона, закономерно ниже – 402 и 457 мм соответственно. За годы наблюдений величина $P_{год}$ варьировала от максимального значения 931.6 мм в 2004 году на метеостанции Ростов-на-Дону (рис. 1C), и до минимального – 188.3 мм в 1962 году на метеостанции Ремонтное (рис. 1B). Минимальная $T_{ср.год}$ для всех метеостанций отмечена в 1987 году, и составила 8.0, 7.2, 7.6, 7.7, 6.9 и 4.9°C, для метеостанций Гигант, Ремонтное, Ростов-на-Дону, Таганрог, Цимлянск и Чертково соответственно.

Температурные годовые максимумы наблюдались в последние два десятилетия: в 2007 году для метеостанций Гигант, Ростов-на-Дону, Таганрог и Цимлянск (12.4, 12.0, 12.5 и 11.6°C соответственно; рис. 1 A, C, D, E), и в 2010 для метеостанций Ремонтное и Цимлянск (11.6 и 10.0°C соответственно; рис. 1 B, F). Примечательно также, что величина межгодовых колебаний $T_{ср.год}$ по каждой метеостанции в последнее десятилетие минимальны.

Сумма среднесуточных температур выше 10°C и количество дней со среднесуточной температурой выше 10°C. На фоне увеличения среднегодовой температуры в период 1960-2019 гг. отмечено также увеличение $\Sigma T_{>10}$ и Nd_{10} (рис. 2). Показатели $\Sigma T_{>10}$ и Nd_{10} закономерно связаны со среднегодовой температурой, а рассчитанные по среднему для шести метеостанций коэффициенты корреляции составляют r=0.80 и r=0.60 (при α=0.001) соответственно. Тренд увеличения для $\Sigma T_{>10}$ был статистически значим для всех исследуемых метеостанций, а средняя скорость роста составила примерно 72°C/10 лет. Статистически значимый тренд увеличения Nd_{10} отмечен на метеостанциях Цимлянск и Чертково – 1.7 и 2.1 дня/10 лет, соответственно (рис. 2. E, F). Анализ показал также, что,

в среднем для исследуемых метеостанций, увеличение $T_{ср.год}$ на 1°C привело к увеличению $\Sigma T_{>10}$ примерно на 200°C, а Nd_{10} на 5 дней.

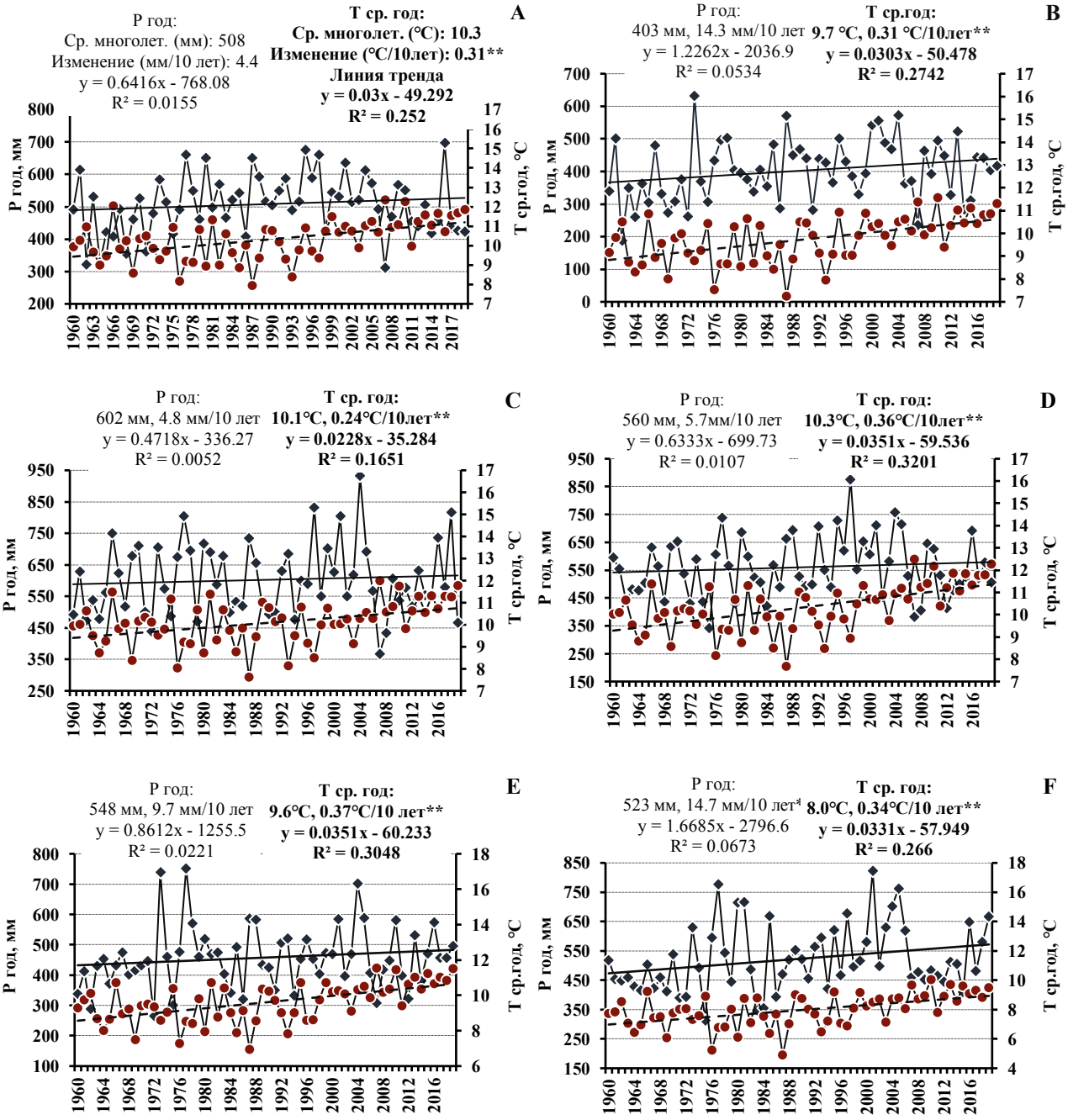

Рис. 1. Динамика годового количества осадков ($P_{год}$, ромбы) и среднегодовой температуры воздуха ($T_{ср.год}$, круги) в период 1960-2019 гг. на метеорологических станциях: A – Гигант, B – Ремонтное, C – Ростов-на-Дону, D – Таганрог, E – Цимлянск, F – Чертково. *Условные обозначения*: * – статистический уровень значимости α=0.05, ** – статистический уровень значимости α=0.001.

Наименьшие значения $\Sigma T_{>10}$ и Nd_{10} закономерно отмечены на метеостанции Чертково, которая более остальных удалена на север (рис. 2F). В картине межгодовой динамики примечателен 2012 год, когда на всех шести метеостанциях наблюдались максимумы для $\Sigma T_{>10}$ и Nd_{10}. Годовые значения при этом, к примеру, на метеостанции Гигант составили $\Sigma T_{>10}$=4410°C и Nd_{10}=212, а на Чертково – $\Sigma T_{>10}$=3896°C и Nd_{10}=202 дня (рис. 2A, F). Минимумы для большинства метеостанций отмечены в

1987 г., когда, к примеру, на метеостанциях Цимлянск значения составили $\Sigma T_{>10}$=3000°С и Nd_{10}=161 день, а на Ремонтное – $\Sigma T_{>10}$=3011°С и Nd_{10}=160 день (рис. 2B, E).

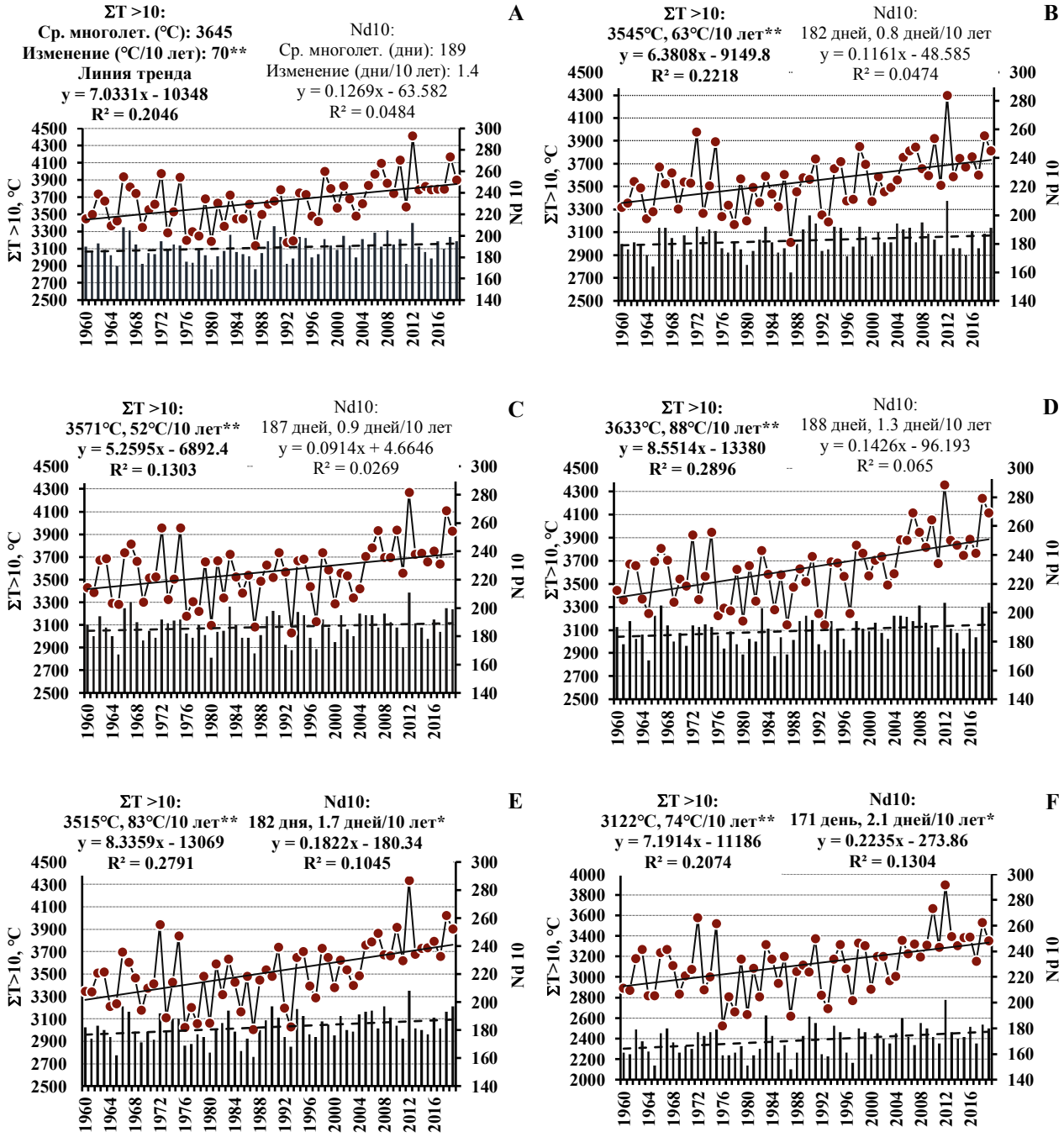

Рис. 2. Динамика годовых сумм температур выше порогового 10°С ($\Sigma T_{>10}$, круги) и числа дней при среднесуточной температуре выше 10°С (Nd_{10}, гистограмма) в период 1960-2019 гг. на метеорологических станциях: A – Гигант, B – Ремонтное, C – Ростов-на-Дону, D – Таганрог, E – Цимлянск, F – Чертково. *Условные обозначения*: * – статистический уровень значимости α=0.05, ** – статистический уровень значимости α=0.001.

Количество осадков при среднесуточной температуре выше 10°С и гидротермический коэффициент Селянинова. Из представленной на рисунке 3 динамики показателей, можно заметить, что количество осадков при среднесуточной температуре выше 10°С ($P_{>10}$) во многом определяет

характер гидротермических условий. При этом в большинстве случаев максимальное $P_{>10}$ и максимальный ГТК конкретной метеостанции, равно как и минимальное $P_{>10}$ и минимальный ГТК, отмечались в один и тот же год. Например, на метеостанциях Гигант и Таганрог максимальные значения и $P_{>10}$ (425.5 и 506.7 мм соответственно) и ГТК (1.25 и 1.56 соответственно) отмечены в 1997 году, тогда как минимальные значения $P_{>10}$ (134.2 мм) и ГТК (0.34) для метеостанции Гигант отмечены в 1962 году, а минимальные значения $P_{>10}$ (116.1 мм) и ГТК (0.35) для метеостанции Таганрог отмечены в 1965 году (рис. 3A, D).

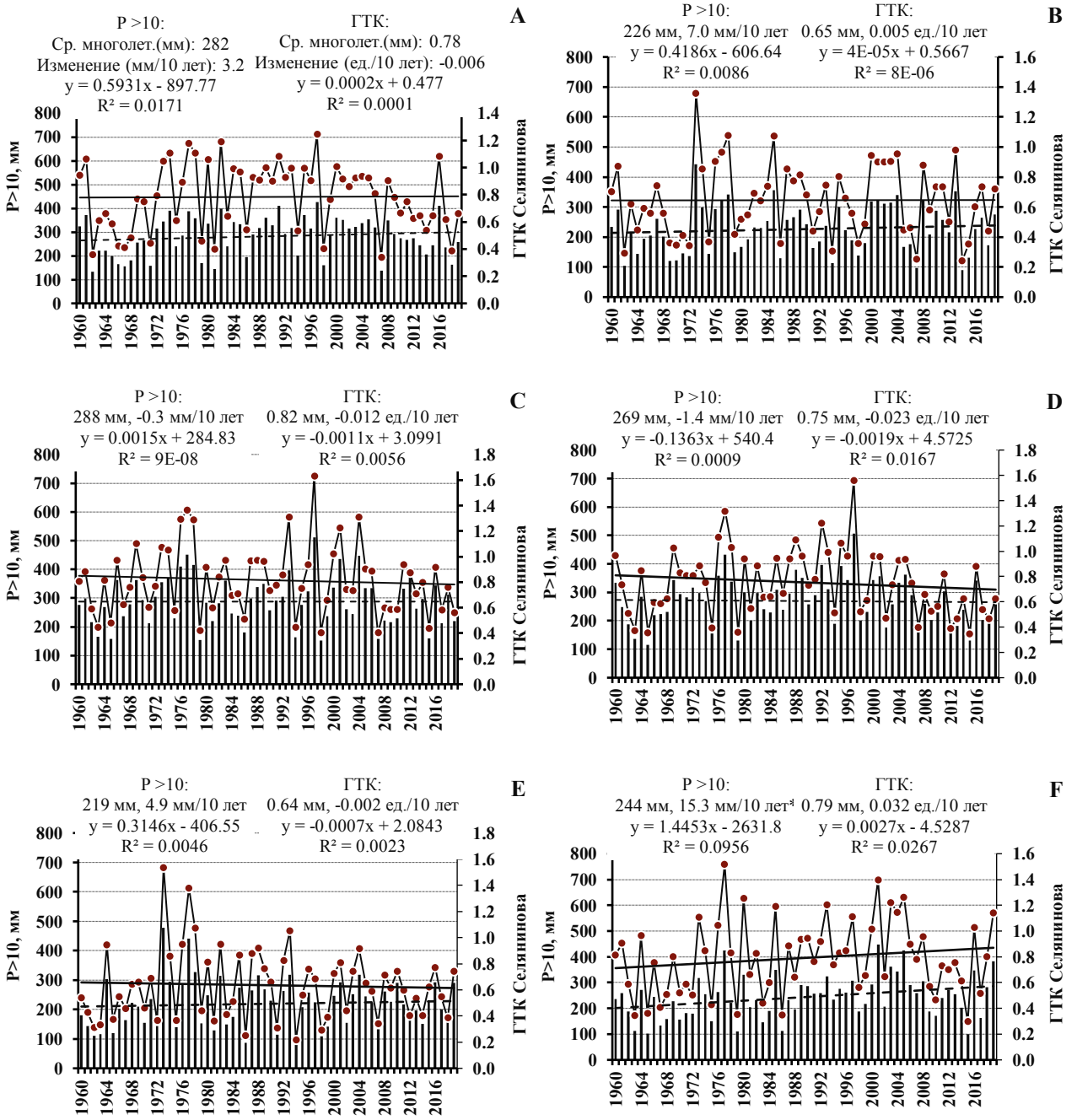

Рис. 3. Динамика годовых значений количества осадков при среднесуточной температуре выше 10°C ($P_{>10}$, гистограмма) и гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК, круги) в период 1960-2019 гг. на метеорологических станциях: A – Гигант; B – Ремонтное; C – Ростов-на-Дону; D – Таганрог; E – Цимлянск; F – Чертково. *Условные обозначения*: * – статистический уровень значимости α=0.05, ** – статистический уровень значимости α=0.001.

Статистически значимый тренд $P_{>10}$ в период 1960-2019 гг. отмечен только на метеостанции Чертково, причем величина изменений составила 15.3 мм/10 лет, и здесь же отмечена наибольшая скорость увеличения ГТК – 0.032 ед./10 лет (рис. 3F). Примечательно, что на метеостанции Таганрог, на фоне тенденции снижения $P_{>10}$, отмечена наибольшая скорость снижения показателя ГТК в – 0.023 ед./10 лет (рис. 3D). На остальных метеостанциях отмечена незначительная разнонаправленная тенденция как $P_{>10}$, так и ГТК.

В среднем, в 86% случаев гидротермические условия на шести исследуемых метеостанциях в период 1960-2019 гг. можно охарактеризовать как в разной степени сухие (табл. 1). При этом очень сухой режим увлажнения отмечался редко (в среднем 2%) и характерен больше для метеостанций Ремонтное и Цимлянск, которые находятся на востоке и северо-востоке региона соответственно. Разной степени влажные условия происходили значительно реже, в среднем всего в 14% случаев. Примечательно, что за весь период 1960-2019 гг. только единожды, на метеостанции Ростов-на-Дону, гидротермические условия характеризовались как очень влажные.

Выводы

Анализ климатических данных за период 1960-2019 гг. показал, что средняя годовая и сумма среднесуточных температур выше 10°С имели достоверный тренд увеличения на всех шести метеорологических станциях Ростовской области. При этом количество дней со среднесуточной температурой выше 10°С (длительность сезона вегетации) имело достоверный тренд увеличения только на метеостанциях Цимлянск и Чертково, тогда как на остальных метеостанциях отмечается общая тенденция их увеличения. Тенденция увеличения годового количества осадков отмечена на всех шести метеостанциях, а на метеостанции Чертково зафиксирован достоверный тренд. На фоне общего роста осадков, тенденции количества осадков при среднесуточной температуре выше 10°С были разнонаправлены: достоверный тренд увеличения на метеостанции Чертково; тенденция увеличения на метеостанциях Гигант, Ремонтное и Цимлянск; тенденция снижения на – Ростов-на-Дону и Таганрог.

Таблица 1. Характер гидротермических условий шести метеорологических станций Ростовской области в период 1960-2019 гг. на основании значений гидротермического коэффициента Селянинова.

Классификация ГТК	Метеорологическая станция						Среднее
	Гигант	Ремонтное	Ростов-на-Дону	Таганрог	Цимлянск	Чертково	
Очень сухо (< 0.3)	0	4 (7%)	0	0	4 (7%)	1 (2%)	2 (2%)
Сухо (0.31-0.60)	16 (27%)	25 (42%)	17 (28%)	19 (32%)	25 (42%)	17 (28%)	20 (33%)
Умеренно сухо (0.61-0.80)	15 (25%)	15 (25%)	15 (25%)	16 (27%)	17 (28%)	14 (23%)	15 (26%)
Слегка сухо (0.81-1.00)	19 (32%)	13 (22%)	17 (28%)	17 (28%)	10 (17%)	14 (23%)	15 (25%)
Слегка влажно (1.01-1.20)	9 (15%)	2 (3%)	4 (7%)	5 (8%)	2 (3%)	9 (15%)	5 (9%)
Умеренно влажно (1.21-1.40)	1 (2%)	1 (2%)	6 (10%)	2 (3%)	1 (2%)	4 (7%)	3 (4%)
Влажно (1.41-1.60)	0	0	0	1 (2%)	1 (2%)	1 (2%)	1 (1%)
Очень влажно (> 1.61)	0	0	1 (2%)	0	0	0	0

В целом гидротермические условия на шести метеостанциях в период 1960-2019 гг. характеризуются как засушливые или сухие. При этом в 86% случаев среднемноголетнее значение

ГТК варьирует в пределах 0.64-0.82, а наиболее засушливые условия характерны для метеостанций, расположенных на востоке и северо-востоке региона. На метеостанциях Гигант, Ростов-на-Дону, Таганрог и Цимлянск отмечается тенденция смещения режима гидротермических условий к более засушливому. Примечательно, что на метеостанциях Гигант и Цимлянск значение показателя ГТК имело тенденцию снижения даже на фоне тенденции роста осадков при средней суточной температуре выше 10°С. Так происходит в результате интенсивного роста температур, что нивелирует положительный эффект незначительного увеличения осадков. На метеостанциях Ремонтное и Чертково аналогичный рост температур сопровождался более значимым увеличением осадков, в результате чего отмечена тенденция смещения режима гидротермических условий к более влажному. Таким образом, на основании рассчитанных тенденций можно заключить, что в период 1960-2019 гг. на метеостанциях Гигант, Ростов-на-Дону, Таганрог и Цимлянск отмечено аридное потепление, а на метеостанциях Ремонтное и Чертково – гумидное потепление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. 2020. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 10-15. [*Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N.* Land Degradation Dynamics in Rostov Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 87-92.]

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. 2021. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения 18.03.2021)].

Назаренко О.В. 2020. Изменение некоторых метеорологических показателей в бассейне Азовского моря // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 1. С. 62-70.

Селянинов Г.Т. 1937. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Мировой агроклиматический справочник. М.: Гидрометеоиздат. 5-27 с.

Шумова Н.А. 2020. Анализ климатических условий в республике Калмыкия за 1966-2017 гг. // Аридные экосистемы. Т. 26. №. 3(84). С. 23-29. [*Shumova N.A.* 2020. Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966-2017 // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 188-193.]

NOAA. 2021. Электронный архив глобальных исторических погодных и климатических данных Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA) 2021 [Электронный ресурс https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/ (дата обращения 22.03.2021)].

Mann H.B. 1945. Non-parametric tests against trend // Econometrica Vol. 13. P. 245-259.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 32-40

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 504.54.05(470.6)

СЕМИАРИДНЫЕ МЕЖГОРНЫЕ КОТЛОВИНЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА: ЛАНДШАФТЫ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ[1]

© 2021 г. М.Н. Петрушина*, А.Н. Гуня, *****

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет*
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 1. E-mail: mnpetrushina@mail.ru
***Институт географии РАН*
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: gunyaa@yahoo.com
****Чеченский государственный университет, факультет географии и геоэкологии*
Россия, 366007, Чеченская Республика, г. Грозный, Бульвар Дудаева, д. 17

Поступила в редакцию 19.05.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

На основе многолетних полевых исследований в семиаридных межгорных котловинах Северного Кавказа выявлены особенности их ландшафтной структуры и современные изменения ландшафтов, связанные с разным уровнем антропогенной нагрузки, с конца XX в. В Итум-Калинской котловине в связи с прекращением интенсивного хозяйственного использования (в основном выпаса) в начале 1990-х годов снизилась нагрузка на ландшафты и началось восстановление их биогенных компонентов. Это привело к приостановке аридизации, которую отмечали многие авторы в 1970-1980-х годы. В горно-луговостепных ландшафтах идет разрушение культурно-ландшафтных элементов (напашных террас, оросительной системы и др.). В Былымской котловине при общем снижении антропогенной нагрузки в 1990-е годы отмечается крайняя неравномерность ее распределения, что привело к деградации одних ландшафтов и улучшению состояния других. Увеличилась нагрузка на горно-степные ландшафты, постепенно трансформировавшиеся в антропогенные модификации. Наиболее сильные антропогенные нарушения отмечаются в ландшафтах на склонах северной экспозиции, которые прилегают к основной селитебно-хозяйственной зоне и используются практически круглогодично. Усиливается контрастность между ландшафтами с разным уровнем использования, главным образом за счет большей нагрузки на расположенные вблизи поселений, в то время как удаленные от них ландшафты могут не использоваться вообще.

Ключевые слова: семиаридные котловины, Северный Кавказ, трансформация землепользования, изменение ландшафтов, ландшафтная структура.
DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-32-40

Межгорные котловины Северного Кавказа, несмотря на их в целом небольшие размеры, отличаются своеобразной ландшафтной структурой, и на протяжении столетий являются историческими центрами расселения и активного хозяйственного освоения. Особо среди них выделяются среднегорные котловины, расположенные между Боковым и Скалистым хребтами в так называемой Северо-Юрской депрессии при пересечении ее речными долинами (Былымская, Верхне-Балкарская, Таргимская, Итум-Калинская, Шатойская и др.). Котловины расположены в «дождевой тени» обрамляющих их высоких хребтов и отличаются сухим и теплым климатом с большим количеством солнечных дней в году, малой снежностью и оттепелями в зимний период. В этих

[1] Работа выполнена по теме Госзадания кафедры Физической географии и ландшафтоведения МГУ «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов» (№ договора 1.8, номер ЦИТИС - 121051300176-1), а также по теме Госзадания Института географии РАН (№ 0148-2019-0007) "Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования". Часть работы выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № №075-03-2021-074/4).

условиях доминируют степные ландшафты разных подтипов в днище и на нижних частях склонов, которые выше сменяются остепненными луговыми, лесолуговыми и лесными ландшафтами, нередко образующими лесо-лугово-степной пояс (Давыдова, 1990; Грачева, Белоновская, 2010). Учитывая такую ландшафтную структуру и современное состояние ландшафтов, мы отнесли эти котловины к семиаридным, однако некоторые авторы считают их аридными, указывая на наличие в них участков с полупустынной растительностью (Головлев, 2004).

Защищенность котловин труднопроходимыми хребтами, благоприятные агроклиматические ресурсы и разнообразие ландшафтов послужили основой для расселения в них многих кавказских народов и ведения ими различных форм земледелия и животноводства, в том числе отгонного, ориентированного на собственные зимние пастбища. До 40-х годов XX века они представляли довольно плотно заселенные центры с интенсивным использованием, о чем свидетельствуют остатки поселений и широкое развитие антропогенных террас, которые сейчас практически не используются под земледелие (Соболев, 1987; Каширская и др., 2017; Колбовский и др., 2019). Во второй половине XX в. среднегорные котловины утрачивают свою роль как центров освоения, превращаются в периферию по отношению к равнинам, а в некоторых случаях, и по отношению к высокоразвитым рекреационным комплексам высокогорья, что привело к существенной трансформации в использовании земель, в том числе в результате социально-экономических перемен конца XX века. В свою очередь это отразилось и на изменении ландшафтов котловин. Поэтому изучение их современного состояния и реакции на трансформацию землепользования в условиях изменяющегося климата актуально и может стать основой для оптимизации их использования и дальнейшего развития. Тем более что котловины можно отнести к своеобразным экотонам, в которых градиенты различных факторов достигают своих критических значений (Котляков и др., 2013), и их ландшафты могут быть хорошими индикаторами изменений. Природе котловин, особенно растительному покрову, посвящено достаточно много работ (Давыдова, 1990; Грачева, Белоновская, 2010, Грачева и др., 2017), меньше публикаций по ландшафтам (Авессаломова, 2002; Головлев, 2004) и практически нет по их современному изменению в связи с трансформацией землепользования (Иванов и др., 2008). Цель данного исследования – выявление реакции ландшафтов семиаридных межгорных котловин на трансформацию землепользования за последние 30-40 лет. Одной из задач был анализ пространственной структуры ландшафтов и определение основных тенденций их изменения.

Материалы и методы

В основу статьи положены полевые исследования авторов, проводимые на Северном Кавказе, в том числе в рамках Северокавказских комплексных экспедиций 2014-2019 гг. В ходе работ было изучено 10 разных котловин, но в качестве модельных выбраны две: Былымская в Кабардино-Балкарии и Итум-Калинская в Чеченской Республике (рис. 1). Для котловин характерно разнообразное землепользование и неодинаковое изменение ландшафтов за последние десятилетия.

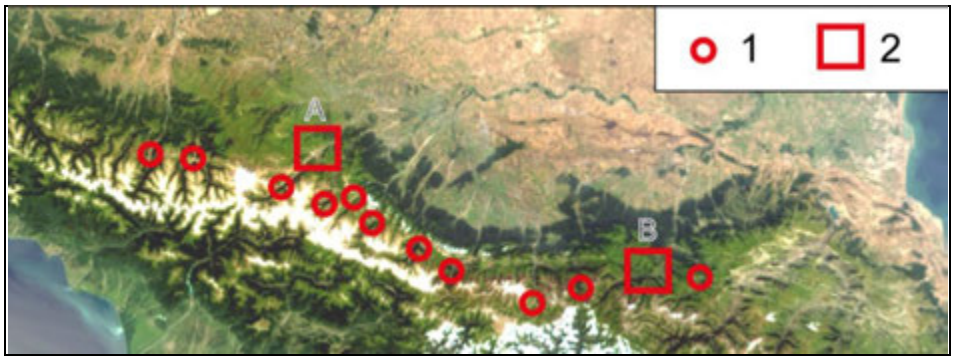

Рис. 1. Межгорные котловины на Северном Кавказе: 1 – обследованные, 2 – выбранные в качестве модельных: А – Былымская, В – Итум-Калинская.

Былымская котловина протягивается по долине р. Баксан с С-СВ на Ю-ЮЗ на 8 км между Скалистым и Боковым хр. Относительные высоты достигают почти 1800 м: от 910 м н.у.м. БС (урез

воды р. Баксан) до 2717 м м н.у.м. БС (вершина на Скалистом хр.). Южный крутой склон Скалистого хр., обращенный к котловине, в верхней части сложен известняками, которые образуют отвесный уступ до 500 м. Ниже моноклинально залегают песчаники и аргиллиты, частое чередование которых обусловливает формирование мелких асимметричных гряд, разделенных временными водотоками на отдельные массивы. Склоны хребта осложнены обвально-осыпными конусами, а днище котловины – селевыми конусами, разновозрастными террасами и поймами.

Итум-Калинская котловина расположена в расширенной части долины реки Чанты-Аргун между отрогами Скалистого хребта. Отличительная особенность котловины – наличие более пологих, террасированных склонов хребтов, сложенных глинами, аргиллитами, реже песчаниками, прорезаемых глубокими долинами временных водотоков (рис. 2).

В отличие от Былымской котловины Итум-Калинская ниже на 300 м, теплее и немного суше. Количество выпадающих осадков в нижних частях долины составляет около 350-400 мм. Вне котловины, по данным метеостанции Шатой (568 м), количество осадков достигает 600 мм.

В Былымской котловине велись регулярные полевые исследования ландшафтов и их компонентов (в первую очередь, почв и растительности) более 40 лет, в Итум-Калинской котловине – в течение последних 7 лет с использованием работ, выполненных в ней ранее (Головлев, 2004). Для выявления ландшафтной структуры котловин на них были составлены ландшафтные карты с показом видов ландшафтов. При этом использовалось крупномасштабное ландшафтное картографирование и профилирование с работой на точках комплексного описания по стандартной методике (Беручашвили, Жучкова, 1997). Особое внимание уделялось комплексам, находящимся под разным воздействием выпаса скота, огородам, велось их сравнение с фоновыми ландшафтами. В типичных комплексах отбирались укосы на определение фитомассы и пробы почв на содержание гумуса и азота. На основе анализа разногодичных полевых данных, в том числе повторных наземных снимков, работы на модельных площадках, изучения динамики использования земель за разные периоды на составленных ландшафтных картах показаны тенденции изменения землепользования с 90-х годов XX в.

Рис. 2. Итум-Калинская котловина. На склонах видны заросшие кустарником пашенные террасы.

Основными критериями изменения ландшафтов стали их пространственная структура, в первую очередь изменение границ комплексов с разной степенью трансформации, вертикальная (покомпонентная) структура и хроноструктура. Индикаторами степени трансформации ландшафтов, которые лежат в основе выделения основных тенденций изменения стал в первую очередь характер деградации почвенно-растительного покрова: I – восстановление (недоиспользование), II – снижение деградации при продолжающейся относительно слабой стравленности, III – усиление деградации (уменьшение проективного покрытия, часто фитомассы, стравленность), IV – сильное усиление деградации (снижение проективного покрытия более чем на 50%, развитие эрозии).

Результаты и обсуждение

В ландшафтной структуре Былымской котловины преобладают ландшафты горно-степного типа – сухостепного, типичностепного и луговостепного подтипов с участками петрофитных степей (рис. 3). Их формированию способствуют не только климатические особенности, но и развитие крутых, часто обрывистых склонов, сложенных песчаниками, аргиллитами и известняками. Пространственная структура ландшафтов асимметрична.

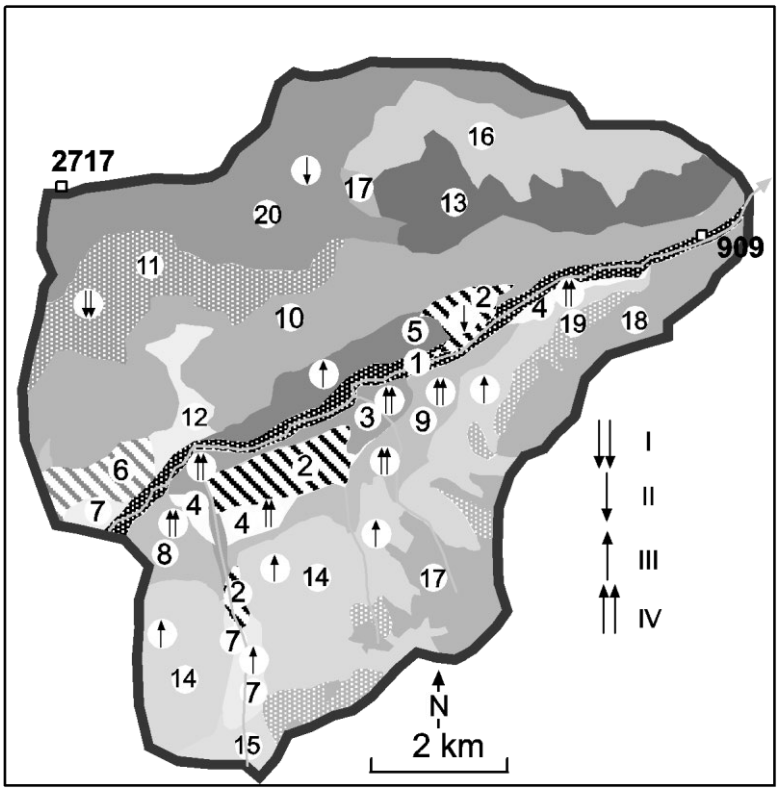

Рис. 3. Ландшафты Былымской межгорной котловины и тенденции их изменения. *Условные обозначения к рис. 3 и 4:* тренды интенсивности использования и деградации ландшафтов: I – восстановление, II – снижение деградации, III – усиление деградации, IV – сильное усиление деградации. *Легенда к карте.* Гидроморфные ландшафты: 1 – поймы с зарослями облепихи и низкие пойменные террасы с разнотравно-злаковыми лугами на дерновых почвах, преимущественно под сенокосами. Культурные ландшафты: 2 – надпойменные речные террасы и старые селевые конусы с селитьбами и дачами; 3 – надпойменные террасы и высокие поймы под огородами с капустой, орошаемыми. Горно-степные ландшафты *сухостепные*: 4 − селевые конусы с полынно-типчаковыми, осочково-шалвеево-типчаковыми степями с нагорными ксерофитами на горно-степных каштановидных почвах под круглогодичными пастбищами сильно деградированными; 5 – делювиально-пролювиальные шлейфы, наложенные на речные террасы, с полынно-типчаковыми степями, рудеральной и кустарниковой растительностью на месте стойбищ и скотопрогонов, под пастбищами; 6 – отвалы, террасированные, с облепиховыми с березой и рябиной мелколесьями, не используемые. Горно-степные ландшафты *типичностепные*: 7 – надпойменные террасы с разнотравно-злаково-типчаково-осочковыми степями, под пастбищами, деградированными; 8 – мелкогрядовые склоны, сложенные кристаллическими сланцами, с разнотравно-типчаковыми и петрофитными степями, пастбища, деградированные. Склоны С экспозиции: 9 – сложенные песчаниками, мелкогрядовые, денудационные и оползневые, с разнотравно-осочково-типчаковыми степями на горно-степных почвах под пастбищами, сильно деградированными. Склоны Ю и ЮВ экспозиции, сложенные песчаниками: 10 – ступенчатые, с ковыльно-разнотравными и петрофитными шалвеево-полынно-типчаковыми степями на горно-степных и примитивных почвах, под пастбищами, 11 – крутые, с ковыльно-осочково-типчаковыми степями на горно-степных в разной степени смытых

почвах под пастбищами (в настоящее время редко используемыми). Горно-степные ландшафты *луговостепные*: 12 – пологие склоны и днища боковых ущелий, с ковыльными степями на мощных черноземовидных почвах; 13 – склоны Ю экспозиции, сложенные известняками, с разнотравно-осочково-злаковыми луговыми степями, под пастбищами; 14 – склоны С экспозиции, ступенчатые, сложенные песчаниками, с участками древних напашных террас, с злаково-разнотравными луговыми степями под пастбищами, деградированными; 15 – склоны С экспозиции, сложенные кристаллическими сланцами, с разнотравно-злаковыми луговыми степями под пастбищами; 16 – склоны Ю экспозиции пологие, структурно-денудационные, сложенные известняками, под высокотравными разнотравно-злаковыми луговыми степями на горно-лугово-степных карбонатных почвах, под пастбищами. Горно-лесолуговые: 17 – склоны Ю экспозиции, сложенные известняками, с грабинниковыми мелколесьями на дерново-карбонатных почвах; 18 – склоны С экспозиции, сложенные песчаниками, крутые, с березовыми с примесью рябины мелко- и криволесьями; на гребнях и скалистых участках – грабинниковые с примесью дуба; 19 – склоны С экспозиции, сложенные песчаниками, с злаково-разнотравными высокотравными лугами с куртинами берез на горно-лугово-степных темноцветных почвах. Горно-луговые: 20 – склоны, крутые, местами обрывистые, сложенные известняками с остепненными лугами на горно-луговых черноземовидных почвах и примитивных почвах.

Сухостепные ландшафты занимают нижние части южных склонов и днище долины р. Баксан в ее наиболее расширенной западной части. Структура этих ландшафтов усложняется за счет появления антропогенных модификаций в связи с активной хозяйственной деятельностью. Здесь располагаются культурный ландшафт пос. Былым с многочисленными огородами, сеть дорог, стоянки и скотопрогоны, крупное хвостохранилище Тырныаузского ВМКа. Типичностепные ландшафты формируются в основном на мелких куэстовых грядах с пологими вершинами и ступенчатыми склонами, сложенными разными породами. Эти ландшафты имеют сложную внутреннюю структуру и вариабельность границ в зависимости от формы рельефа, экспозиции склонов и состава почвообразующих пород. Так для крутых склонов характерны петрофитные степи, для пологих вершин – луговые степи. На южных склонах типичностепные ландшафты с высотой сменяются луговостепными и остепненными луговыми, а также скальными ландшафтами, сложенными известняками. Границы между степными ландшафтами разных подтипов размыты. Они индицируются в основном по мощности и структуре почв. На северных склонах примерно с высоты 1600 м н.у.м. БС развиты вторичные лесо-луговые ландшафты с послелесными лугами и фрагментами лесов. Леса являются остатками былого широколиственного пояса, имевшего большее распространение на высотах, которые ныне соответствуют верхним частям горных лугостепей. Восстановлению древесных пород здесь мешает выпас, а также значительно изменившийся почвенный покров, частично смытый, частично эродированный. Для поймы р. Баксан и крупных ее притоков характерны гидроморфные ландшафты.

Землепользование в Былымской котловине сильно изменилось за последние 30 лет. Если до 90-х годов XX в. на днище котловины наряду с приусадебными огородами и садами существовали колхозные поля и сады, то в настоящее время на их месте появились, значительно увеличив площади, частные огороды, используемые под капусту.

Резко возросло и поголовье частного скота, который выпасается практически круглогодично на присельских пастбищах. Большое количество скота, в основном овец, не обеспечено землями в районе села, для чего арендуются высокогорные пастбища в соседнем Зольском районе. Выпас частного скота на горных степных пастбищах привел к увеличению площади деградированных земель вблизи селения. Возросла тропинчатость склонов, усилились эрозия и плоскостной смыв, появились микроселевые конусы, а на участках, сложенных аргиллитами, новые оползни. Отмечается расширение площади с петрофитной растительностью с доминированием шалфея серебристого (*Salvia canescens*[2]), колючего астрагала (*Astragalus aureus*). Господство в разных ландшафтах устойчивых к выпасу типчака (*Festuca valesiaca*), низкой осоки (*Carex humilis*), сорных и непоедаемых видов свидетельствует о длительном использовании степных фитоценозов под выпас.

[2] Латинские названия растений приводятся по работе С.К.Черепанова (1995).

Расширились площади сухих степей за счет интенсивного выпаса в типичных степях, в которых аспект создавал ковыль (*Stipa pennata),* тонконог (*Koeleria gracilis*), тимофеевка (*Phleum pratensis*). Стали шире использоваться под выпас крупного рогатого скота бывшие луговые сенокосы, что привело к сокращению или выпадению некоторых видов, например, шпажника (*Gladíolus ténuis*), девясила британского (*Inula britannica*), эспарцета (*Onobrychis petraea*), снижению высоты травостоя (с 40-55 см до 30-35 см) и надземной фитомассы в 1.5-2 раза.

Однако следует отметить некоторое улучшение состояния луговостепных ландшафтов на левобережье р. Баксан в связи с сокращением выпаса. Идет формирование почвенно-растительного покрова на террасах хвостохранилища (Чаадаева и др., 2020), что снижает риск развеивания тонкой фракции отходов, которые ранее были источником загрязнения близлежащих степных ландшафтов, в том числе пастбищ (Авессаломова, 2002).

В целом, хозяйственная деятельность резко усилила контрастность ландшафтов днища долины, занятого под выращивание капусты, и склонов разных экспозиций.

Для ландшафтной структуры Итум-Калинской котловины характерны схожие типы ландшафтов, которые формируются на аргиллитах, алевролитах, глинах и песчаниках (рис. 4). Типичностепные, местами сухостепные ландшафты занимают днище и часть крутых склонов южной экспозиции. На высотах 1600-1800 (2000) м н.у.м. БС развиты луговые степи. Именно к этим высотам приурочены основные ареалы древнего расселения. Выше формируется горно-лесолуговостепной пояс с фрагментами горно-лесолуговых и горно-лесных ландшафтов с грабово-дубовыми лесами и мелколесьями.

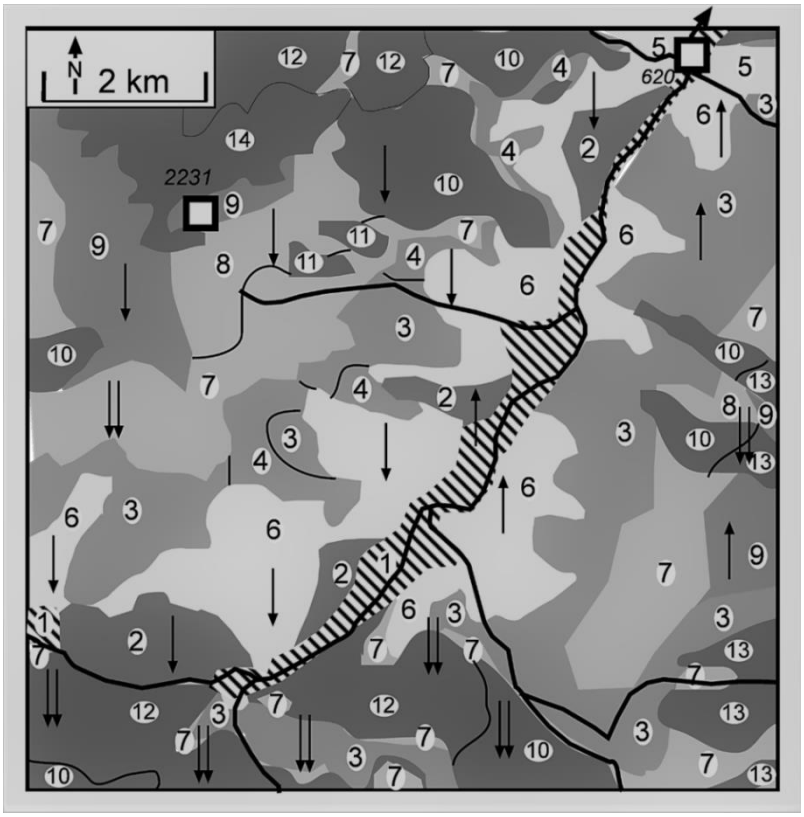

Рис. 4. Ландшафты Итум-Калинской межгорной котловины и тенденции их использования. *Условные обозначения:* стрелками показаны тенденции деградации (см. рис. 2). *Легенда к карте.* Горно-степные ландшафты: *степные и сухостепные* на горно-степных маломощных почвах: 1 – днища с комплексом речных пойменных террас и делювиальных шлейфов, 2 – склоны Ю экспозиции, крутые, с полынно-разнотравно-злаковыми с шиповником степями; *лугостепные* окультуренные на горно-лугостепных почвах: 3 – надпойменные террасы и пологие склоны, с бобово-разнотравно-злаковыми с шиповником, местами высокотравными, реже сбитыми и сорнотравными лугостепями; 4 – склоны покатые с высокотравными лугостепями, местами с куртинами орешника, боярышника, алычи;

кустарниковые: 5 – склоны, сложенные известковистыми породами, с разнотравно-злаковыми пестроовсяницевыми сбитыми степями на щебнистых почвах, 6 – склоны, сложенные флишевыми отложениями из аргиллитов и алевролитов, местами пролювиально-аллювиальными отложениями, с злаково-разнотравно-клеверовой сильно сбитой, местами бобово-полынно-злаковой степью с шиповником на маломощных смытых почвах, на окультуренных террасах со следами полива – на мощных почвах. Горно-лесолуговостепные *кустарниковые* с горно-лесолуговыми и лугово-степными черноземовидными почвами под пастбищно-сенокосным использованием: 7 – нижние части склонов, часто искусственно террасированные, речные надпойменные террасы, с разнотравно-злаковыми, местами крупнотравными и кустарниковыми лугостепями и мелколесьями из граба, клена, боярышника, реже с березовыми мелколесьями и сосновыми парковыми вейниковыми лесами на черноземовидных с мощным гумусовым горизонтом почвах, 8 – относительно крутые склоны, с разнотравно-злаковыми закустаренными лугостепями и куртинами мелколесья из орешника, граба, клена, боярышника, реже с березовыми мелколесьями и зарослями азалии; *горно-лесолуговые*: 9 – пологие приводораздельные, ступенчатые, с выходом грунтовых вод, с фрагментами березового мелколесья с ивой, реже с парковыми злаково-папоротниковыми и вейниковыми березняками, местами злаково-разнотравно-осоковыми с чемерицей лугами, сбитыми. Горнолесные на буроземах с *широколиственными и смешанными лесами:* 10 – крутые склоны северной экспозиции с ольховыми и ольхово-грабово-орешниковыми мелколесьями, 11 – крутые склоны южной экспозиции с грабово-дубовыми мелколесьями, 12 – покатые склоны северной экспозиции с грабово-дубовыми с примесью липы и ольхи лесами, 13 – покатые склоны южной экспозиции с грабово-березовыми с примесью дуба лесами; м*елколиственных и мелколиственно-хвойных лесов*: 14 –относительно пологие склоны, преимущественно северной экспозиции, под березовыми, местами осиновыми мелколесьями.

Горно-луговые ландшафты в районе котловины отсутствуют вследствие летней сухости и частых фенов в зимнее время. Отличительной особенностью склонов котловины является обилие древних земледельческих террас, которые в настоящее время используются под сенокосы и выпас скота. Своеобразие ландшафтов котловины также в появлении шибляка, сочетающегося со степными сообществами и трагакантниками, для которых типичен астрагал (*Astragalus denudata*). Шибляк представлен средиземноморскими видами кустарников и деревьев − держи-дерево (*Paliurus spina-christi*), сумах кожевенный (*Cotinus coggygria*), пузырник восточный (*Colutea orientalis*), каркас (*Celtis glabrata*) и некоторые другие, которые не встречаются в Былымской котловине.

Для современного землепользования в Итум-Калинской котловине характерно фрагментарное использование пастбищ на склонах и огородов на днище. Однако послевоенное восстановление идет большими темпами и население активно вовлекается в реосвоение заброшенных во время Чеченской войны угодий. Основными типами использования земель здесь являются: 1) огородничество и сенокошение в днище и на прилегающих террасированных склонах, частично с орошением; 2) выпас на круглогодичных пастбищах вблизи селений (крупный рогатый скот и овцы, принадлежащие местному населению); 3) отгонно-пастбищное животноводство (в основном овцы, пригоняемые с равнины на летние пастбища).

В ходе исследований выявлена разная реакция ландшафтов семиаридных межгорных котловин на современные изменения в использовании земель (табл.).

Как видно из таблицы, ландшафты Былымской межгорной котловины испытывают больший антропогенный пресс, особенно, на участках, прилегающих к селению. Здесь отмечается деградация почвенно-растительного покрова вследствие нерегулируемого выпаса в зимне-весенний период. Остальная же часть территории используется экстенсивно или не используется вообще (удаленные от селения участки). На интенсивно используемых под капусту полях наблюдается снижение плодородия. Как показали результаты обработки почвенных образцов, содержание гумуса в верхнем горизонте почв (0-5 см) под капустой составляет всего 2.4-3.2%, снижаясь на глубине в 15-20 см до 1%. На рядом расположенных сенокосах на тех же глубинах его содержание плавно снижается от 3.9-4% до 3.1-3.2%. Это связано с интенсивным вымыванием гумуса в результате поливов. Содержание аммиачного азота практически повторяет те же закономерности, что и распределение гумуса. Лучшее соотношение гумуса и азота в почвах под сенокосами связано с чередованием выпаса после сенокошения по отаве.

Таблица. Реакция различных типов ландшафтной структуры на современные изменения.

Ландшафтная структура	Показатель	Былымская межгорная котловина	Итум-Калинская межгорная котловина
Пространственно-морфологическая структура	Структура землепользования: соотношение природных, квазиприродных и антропогенных ареалов	Поляризация «чисто» природных и антропогенно-измененных ареалов при уменьшении площади природных ландшафтов, примыкающих к селитьбам	Небольшое увеличение природных и квазиприродных ареалов на склонах
	Контурность, выраженность ландшафтных границ	Увеличение контурности (раздробленности) ареалов с разным уровнем антропогенной деградации	Снижение контурности, постепенный переход между ландшафтами
Вертикально-компонентная структура	Регулирование интенсивности природных биохимических циклов	Злоупотребление внесением удобрения и поливом на отдельных участках с монокультурами (капуста)	Общее снижение количества вносимых удобрений и почти полное прекращение полива во многих ареалах
	Биоразнообразие	Снижение биоразнообразия на прилегающих к селениям участках	Повышение биоразнообразия в большинстве ландшафтов
Временная структура	Вписанность в сезонный и многолетний режимы функционирования ландшафтов	В ряде случаев пренебрежение сезонным и многолетним режимом функционирования ландшафтов	Учет лишь наиболее значимых временных границ

Ландшафты Итум-Калинской межгорной котловины, наоборот, слабо еще используются на фоне поствоенного восстановления горного хозяйства. Следует заметить, что террасовые комплексы на склонах северной экспозиции, ранее используемые под пашню и сенокосы, зарастают кустарниками и разрушаются.

Выводы

Изученные семиаридные межгорные котловины отличаются от соседних территорий своеобразной ландшафтной структурой с микропоясностью и асимметричностью в распределении основных типов и подтипов ландшафтов с преобладанием степных. Современные изменения ландшафтов в них связаны с разным уровнем антропогенной нагрузки. В Итум-Калинской котловине интенсивное хозяйственное использование (в основном выпас) прекратилось в начале 1990-х годов. В результате снизилась нагрузка, аридизация, которую отмечали многие авторы в 1970-1980-х годов, приостановилась, многие ландшафты начали восстанавливаться.

В Былымской котловине общее снижение антропогенной нагрузки в 1990-е годы характеризуется крайней неравномерностью, что привело к деградации одних ландшафтов и снижению нагрузки на другие. Возросла нагрузка на горно-степные и лугостепные ландшафты, с чем связано увеличение в них антропогенно-модифицированных комплексов. Наиболее сильные нарушения фиксируются в ландшафтах на склонах северной экспозиции, близлежащих к основной селитебно-хозяйственной зоне, которые используются практически круглогодично, что усиливает контрастность между этими ландшафтами и пространственно удаленными, которые практически не используются.

Важную роль в использовании земель имеют земельные отношения, в особенности, права частной собственности. В Кабардино-Балкарии вместо института частной собственности на сельхозугодия преобладает аренда. Передача земель, занимаемых под капусту, в аренду неэффективна, т.к. хозяева не уверены в том, что их участки останутся у них и на следующий год.

Для «выжимания» из земельных наделов максимума выгоды широко используются удобрения и ядохимикаты, которые приводят к загрязнению почвы и возможному попаданию загрязнителей после полива в воды, что требует дополнительного изучения. Здесь и речи не может быть об «экологическом» земледелии, к которому следует стремиться.

В Итум-Калинской котловине, наоборот, многие земли давно уже имели своих хозяев в рамках обычного права. Однако неблагоприятная рыночная конъюнктура и отсутствие средств на техническое обеспечение не позволяют использовать земли в полную силу. В результате поля забрасываются или переводятся в экстенсивное использование. С экологической точки зрения, это положительный факт. Но монокультурное (только пастбищное или только сенокосное) использование также грозит своими неблагоприятными последствиями. Так, горно-лугово-степные ландшафты характеризуются разрушением культурно-ландшафтных элементов (напашных террас, уничтожение оросительной системы и др.).

В обоих случаях в результате снижения роли государственного регулирования и нарушения годами сложившегося отгонно-пастбищного режима использования пастбищ ухудшается состояние пастбищ около селений, которые имеют практически круглогодичный выпас.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авессаломова И.А. 2002. Биогеохимические особенности семиаридных котловин Центрального Кавказа (на примере Былымской котловины) // Геохимия ландшафтов и география почв. Смоленск: Ойкумена. С. 121-136.

Грачева Р.Г., Белоновская Е.А., Виноградова В.В., Шоркунов И.Г. 2017. Конвергенция растительного покрова и почв постагрогенных экосистем межгорных котловин Центрального Кавказа // Известия РАН. Серия географическая. № 6. С. 103-113.

Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. 1997. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Издательство МГУ. 320 с.

Головлев А.А. 2004. Ландшафты аридных котловин Северного Кавказа: пространственная дифференциация и охрана (на примере Чечни и Ингушетии) // Бюллетень Самарская Лука. № 4. С. 137-145.

Грачева Р.Г., Белоновская Е.А. 2010. Современное состояние пасторальных экосистем Центрального Кавказа // Известия РАН. Серия географическая. № 1. С. 90-102.

Давыдова М.В. 1990. Степи межгорных котловин Северного Кавказа и их продуктивность // Биота экосистем Большого Кавказа. М.: Наука. С. 84-98.

Иванов П.М., Гуня А.Н., Машкова Р.А. 2008. Комплексная оценка и перспективы освоения природно-ресурсного потенциала горного региона. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 133 с.

Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Ходжаева А.К., Борисов А.В. 2017. Биологическая активность горных антропогенных почв средневековых земледельческих террас горного Дагестана // Аридные экосистемы. Т. 23. № 1 (70). С. 5-16. [*Kashirskaya N.N., Chernisheva E.V., Khodzaeva A.K., Borisov A.V.* 2017. Biological activity of anthropogenic mountain soils of medieval agricultural terraces of mountainous Dagestan // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 1. P. 1-10.]

Колбовский Е.Ю., Петрушина М.Н., Петров Л.А., Гагаева З.Ш. 2019. Культурные ландшафты гор Северного Кавказа: подходы к исследованию, реконструкции и сохранению // Устойчивое развитие горных территорий. Т. 11. № 3 (41). С. 397-412.

Котляков В.М., Гуня А.Н., Грачева Р.А. 2013. Тенденции развития ландшафтов Северного Кавказа в условиях меняющегося климата и социально-экономических трансформаций // Материалы I Кавказского международного экологического форума. Грозный: Издательство Чеченского госуниверситета. С. 192-202.

Соболев С.И. 1987. Ороклиматические особенности внутригорных котловин Большого Кавказа и перспективы их рационального использования // Трансформация горных экосистем Большого Кавказа под влиянием хозяйственной деятельности. М.: ИГ АН СССР. С. 104-127.

Чаадаева В.А., Цепкова Н.Л., Жашуев А.Ж. 2020. Многолетняя динамика восстановления растительности техногенных ландшафтов Былымской аридной котловины (Центральный Кавказ) // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 (85). С. 127-135. [*Chadaeva V.A., Tsepkova N.L., Zhashuev A.Zh.* 2020. Long-term Dynamics of Vegetation Restoration in the Technogenic Landscapes of the Bylym Arid Depression (Central Caucasus) // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 368-375.]

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья. 992 с.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 41-49

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*УДК 630*91; 630*232.22*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНОГО ИНДЕКСА НАРУШЕННОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ОТ ЛЕСНЫХ ДЕРЕВЕНЬ В ПОЛУАРИДНОЙ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ЗАПАДНОЙ ИНДИИ

© 2021 г. В. Расал, М. Дхакад, Д. Кхандал

Служба Наблюдения за тиграми
Индия, 322001, Раджастан, Местное отделение, Ферма Маа, Рантамбхор-роуд, Пост Хилчипур, Округ Савай Мадхопур
E-mail: rasalvishal090@gmail.com, dhakad13@gmail.com, dharamkhandal@gmail.com

Поступила в редакцию 17.01.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Существование людей, живущих на лесных территориях и вокруг них, в значительной степени зависит от леса. Заповедник Кайладеви − важное место, необходимое для сохранения популяции тигров в полуаридной западной Индии. Люди на территории заповедника и их домашний скот оказывают антропогенное давление на окружающую среду. Понимание природы этого давления необходимо, чтобы смягчить его, уменьшить негативное взаимодействий в системе человек-природа и улучшить среду обитания для диких животных. Антропогенные нарушения, вызванные 12 анклавами деревень внутри Кайладеви, были измерены с использованием кумулятивного индекса нарушенности (CDI). Выпас скота и вырубка древесины оказались наиболее серьезными факторами нагрузки в регионе заповедника. Результаты исследования будут способствовать разработке стратегии по улучшению качества среды обитания диких животных в местных лесах.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, кумулятивный индекс нарушенности (CDI), заповедник Кайладеви, Индия.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-41-49

Лес является источником множества экологических, социальных и экономических благ для человеческого общества. Почти миллиард людей во всем мире живет в лесу или вокруг него и полностью от него зависит (FAO ..., 2020). Когда население таких сообществ ограничено, их воздействие на лес может быть поправимым (Mukul et al., 2016; Newton et al., 2016). Кроме того, из-за удаленности территории и из-за законов, регулирующих охраняемые территории, трудно обеспечить местное население базовыми объектами здравоохранения, образования и санации (Karanth et al., 2012).

Заповедник Кайладеви − важная охраняемая область в западной Индии (рис. 1). Доисторические наскальные рисунки на его территории указывают на долгую историю человеческих поселений в данном районе. Записи о местных доходах отслеживают существование постоянных деревень в заповеднике вплоть до начала XVIII века (Das, 2011; Ranthambhore ..., 2015). С годами популяция людей в Кайладеви увеличилась. В 2001 году в рамках проекта «Tiger» здесь было зарегистрировано 52730 голов скота и 11 тыс. человек. Перепись 2018 года зафиксировала 66 деревень/поселений (рис. 2), в которых проживало 19179 человек. В непосредственной близости от этих деревень насчитывалось 73032 домашнего скота и 5090 диких коров. Во время муссонов и зимних периодов люди, чье существование зависит от агрокультуры и пастбищ, создали 59 временных стойбищ с 32508 головами скота (Reddy, 2008; Ranthambhore ..., 2015). Заповедник Кайладеви является их единственным источником корма для домашних животных, древесины для топлива и домашнего использования, но интенсивная добыча этих ресурсов привела к деградации среды обитания диких животных. Поэтому существует огромная необходимость уменьшить эту антропогенную нагрузку, чтобы обеспечить полноценную среду обитания (Walker et al., 2012; Jhala et al., 2019).

С 2007 года в Индии действует политика добровольного переселения и реабилитации сообществ, поселившихся на охраняемых территориях (Dash, Behera, 2018). Это длительный процесс, который

может занять десятилетия и потребовать значительных финансовых затрат (Harihar et al., 2014; Jain, Sajjad, 2016). Оценка антропогенной нарушенности полезна при разработке стратегий по снижению антропогенной нагрузки на лес и снижению негативного воздействия человека на дикую природу.

Чтобы определить уровень нарушенности, вызванной человеческими поселениями, мы исследовали 12 деревень внутри Кайладеви,.

Рис. 1. Расположение заповедника Кайладеви в западной Индии.

Материалы и методы

Территория исследования. Заповедник Кайладеви в западной Индии расположен на пересечении хребтов Виндхья и Аравали. Он занимает 672.82 км^2, из которых 401.63 км^2 являются частью местообитания тигров в Тигрином заповеднике Рантхамбор (Ranthambhore ..., 2015). Рельеф Кайладеви − это плоские плато, пересеченные глубокими ущельями, с тропическими лиственными, в основном сухими, лесами (Champion, Seth, 1968). Леса в долине − смешанные лиственные, поскольку влажность там более устойчивая, а температуры ниже. Кайладеви является домом для множества видов млекопитающих, включая крупных плотоядных, таких как *Panthera tigris* L., 1758 (тигр), *Panthera pardus* L., 1758 (леопард) и *Canis lupus* L., 1758 (волк; Rasal et al., 2021).

Заповедник Кайладеви − это важная среда обитания для растущей популяции тигров в заповеднике Рантхамбор. Кайладеви включает в себя большие населенные пункты, пахотные земли и загоны для домашних животных. На рисунке 3 изображено землепользование и земельный покров его территории. Из-за огромной антропогенной нагрузки местная природа сильно деградировала, а естественная кормовая база тигров оскуднела. Недавние исследования охарактеризовали Кайладеви как «пустой лес» (Singh, Reddy, 2016; Shah et al., 2015; Jhala et al., 2019).

Управляющие лесных хозяйств нуждаются в данных о характере и масштабах существующей проблемы, чтобы разрабатывать стратегии по снижению антропогенной нагрузки на лес. Поэтому

наше исследование было проведено с целью классификации и количественной оценки антропогенного воздействия, которое оказывают 12 деревенских анклавов внутри Кайладеви.

Кумулятивный индекс нарушенности (CDI) − это очень полезный в работе метод, легкодоступный исследователям в полевых условиях, необходимый для количественной оценки уровня нарушенности, вызванной антропогенными факторами (Dhyani et al., 2020; Tadwalker et al., 2012). С помощью этого индекса N.A. Al-Sagheer с соавторами (2009), M.D. Tadwalkar с соавторами (2012) и X. Vachana с соавторами (2015) изучали антропогенную нагрузку в разных типах лесов.

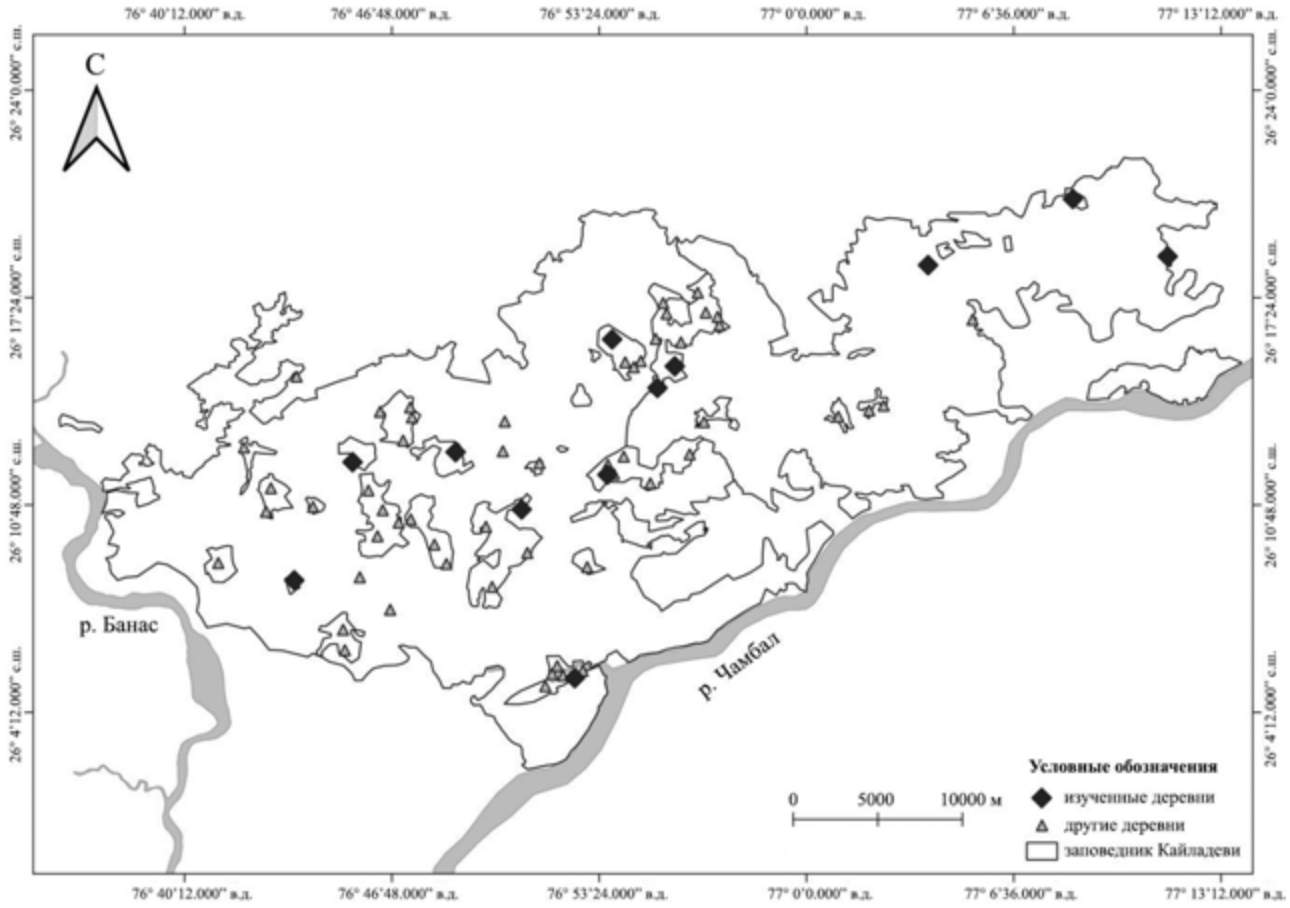

Рис. 2. Деревни и поселения в заповеднике Кайладеви.

Мы провели интервью с ключевыми информаторами, а также устроили обсуждения в фокус-группах, чтобы понять зависимость местных сообществ от лесов (Morgan, 1996; Stewart, Shamdasani, 2014). На основе полученной информации для оценки CDI мы выбрали следующие индикаторы нарушенности: 1) выпас скота, 2) заготовка древесины и дров, 3) обрезка сучков и верхушек, 4) пожары, 5) влияние инвазивных видов, 6) другие нарушения (загрязнение пластиком и прочими неразлагающимися отходами).

Каждому индикатору был присвоен бал нарушенности − от 1 до 4 в зависимости от степени их влияния. Такой метод был предложен M.D. Tadwalkar с соавторами (2012) и X. Vachana с соавторами (2015): 1 − слабое воздействие, т.е. без специального наблюдения оно может остаться незамеченным; 2 − умеренное, т.е. видимое, но не является угрожающим для окружающей среды; 3 − сильное, т.е. угрожает существованию вида и вызывает сильную деградацию среды; 4 − очень сильное, т.е. естественное состояние среды полностью утрачено.

Все обследованные деревни имеют относительно равнинный рельеф. Они расположены на расстоянии не менее 3 км от других поселений или разделены такими преградами, как долины или крутые холмы, чтобы мы могли избежать их влияния друг на друга. Не имея в своем распоряжении карт с границами деревень, мы отсчитывали границу от дома или фермы, который более прочих

удален от центра поселения, а начальную точку трансекты размещали в 10 м от него. Случайным образом мы заложили на периферии деревень по 3 линии трансекты, расходящиеся от центра каждой деревни (рис. 4). Общая длина каждой линии трансекты составила 1500 м. Квадраты размером 20х20 м были размещены вдоль линий на расстоянии 300 м. Два геодезиста прошли вдоль каждой линии и зафиксировали факторы нарушенности внутри квадратов, затем сделали это еще раз, чтобы свести ошибки наблюдений к минимуму. Кумулятивный индекс нарушенности был рассчитан путем сложения значений для всех 6 переменных (Vachana et al., 2015). Наблюдение за трансектами проводились в феврале, чтобы избежать влияния муссонов и сильной летней жары. Такая же трансекта с 18 контрольными квадратами нетронутого леса была заложена в заповеднике Кайладеви.

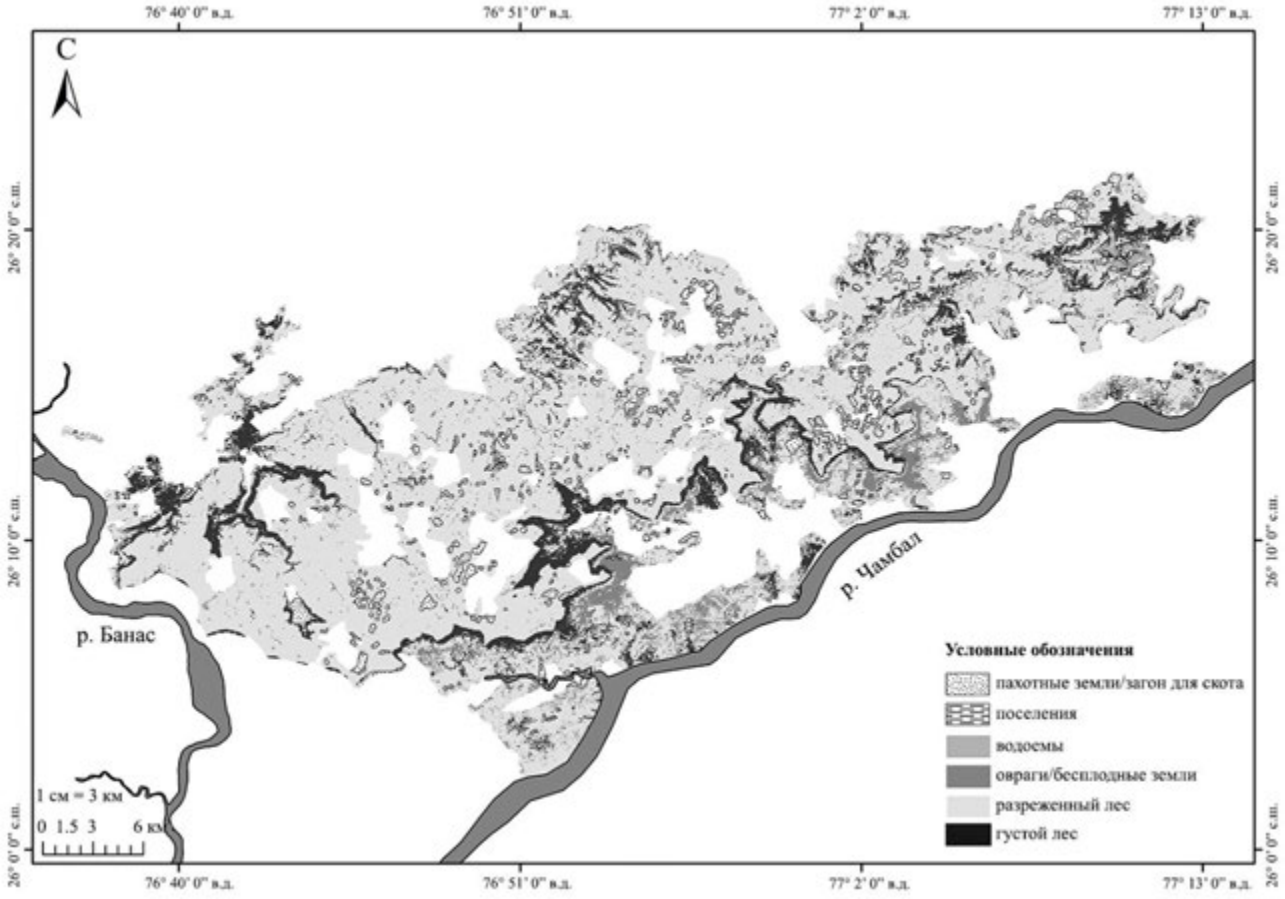

Рис. 3. Карта землепользования и земляного покрова в заповеднике Кайладеви.

Результаты и обсуждение

Социально-экономический опрос показал, что существование людей в заповеднике Кайладеви сильно зависит от домашнего скота. При наличии «бесплатной» кормовой базы в лесу поголовье скота разрастается до огромных объемов с низкой молочной продуктивностью. Корма, древесина и другие природные ресурсы заповедника необходимы для обеспечения выживания местных людей.

Мы установили, что из 6 изученных параметров наиболее критическими являются заготовка корма, заготовка леса и обрезка сучков и верхушек. Наиболее сильная нарушенность (среднее значение − 16.11) зафиксировано в непосредственной близости от деревень, но плавно снижается по мере увеличения расстояния до них (индекс нарушенности в 1.5 км составил 14.11; рис. 5). Нарушенность в непосредственной близости от деревень − в четыре раза выше, чем на контрольных участках, где средний индекс нарушенности составил 4.83 (табл. 1).

Выпас. Поголовье скота в изученных деревнях в 1.5 раза превышало численность человеческого населения. Пища для домашнего скота добывается исключительно в самом заповеднике. Сообщалось, что пастбищная нагрузка крайне высока уже в 1500 м от деревни (средний CDI − от 3.49 на 0-300 м до

3.43 на 1200-1500 м; рис. 5).

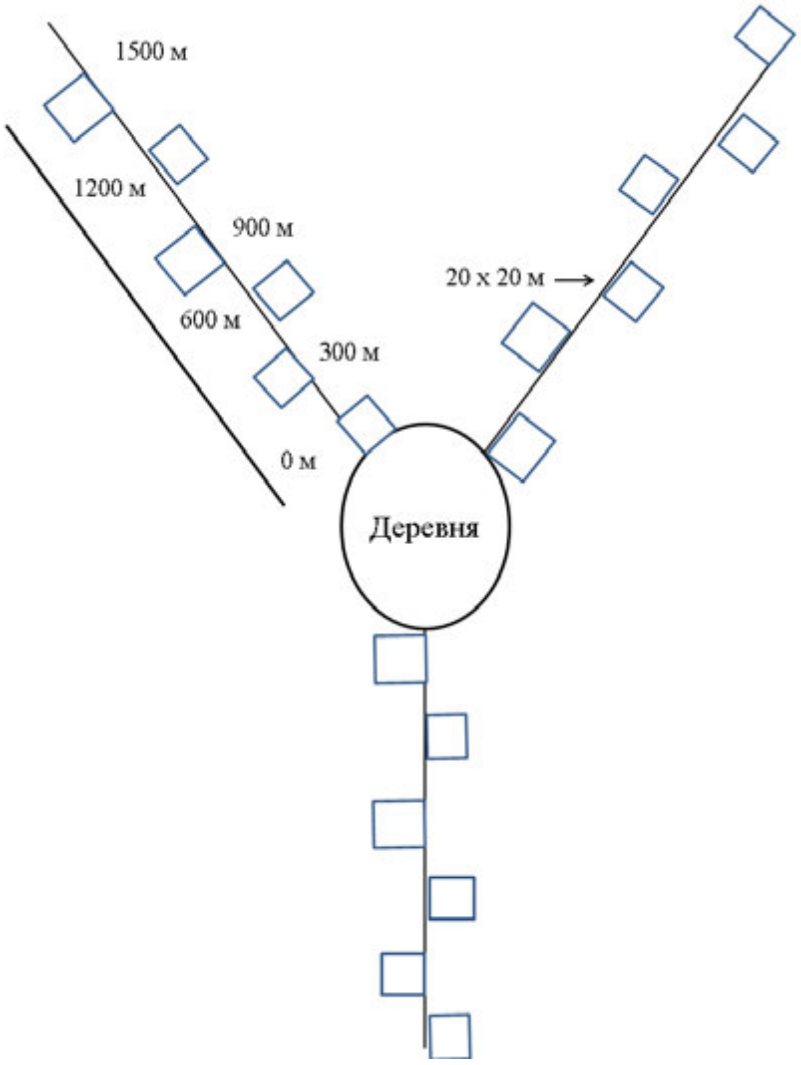

Рис. 4. Графическое изображение трансект, заложенных для исследования.

Животноводство также требует добычи древесины в качестве топлива. При отсутствии предприятий по переработке и хранению молока оно перерабатывается в топленое масло (гхи) и сгущенное молоко (маву). Оба этих процесса требуют большого количества дерева на растопку (Rasal et al., 2021).

Добыча древесины также оказалась очень высокой. Оценка CDI по ее добыче варьировала от 3.24 (до 300 м) до 3.04 (до 1500 км). Крупные деревья добываются в качестве топлива, а мелкие − для домашнего использования.

CDI для вырубки составил 3.1 в непосредственной близости от деревень и 2.63 в 1.5 км от них (рис. 5). Кустарники и небольшие ветки обрезаются в корм для коз, а также для строительства ограждений, изготовления рукояток для инструментов и пр. *Anogeissus pendula* Edgew распространено по заповеднику Кайладеви более прочих и является хорошим источником корма для животных. Поэтому большинство *A. pendula* вокруг деревень вырубают вплоть до того, что деревья вырождаются до состояния маленьких кустарников.

Инвазивные виды. Нарушенная среда обитания благоприятна для роста инвазивных видов растений (Tooker et al., 2020). Во время нашего исследования чаще прочих встречались *Senna tora* (L.) Roxb. и *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. CDI для инвазивных видов составил 2.88 рядом с деревнями и 2.61 в 1.5 км от них (рис. 5).

Прочие факторы. Значения нарушенности от сбора грунта и пород, а также от отложения отходов

оказались крайне низкими (рис. 5). Это может быть связано с экономными домашними хозяйствами, которые представляют собой небольшие общины, которые почти не контактируют с внешним миром.

Таблица 1. Расчет CDI для контрольных площадок в заповеднике Кайладеви, вблизи деревень.

Квадрат	Индекс
Q1	4.909333
Q2	4.972364
Q3	5.368
Q4	5.516
Q5	5.048
Q6	5.632696
Q7	4.2736
Q8	4.84
Q9	4.750857
Q10	4.466
Q11	4.408
Q12	4.98637
Q13	4.632
Q14	4.502737
Q15	4.916
Q16	5.082667
Q17	4.38637
Q18	4.309333
	4.833352

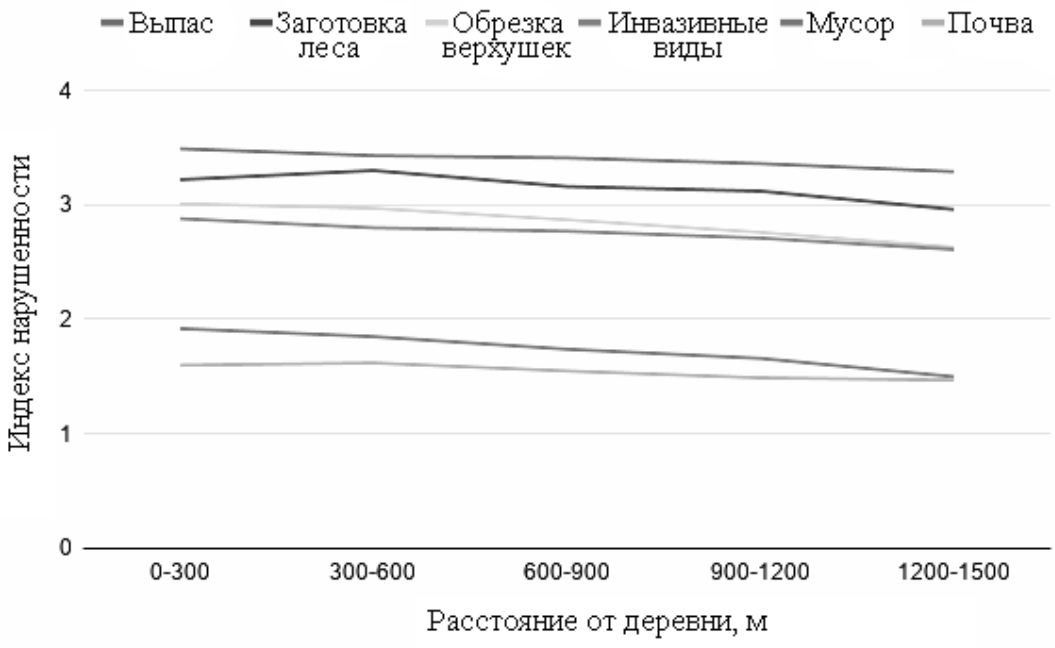

Рис. 5. Расстояние от деревни и сравнительные изменения в значениях индекса нарушенности.

Данное исследование выявило большую положительную корреляцию (r=0.64) между деревенским населением и индексом нарушенности. Лесная зона вокруг деревень сильно нарушена. Мы установили, что деревня Найнияки (Nainiyaki) является самым большим источником нарушений − CDI=18.58. В ней также проживает наибольшее население. Деревня Кудка (Kudka) оказывает наименьшую нагрузку на лес − CDI=11.83. Население в Учи Гуади (Uchi Guadi) ниже, чем в Кудке, но при этом оказывает больше нагрузки на лес из-за более высокого поголовья скота (табл. 2).

Таблица 2. Индекс нарушенности по деревням.

№	Название деревни	Условные единицы поголовья скота	Население	Условные единицы поголовья скота на человека	CDI
1	Nidhar	530.6	158	3.35	17.96
2	Nibhera	653.7	435	1.50	16.47
3	Nainiyaki	451.2	1340	0.33	18.58
4	Maramada	538.2	359	1.49	17.05
5	Guraja	441.6	158	2.79	14.68
6	Kurat Ki	665.9	115	5.7	13.54
7	Raiveli	122.5	303	0.40	14.29
8	Sankada	951.9	207	4.59	13.84
9	Gota	135.5	242	0.55	16.93
10	Kudaka	376.8	70	5.38	11.83
11	UchiGuadi	414	27	15.33	12.55
12	Khijura	275.1	220	1.25	13.29

Примечания к таблице 2. По методологии, предложенной M. Singh с соавторами (2019), кормопроизводство рассчитывается, как сухая масса. Ежедневный объем корма, необходимый одной условной единице, составляет 2.5 кг сухой массы на 100 кг животного. Таким образом, для одной единицы весом около 250 кг ежедневный объем корма составляет 6.5 кг (табл. 3).

Охраняемые области в Индии важны для защиты дикой природы и обеспечения экосистемных услуг для благополучия человеческого сообщества. Люди, живущие в непосредственной близости от охраняемых территорий, сильно от них зависят (Ninan, Kontoleon, 2016; Johnson et al., 2018). Рост населения в заповеднике Кайладеви вызвал неустойчивую антропогенную нагрузку на лес. И хотя отрицательный эффект от усиления этой нагрузки хорошо задокументирован (Shahabuddin, Kumar, 2006; Aderinto et al., 2020), на каждой охраняемой территории за нее отвечают разные антропогенные факторы. Выявление и количественная оценка этих факторов является первым шагом к стабильному управлению лесными ресурсами.

Таблица 3. Расчет условных единиц поголовья скота для разных типов животных.

Тип животных	Условная единица поголовья
1 корова	1
1 лошадь	1
1 верблюд	1
1 овца	0.1
1 коза	0.1
1 теленок	0.7

Данное исследование помогло выяснить, что выпас и вырубка древесины − это самые главные факторы, которые являются причиной деградации лесов в заповеднике Кайладеви. Чрезмерная

добыча биомассы приводит к выпадению леса, постепенно превращая его в кустарниковые заросли, а в конечном счете − в пустошь. Полуаридные районы, такие как заповедник Кайладеви, сильнее прочего подвержены такой деградации (Valentine et al., 2020). Помимо деградации среды обитания, в ближайшем будущем это выльется в серьезные последствия для жизнеобеспечения региона. Однако нецелесообразно полностью запрещать такую деятельность, поскольку люди в заповеднике зависят от леса.

По результатам нашего исследования мы предлагаем некоторые рекомендации для снижения антропогенной нагрузки и улучшения окружающей среды в заповеднике.

Выводы

Охрана природы в местах, где преобладает человеческое население, − это долгий и сложный процесс. Для снижения нагрузки от выпаса скота и добычи древесины мы рекомендуем следующие меры.

Низкую продуктивность поголовья скота компенсирует его высокая численность. Для сокращения поголовья необходимы программы по улучшению породы и использование таких научных подходов, как искусственное осеменение. Продвижение и финансирование выращивания кормовых культур также уменьшит зависимость домашнего скота от леса. Чтобы сократить и контролировать поголовье одичавшего скота, всех диких быков следует стерилизовать.

Уменьшение нагрузки от вырубок. Хотя добыча древесины в заповеднике запрещена в любом виде, местные жители все равно вырубают мелкие деревья и заготавливают дрова. Огромное количество дров используется для изготовления сгущенного молока (мава) и топленого масла (гхи). Наши исследования рекомендуют разработать программу для сбора и переработки молока в фермерских хозяйствах, чтобы сократить потребление древесины. Использование сжиженного нефтяного газа и эффективных печей (чулха) уменьшит зависимость людей от древесного топлива. Необходимо принять меры по улучшению нарушенных пастбищ, почв и экономии воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Aderinto R.F., Anoruo A.O., Machen R., Turner B.L. 2020. Can the Tragedy of the Commons be Avoided in Common-Pool Forage Resource Systems? An Application to Small-Holder Herding in the Semi-Arid Grazing Lands of Nigeria // Sustainability. Vol. 12. No. 15. P. 5947-5976.

Al-Sagheer N.A., Prasad A.D., Prakash N.A. 2009. Impact of anthropogenic pressures on forest structure and species composition of moist deciduous forest in Thithimathi Range of Western Ghats, India // The International Journal of Applied Agricultural Research. Vol. 4. P. 131-149.

Berkmuller K., Mukherjee S.K., Mishra B.K. 1990. Grazing and cutting pressure on Ranthambhore, National Park, India // Environmental Conservation. Vol. 17. P. 53-58.

Champion H.G., Seth S.K. 1968. A Revised Survey of Forest Types of India, Govt. Of India Press, New Delhi. P. 404.

Das P. D. 2011. Politics of Participatory Conservation: A Case of Kailadevi Wildlife Sanctuary, Rajasthan, India. PhD Thesis. SOAS, University of London [Available at http://eprints.soas.ac.uk/14566 (Date of Access 03/01/2021)].

Dash M., Behera B. 2018. Biodiversity conservation, relocation and socio-economic consequences: A case study of Similipal Tiger Reserve, India // Land Use Policy. Vol. 78. P. 327-337.

Dhyani S., Maikhuri R.K., Dhyani D. 2020. Impact of anthropogenic interferences on species composition, regeneration and stand quality in moist temperate forests of Central Himalaya // Tropical Ecology. Vol. 60. P. 1-13.

FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.

Harihar A., Ghosh-Harihar M., Macmillan D.C. 2014. Human resettlement and tiger conservation – socio-economic assessment of pastoralists reveals a rare conservation opportunity in a human-dominated landscape // Biological Conservation. Vol. 169. P. 167-175.

Jain P., Sajjad H. 2016. Analysis of willingness for relocation of the local communities living in the critical tiger habitat of the sariska tiger reserve, India // Local Environment. Vol. 21. No. 11. P. 1409-1419.

Jhala Y.V., Qureshi Q., Nayak A.K. 2019. Status of tigers, co- predators and prey in India 2018. Summary Report. National Tiger Conservation Authority, Government of India, New Delhi and Wildlife Institute of India, Dehradun. TR No./2019/05.

Johnson M.F., Karanth K.K., Weinthal E. 2018. Compensation as a policy for mitigating human-wildlife conflict around four protected areas in Rajasthan, India // Conservation and Society. Vol. 16. No. 3. P. 305-319.

Karanth K.K., Gopalaswamy A.M., Defries R., Ballal N. 2012. Assessing patterns of human-wildlife conflicts and compensation around a central Indian protected area // Plos one. Vol. 7. No. 12. P. e50433. [Available at https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0050433 (Date of Access 03/01/2021)].

Morgan D.L. 1996. Focus groups as qualitative research. Vol. 16. Sage publications, New Delhi.

Mukul S.A., Rashid A.M., Uddin M.B., Khan N.A. 2016. Role of non-timber forest products in sustaining forest-based livelihoods and rural households' resilience capacity in and around protected area: a Bangladesh study // Journal of Environmental Planning and Management. Vol. 59. No. 4, P. 628-642.

Newton P., Miller D.C., Byenkya M.A.A., Agrawal A. 2016. Who are forest-dependent people? A taxonomy to aid livelihood and land use decision-making in forested regions // Land Use Policy. Vol. 57. P. 388-395.

Ninan K.N., Kontoleon A. 2016. Valuing forest ecosystem services and disservices – Case study of a protected area in India // Ecosystem Services. Vol. 20. P. 1-14.

Ranthambhore management plan Forest Department, Government of Rajasthan. 2015. P. 9-11.

Rasal V., Everard M., Khandal D., Chandrawal K., Sahu Y.K. 2021. Valuation of the ecosystem services provided by the Kailadevi Wildlife Sanctuary, Rajasthan, India // PARKS. Vol. 27. No. 1. May 2021. P. 13-24.

Reddy G.V. 2008. Debate Lessons from Two Local Extinctions: Sariska and Kailadevi (Ranthambhore) in Rajasthan, India // Conservation and Society. Vol. 6. No. 3. P. 256-262.

Shah S., Nayak S., Gurjar R., Borah J. 2015. Beyond the Realms of Ranthambhore: The Last Abode for Arid Zone Tigers // Status report of tiger and its prey in the Western India Tiger Landscape. Technical report, WWF-India. 65 p.

Shahabuddin G., Kumar R. 2006. Influence of anthropogenic disturbance on bird communities in a tropical dry forest: role of vegetation structure // Animal Conservation. Vol. 9. No. 4. P. 404-413.

Singh M., Kumar V., Singh S.K., Kochewad S.A. 2019. Management of grasslands in India: A policy perspective // Agricultural Economics. Vol. 6. No. 2. P. 63-66.

Singh P., Reddy G.V. 2016. Lost Tigers Plundered Forests: A report tracing the decline of the tiger across the state of Rajasthan (1900 to present). WWF-India, New Delhi. [Available at https://www.researchgate.net/publication/312498428_Lost_Tigers_Plundered_Forests_A_report_tracing_the_decline_of_the_tiger_across_the_state_of_Rajasthan_1900_to_present (Date of Access 03/01/2021)].

Stewart D.W., Shamdasani P.N. 2014. Focus groups: Theory and practice. Vol. 20. Sage publications, New Delhi. 204 p.

Tadwalkar M.D., Joglekar A.M., Mhaskar M., Kanade R.B., Chavan B., Watve A.V., Patwardhan A.A. 2012. Dispersal modes of woody species from the northern Western Ghats, India // Tropical Ecology. Vol. 53. No. 1. P. 53-67.

Tooker J.F., O'Neal M.E., Rodriguez-Saona C. 2020. Balancing disturbance and conservation in agroecosystems to improve biological control // Annual Review of Entomology. Vol. 65. P. 81-100.

Vachana H.C., Uthappa A.R., Sathish B.N., Viswanath S., Kushalappa C.G. 2015. Impact of Biotic Pressure on Regeneration in Tropical Wet Evergreen Forests in Central Western Ghats // Forestry. No. 4 (5). P. 3-6.

Valentine M.E., McRoberts K.C., Cherney D.J. 2021. Effect of goat management practices on animal nutrition and the environment in Western Odisha, India // Cogent Food & Agriculture. No. Jan. (1). [Available at https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1860561 (Date of Access 03/02/2021)].

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 50-58

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.963

ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА НА ПЕСКАХ АРЧЕДИНСКО-ДОНСКОГО МАССИВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ[1]

© 2021 г. А.К. Кулик*, К.Н. Кулик*, М.В. Власенко*, Ю.И. Сухоруких, С.Г. Биганова****

**Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН*
Россия, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97
E-mail: vlasencomarina@mail.ru, kulikkn@yandex.ru

***Майкопский государственный технологический университет*
Россия, 385000, Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191
E-mail: svetlanabiganowa@yandex.ru, drsuchor@rambler.ru.

Поступила в редакцию 25.12.2020. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Дистанционный мониторинг территории и ландшафтно-экологическое инструментальное профилирование Арчединско-Донского массива позволили определить состояние почвенно-растительного покрова, уровень и уклоны грунтовых вод. Выявлена степень засоления почвогрунтов на различных типах песков. Засоление чернозёмовидных почв доходит до 0.05%. Засоление песчаных массивов с большим количеством опада достигает 0.05-0.07%. В понижениях на открытых песках, образовавшихся в результате выдувания, засоление составляет 0.001%. На всей территории массива распространены колки и культуры сосны. Естественные древостои состоят из следующих пород: *Betula pendula*, *Alnus glutinosa, Quercus robur*, *Populus tremula* и *Salix* spp. (*S. fragilis, S. reptans, S. carpea, S. rosmarinifolia*). В культуру в XIX веке введены массивы *Pinus sylvestris*. Большое количество лесных участков и их колковое размещение обусловлено близостью грунтовых вод. Максимальной производительности достигают черноольшанники (*Alnus glutinosa*) с запасом древесины до 500 м^3/га. Их высота на участках с застойными грунтовыми водами достигает 12-15 м. Колки березняков (*Betula pendula*) расположены по понижениям. На глинистых участках встречаются редкостойные насаждения дуба черешчатого (*Quercus robur*) высотой 8-12 м. Показан рост *Pinus sylvestris* на чернозёмовидных супесчаных почвах и на однофазных заросших песках с мощными дерново-степными почвами. Выделено 5 доминантных типов песков, на которых площади кормовых угодий составляют 171536 га (с прозводительностью травостоя 370.7 тыс. т) и лесных участков – 50584 га. Доминируют заросшие бугристо-грядовые пески. Наиболее производительными являются заросшие замкнутые депрессии и древние водотоки (3.0 т/га). Полученные результаты исследований актуальны для разработки концептуальной модели оптимального использования песчаных земель.

Ключевые слова: песчаные земли, засоленность, влажность почвогрунта, растительность, лесные массивы, лесистость, кормовые угодья.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-50-58

Для достижения устойчивого функционирования природно-экологического каркаса степной зоны Европейской части Российской Федерации важно придерживаться стратегии развития степного макрорегиона, предполагающей изучение формирования и развития ареалов (Чибилёв, Чибилёв,

[1] Работа выполнена по теме НИР Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № АААА-А19-119042290014-5 «Теоретические основы управления водными ресурсами при лесоаграрном освоении засушливых территорий РФ на основе динамической модели водного баланса региона, математического моделирования процессов формирования и динамики грунтовых и поверхностных вод, оценки влияния изменения климата и антропогенных нагрузок на агроресурсный потенциал и лесорастительные условия».

2019), в том числе песчаных массивов (Власенко и др., 2019). Песчаные земли Волгоградской области приурочены в основном к речным системам Дона и его притоков (Медведицы, Иловли, Хопра) и частично Волги (Еруслана). Площадь неиспользуемых песков в настоящее время достигает 300 тыс. га. Их целесообразно использовать комплексно: выращивать лесные насаждения, сады, виноградники, создавать сенокосы, бахчи, пастбища, зеленые зонты (Кулик, Власенко, 2015; Власенко, Кулик, 2017). Выбор форм хозяйственного использования земель зависит от почвенного плодородия, степени эродированности ландшафта, увлажнения территории, от территориального расположения угодий, экономических и социальных условий района (Гожев, 1929; Кулик, 2005; Власенко, 2014). Комплексное использование песчаных земель предусматривает активную защиту этих площадей от дефляции путем максимального насыщения угодий лесом, применением полосной обработки полей, посевов многолетних трав и другими средствами (Кулик, Кулик, 2015). Наиболее ценные участки оставляют под охранным статусом с режимом ограниченного природопользования.

Арчединско-Донской песчаный массив называют северной пустыней России. Преобладающий тип опустынивания территории – дефляция почв и деградация растительности. Барханы здесь возвышаются на 3-7 метров, достигая 11-метровой высоты. В низинах залегают грунтовые воды (ГВ), которые располагаются в слое водонепроницаемого грунта, не давая воде полностью раствориться в песках (Кулик, 2013). Массив представляет интерес для изучения состояния, формирования и распространения растительных формаций на разных типах песков и их влияния на водный режим. Исследования актуальны, т.к. водно-режимные и водно-балансовые характеристики песков важно учитывать при агролесомелиоративном обустройстве и рациональном природопользовании песчаной территории.

Материалы и методы

Цель исследований – изучение водно-режимных и водно-балансовых характеристик песков в зависимости от формирования и распространения растительности. *Объектом исследований* является Арчединско-Донской песчаный массив площадью 222 тыс. га.

Геоинформационные технологии традиционно используют для анализа хозяйственной деятельности на больших площадях (Виноградов, 1984; Шинкаренко и др., 2019; Кулик, 2004). При определении границ различных типов песков Арчединско-Донского массива и подсчете их площадей использовались спутниковые фотоснимки (СФС) различных масштабов из Интернет-ресурсов: SAS Planet, Google Maps, Wikimapia (Рулев и др., 2015). На ключевых участках были заложены и обследованы ландшафтно-экологические профили, проведен мониторинг состояния почвенно-растительного покрова. Таксационные показатели лесных насаждений изучались на территории Арчединско-Донского массива в зависимости от породного состава, плодородия почв и их водообеспеченности по общепринятым в лесном хозяйстве методикам (Поляков, Набатов, 1983; Мартынов и др., 2008). Гидрологические показатели учитывались для разных типов песков.

Разницу запасов воды в почве за период времени (ΔВ) определяли по формуле (Кулик, 1979):

$$\Delta В=(Пв+Оа)–(Тр+ГрО+Иф);$$

где приход: Пв – приток влаги на песчаный массив с водораздельной площади, Оа – атмосферные осадки; расход: Тр – транспирация травянистой растительности и лесных насаждений, ГрО – водобалансовый расчет оттока влаги в ГВ, Иф – испарение физическое за теплый период.

Для открытых неперевеваемых песков:

а) в апреле и октябре: $Иф=Оа_{\leq 3}+2n_{>3}+0.2(n_{б.о}-n_{>3})$,

б) в мае-сентябре: $Иф=Оа_{\leq 3}+3n_{>3}+0.3n_{б.о.}$

Для песков, заросших травяной растительностью, молодых и редкостойных насаждений (5-20 ц/га воздушно-сухой надземной органической массы):

а) апрель-октябрь: $Иф=Оа_{\leq 3}+2n_{>3}+0.1(n_{б.о}-n_{>3})$,

б) май-сентябрь: $Иф=Оа_{\leq 3}+3n_{>3}+0.2_{б.о.}$

Для высокополнотных лесонасаждений (≥20 т/га воздушно-сухой надземной фитомассы, подстилка 2-3 см):

а) апрель-октябрь: $Иф=Оа_{\leq 10}+5n_{>10}+0.1(n_{б.о}-3n_{>10})$,

б) май-сентябрь: $Иф=Оа_{\leq 10}+10n_{>10}+0.1(n_{б.о}-2n_{>10})$,

где Иф – испарение физическое (мм водного слоя), $Оа_{\leq 10}$ – осадки ≤10 мм, $Оа_{\leq 3}$ – осадки ≤3 мм, $n_{>10}$ –

число дней с осадками ≥10 мм, $n_{>3}$ – число дней с осадками ≥3 мм, $n_{б.о}$ – число дней без осадков.

Результаты и обсуждение

Арчединско-Донской песчаный массив (49° 43′ 38″ с.ш., 43° 24′ 52″ в.д.) относится к степной зоне Хопер-Медведицкой физико-географической провинции и расположен в междуречье Дона, Медведицы, Арчеды и Иловли, в границах Волгоградской области. Северная граница проходит по правому берегу р. Арчеда в направлении ст. Гуляевка – ст. Безымянка. Восточная граница идёт по автотрассе Москва–Волгоград, южная – протянулась по автодороге Лог–Вилтов. Западный и северо-западный рубежи проходят по пойме рр. Дон и Медведица.

Климат массива семиаридный. Наиболее влажный период – май-июнь. Засухи бывают часто. Годовые осадки по двум метеостанциям (Фролово и Серафимович) составляют 430 и 446 мм.

На Арчединско-Донских песках выделяют три надпойменные террасы.

Надпойменная терраса I во многих местах засыпана барханными песками.

Надпойменная терраса II с высотными отметками 80-90 м н.у.м. БС представлена бугристо-грядовыми песками на озёрно-дельтовой равнине. Гряды имеют водное происхождение с разнообразной, сложной ориентацией. Межгрядовое расстояние 200-300 м. Рельеф усложнён бугристыми формами, которые возникли вследствие антропогенной деятельности. На территории песчаного массива имеются крупные понижения с озёрами (х. Подпешенский), древние водотоки, приуроченные к восточным приводораздельным склонам. Вешние и ливневые воды выходят на пески по балкам (Голенская, Шляховская, Паницкая).

Формирование почв песчаного массива происходило на древне-аллювильных террасах и озёрно-дельтовой равнине, расположенной в устье р. Медведицы при впадении в р. Дон. Источником песчаного материала служили неогеновые пески. Они за миллионы лет подвергались сильнейшему гипергенезису и соответственно на 95-98% состоят из кварца, промытого от солей (карбонаты) (Гаель, Бондаренко, 1967; Гаель, Смирнова, 1974). Наименьшая влагоёмкость (НВ) песчаных почв составляет 5.0-6.0%, влажность завядания (ВЗ) – 1.0-1.5%, запас доступной влаги для растений в слое 1 м достигает 40-60 мм. Объемный вес (плотность) 1.5 г/см^3. Удельный вес (плотность твердой фазы) 2.6 г/см^3.

В чернозёмовидных почвах на III надпойменной террасе объемный вес снижается до 1.3 г/см^3, НВ увеличивается до 12-16%, доступная влага – до 100 мм. Это обусловливает более высокое плодородие глинистых почв.

Почвы песчаных массивов в голоценовый период многократно разбивались из-за перевыпаса скота или разрушались вследствие распашки. Молодые почвы формировались на эоловых наносах. Возрастную классификацию песчаных почв обусловливает цикличность этих процессов. Современный почвенный покров начал формироваться 10-12 тыс. лет назад по типу мелколесных ландшафтов (Гаель, Смирнова, 1999). В Атлантическую стадию голоцена (5-8 тыс. лет назад) распространились сосново-можжевеловые леса. Под ними сформировались дерново-боровые и дерново-степные почвы (серопески), которые в последние 3-2 тыс. лет подвергались многократному разрушению. Периодами эти почвы зарастали, что определило формирование примитивных и маломощных почв (Брылев, 2005).

На открытых песках массива в котловинах выдувания количество воднорастворимых солей составляет не более 0.01%. Места, где аккумулируется опад, имеют засоление 0.05-0.07%.

Водный режим на песках развивается в зависимости от глубины залегания ГВ, растительности, гранулометрического состава зоны аэрации (Кулик, 2005). Территория песчаного массива богата лесной растительностью. Основные породы: берёза (*Betula pendula*[1]), дуб (*Quercus robur*), ольха черная (*Alnus glutinosa*), осина (*Populus tremula*), тополь (*Populus alba*) и ивы (*Salix fragilis, S. reptans, S. carpea, S. rosmarinifolia*). В культуру еще в XIX веке введена сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Из-за близкого расположения ГВ и дополнительного водопитания лесные участки хорошо прижились и распространились в виде колков. Максимальной производительности достигают черноольшанники. По западной границе песков, где ГВ разгружаются в пойму, запас древесины черноольховых насаждений составляет до 500 м^3/га при высоте древостоев выше 27 м.

[1] Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

На участках, где ГВ застаиваются, рост *Alnus glutinosa* ухудшается и не превышает 12-15 м. Запас древесины снижается до 100-150 м^3/га. Колки *Betula pendula* по понижениям в основном порослевого происхождения, низкорослые. *Populus tremula* и *Salix* spp. (*S. fragilis, S. reptans, S. carpea, S. rosmarinifolia*) участвуют как примесь к *Betula pendula*. На глинистых участках встречаются редкостойные насаждения дуба черешчатого (*Quercus robur*) высотой 8-12 м.

Активное создание сосновых культур (*Pinus*) началось в середине прошлого столетия. Лучшие культуры (I и II класс бонитета) произрастают на чернозёмовидных супесчаных и мощных дерново-степных почвах (рис. 1-3). На среднемощных почвах бонитет лесонасаждений понижается до III класса бонитета.

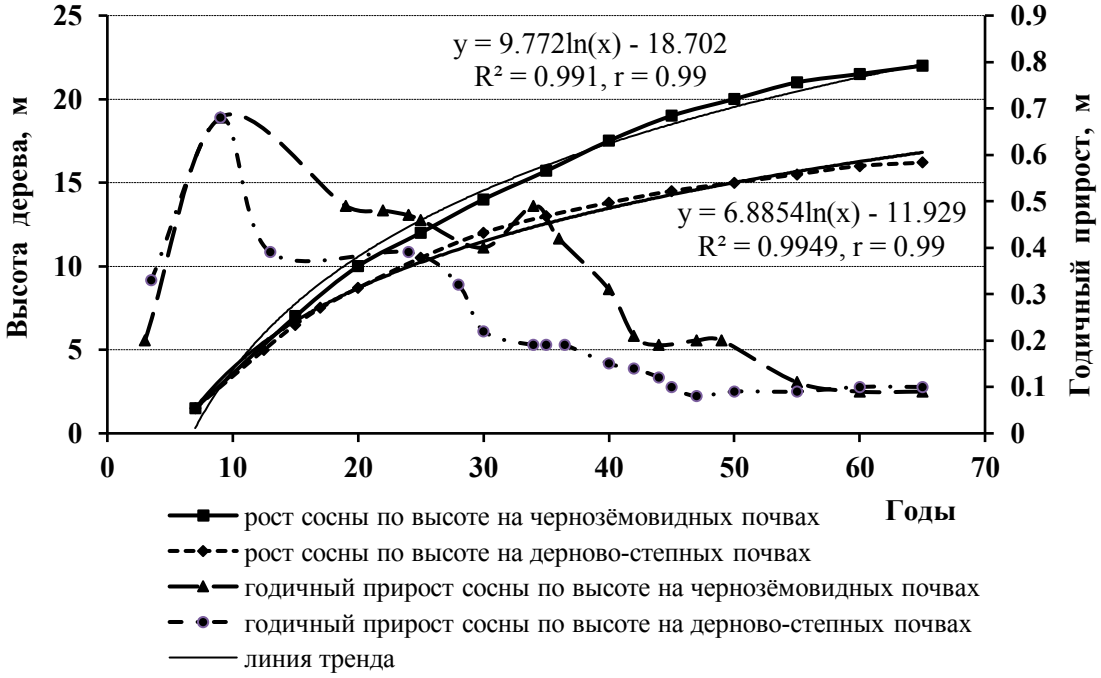

Рис. 1. Рост сосны в высоту на чернозёмовидных многофазных супесчаных почвах (тип 4) и на однофазных заросших песках с мощными дерново-степными почвами (тип 3).

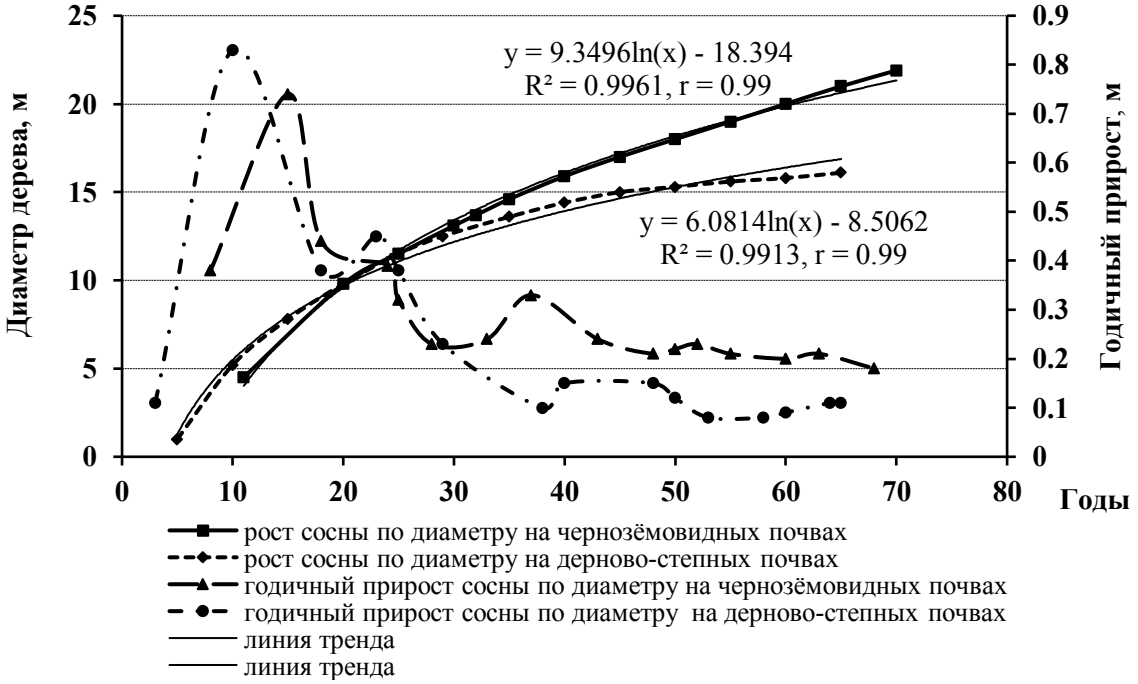

Рис. 2. Рост сосны по диаметру на чернозёмовидных многофазных супесчаных почвах (тип 4) и на однофазных заросших песках с мощными дерново-степными почвами (тип 3).

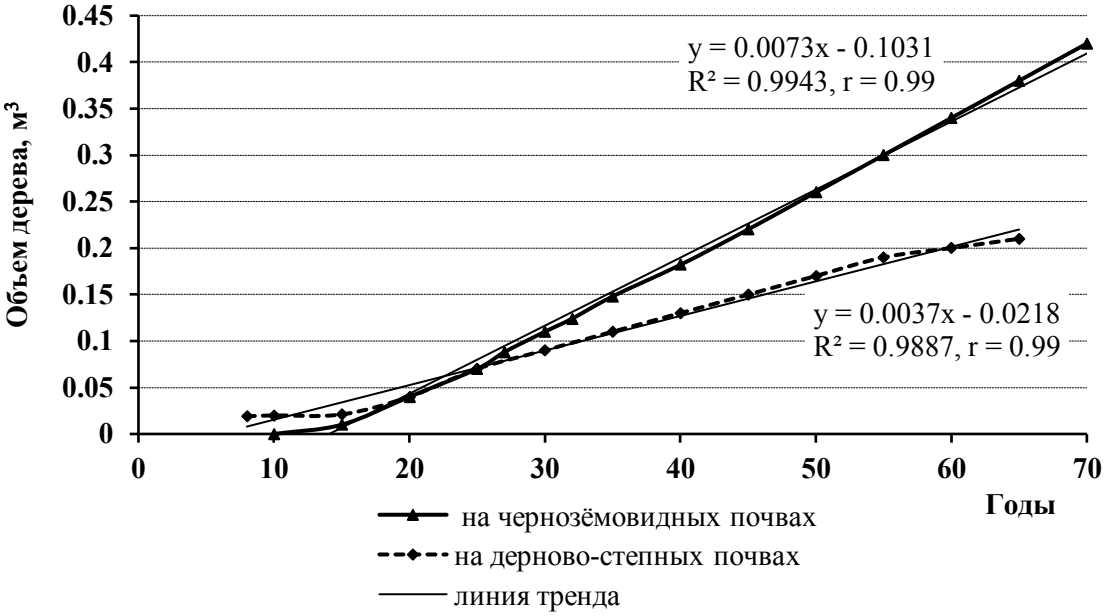

Рис. 3. Прирост сосны по объему древесины на чернозёмовидных многофазных супесчаных почвах (тип 4) и на однофазных заросших песках с мощными дерново-степными почвами (тип 3).

На неогеновых кварцевых песках, в котловинах выдувания, встречаются карликовые формы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*; Бялый, 1971). При благоприятных условиях местопроизрастания прирост 60-летних сосновых культур в высоту и по диаметру превышает средний, что доказывает их высокую жизненность. На однофазных песках в этом возрасте лесные культуры гибнут.

В наилучших условиях местопроизрастания запас древесины в насаждениях *Pinus sylvestris* превышает 300 м^3/га. Лесные насаждения степного Дона выполняют важную природоохранную роль, являясь резервациями животного и растительного мира. Колки привлекательны для рекреационного пользования. Понижения с близкими ГВ на луговых и лугово-болотных почвах являются наиболее производительными участками. Произрастающие здесь древостои дают 3-4 т/га листового опада и 1-2 т/га мелких веток в год. Здесь же произрастают осоковые (*Carex arenaria*) и тростниковые (*Phragmites australis*) формации. Общий ежегодный прирост фитомассы на гигротопах 8 т/га, сосняков – 6 т/га.

На II надпойменной террасе локально (участки ≥2-3 га) на сухих местах с уровнем ГВ 3-6 м распространён можжевельник казацкий (*Juniperus sabina*). Он не поедается скотом и считается малополезным, но имеет высокую эстетическую ценность. Другой древесной растительности в ценозе нет.

Обследование Арчединско-Донских песков позволило выделить 5 типов песков (табл. 1): 1 – открытые и слабозаросшие, бугристо-барханные (почвы песчаные инициальные и примитивные); 2 – среднезаросшие бугристо-грядовые (почвы песчаные, маломощные и среднемощные дерново-степные); 3 – бугристо-грядовые, заросшие (почвы песчаные мощные дерново-степные); 4 – полого холмистые, заросшие (почвы песчаные и супесчаные, чернозёмовидные); 5 – древние водотоки и заросшие понижения (почвы песчаные и супесчаные, гидроморфные лугово-болотные). В основу деления положена почвенная характеристика, рельеф и плотность растительного покрова. На всех песках имеются лесные участки и колки *Pinus sylvestris*. Самым распространенным типом являются заросшие бугристо-грядовые пески (>51%). Комплекс лесных ценозов и заросших бугристо-грядовых песков на участках древних водотоков занимает около 15% площади массива. Открытые и слабозаросшие бугристо-барханные пески в комплексе с инициальными и примитивными песчаными почвами занимают 15.4 тыс. га.

Между посёлками Лог и Вилтов расположен уникальный участок грядово-барханных песков на площади 800 га. Гряды достигают высоты до 10 м и протяжённость до 3 км. Вершины и склоны гряд практически лишены растительного покрова, межгрядовые понижения повсеместно зарастают ивой розмаринолистной (*Salix rosmarinifolia*), ракитником (*Chamaecytis ruthenicus*), можжевельником казацким (*Juniperus sabina*), песчаным овсом (*Leymus racemosus*), полынью песчаной (*Artemisia arenaria*).

Таблица 1. Распределение площади кормовых угодий и лесных участков на песках Арчединско-Донского массива.

Типы песков	Площадь, тыс. га	Лесистость, %	Площадь лесных участков (тыс. га)	Кормовые угодья (тыс. га)	Общая производительность, тыс. т
1. Открытые и слабозаросшие, бугристо-барханные	15.41	5.9	0.924	14.485	8.7
2. Среднезаросшие бугристо-грядовые	37.91	15.0	5.687	32.224	51.6
3. Бугристо-грядовые, заросшие	114.51	9.3	10.751	103.758	228.3
4. Полого холмистые, заросшие	21.08	4.5	0.953	20.128	52.3
5. Древние водотоки и заросшие понижения	33.21	70	23.247	9.963	29.9
Итого	222.12	–	41.562	171.536	347.1

В настоящее время видны следы крупного покрытого растительностью барханного вала высотой >20 м, который засыпал пойму со скоростью 0.3-0.5 м/год. На его склоне растут деревья дуба (*Quercus robur*) и тополя белого (*Populus alba*). У *Populus alba* в пойме по мере засыпания стволов крона поднималась, и теперь они остались на средней и верхней части склона. В этом типе песков в понижениях фиксируются гидроморфные, лугово-болотные почвы с уровнем пресных ГВ 0.5-0.7 м. Понижения в основном заняты колками *Betula pendula* и *Carex arenaria* или зарослями *Phragmites australis*. Площадь этих участков 6% от общей площади комплекса.

На среднезаросших бугристо-грядовых песках с маломощными и среднемощными дерново-степными песчаными почвами многочисленные понижения с близким залеганием ГВ заняты берёзовыми (*Betula pendula*), осиновыми (*Populus tremula*) или ольховыми (*Alnus glutinosa*) колками. Их площадь – 5.7 тыс. га.

Бугристо-грядовые заросшие, местами равнинные пески с дерново-степными песчаными почвами (серопески) занимают более 1/2 площади массива и вытянуты в меридиональном (центральная часть) и в субширотном (х. Колобродов по левому берегу р. Арчеды и южнее) направлениях. Гряды высотой 6-10 м, шириной 150-400 м имеют выраженные котловины выдувания. Используются как пастбищные угодья, особенно в тех местах, где распространяются лугово-степные виды. Среднегодовой прирост фитомассы достигает 2.2 т/га. В понижениях между грядами распространены участки леса: *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, *Populus tremula*. На серопесках встречаются культуры *Pinus sylvestris* II-III бонитета.

По правому высокому берегу р. Арчеды и по восточной границе песков у автотрассы Москва-Волгоград (III надпойменная терраса) располагаются полого-холмистые заросшие в некоторых местах бугристые пески с чернозёмовидными песчаными и супесчаными почвами. Многие территории этих песков были разбиты скотом в суббореальный период (Гаель, Смирнова, 1999). Появление погребённых многоярусных почв обусловило вторичное разбивание песков в конце XIX – начале XX вв. Фитомасса травостоев с участием типчака (*Festuca rupicola*), ковыля (*Stipa pennata*), житняка (*Agropyron desertorum*) достигает 2.6 т/га. Комплекс пересекают балки, где встречаются лесные участки *Quercus robur* III и IV бонитета и *Populus tremula*.

Заросшие депрессии, древние водотоки с гидроморфными лугово-болотными почвами в комплексе с дерново-степными почвами (соответственно 70% и 30%) занимают 33210 га. Их площадь может достигать несколько сот гектаров. В понижениях близко расположены ГВ. Это положительно

влияет на распространение древесных видов и густых травостоев тростника (*Phragmites australis*), осок (*Carex arenaria*) и других гигрофитов. Начало древних водотоков фиксируется на выходе балок на II надпойменную террасу. Перед выходом в пойму они делятся на отдельные рукава. По древним водотокам, начиная с климатического оптимума (8-5 тыс. лет назад), вода регулярно протекала с приводораздельных склонов. Эти же русла дренировали близлежащие песчаные территории. В настоящее время водотоки не имеют постоянного течения. Местами прослеживается цепочка озёр (водоток балки Паницкая). Годовой прирост фитомассы, включая древесные породы, в этих условиях достигает 8 т/га, из них травостои дают 3 т/га. Восточная часть массива сложена почвами более лёгкого гранулометрического состава, где активно выражена дефляция.

Гидроморфные участки на Арчединско-Донском песчаном массиве занимают 41.6 тыс. га, а лесистость по разным типам песков составляет от 5% до 70% (табл. 2).

Таблица 2. Годовая динамика расхода осадков по типам песков Арчединско-Донского массива.

Типы песков	Расход приточных ГВ лесными участками, млн. м^3	Площадь бугристых песков (пастбищ), тыс. га	Продук-тивность, т/га	Годовой расход осадков травами, мм/га	Гравитационный сток	
					с бугрис-тых песков, мм	по типам песков, млн. м^3
1. Открытые и слабозаросшие, бугристо-барханные	2.2	14.49	0.6	36	204	29.5
2. Среднезаросшие бугристо-грядовые	13.6	32.22	1.6	96	144	46.4
3. Бугристо-грядовые, заросшие	25.8	103.76	2.2	132	108	115.2
4. Полого холмистые, заросшие	2.3	20.13	2.6	156	84	15.2
5. Древние водотоки и заросшие понижения	55.8	–	–	–	–	–
Итого	99.8	171.54	–	–	–	206.3
культуры сосны	4.5	–	–	–	–	–
Всего	104.3	171.536	–	–	–	206.3

К песчаным территориям с особенными водно-физическими свойствами приспособились растения-псаммофиты (Гаель, Бондаренко, 1967). Представителями открытых сыпучих и слабозаросших песков являются: полынь (*Artemisia arenaria*) и песчаный овёс (*Leymus racemosus*). В результате зарастания песков видовое разнообразие трав увеличивается. Появляются типчак (*Festuca rupicola*), тонконог (*Koeleria glauca*), чабрец (*Thymus serpyllum*), полынь полевая (*Artemisia campestris*), ковыль Иоанна (*Stipa pennata*), прутняк (*Vitex agnus-castus*), житняк (*Agropyron desertorum*), ракитник (*Chamaecytis ruthenicus*). Среднегодовой прирост наземной фитомассы на разных типах песков составляет: на слабозаросших – 0.3-0.9 т/га, на среднезаросших – 1.4-1.8 т/га, на заросших с мощными дерново-степными и чернозёмовидными почвами – ≥2.2-2.6 т/га (табл. 2).

Среднезаросшие пески (37.9 тыс. га) представлены дерново-степными почвами (табл. 1, 2). Весной зона аэрации этого типа песков промачивается до уровня ГВ. Влажность повышается до 5.5%.

В метровом слое почвы запасы воды достигают 60-70 мм. Верхняя часть метрового слоя в конце летнего периода обезвоживается до 1.0-1.6%. Гравитационный сток в ГВ сокращается до 0.14 мм/сутки. При годовом приросте фитомассы 1.6 т/га транспирационный расход увеличивается до 96 мм, а гравитационный сток уменьшается до 144 мм.

Заросшие пески с бугристо-грядовым рельефом занимают 114.5 тыс. га. Летом эти пески иссушаются до 120-140 см. Гравитационный сток сокращается с 0.29 мм/сут. весной до 0.09 мм/сут. осенью. Среднегодовой гравитационный сток достигает 132 мм (1080 м^3/га). На открытых песках –

2040 м^3/га. Сокращение стока обусловлено развитием растительности. В лучших условиях среднегодовой прирост фитомассы достигает 3.0 т/га (табл. 2).

Годовой прирост фитомассы на песчаных землях с чернозёмовидными почвами на III надпойменной террасе достигает 2.6 т/га. Вследствие большого расхода воды на транспирацию (156 мм) гравитационный сток сокращается до 84 мм. Со всей площади этого типа песков в ГВ поступает 15.2 млн. м^3.

На II надпойменной террасе имеются уникальные природные формирования – русла древних водотоков, пропускающие вешние воды с глинистых водоразделов, и крупные межгрядовые и межбугристые понижения, в центре которых встречаются озера поросшие по берегам *Phragmites australis*. Далее встречаются древостои берёзы (*Betula pendula*), осины (*Populus tremula*). Почвы таких понижений гидроморфные, луговые и лугово-болотные. В замкнутых понижениях наблюдается денсация почвенного раствора и ГВ. Эти участки имеют наибольшую засолённость (до 1 г/л) ГВ.

Древние водотоки менее засолены из-за периодического протекания вешних вод. По водотокам растёт ольха чёрная (*Alnus glutinosa*) I и II бонитета. Суммарно водопотребление фитоценозами лесной и травянистой растительности оценивается в 480 мм исходя из годичного прироста фитомассы (8 т/га). Испаряемость для этой зоны равна 700 мм. На транспирацию может уйти 70% от величины испаряемости (480 мм). Годовые осадки покрывают 240 мм расхода. Остальные 240 мм забираются из приточных ГВ. Суммарная площадь участков с близким залеганием ГВ составляет 41562 га, а величина приточных вод – 100 млн. м^3.

В отдельную статью водного баланса выделены культуры *Pinus sylvestris*, которые в основном произрастают на серопесках и чернозёмовидных почвах III надпойменной террасы. Общая площадь сосняков 9022 га. Транспирационный расход культурами *Pinus sylvestris* за год оценивается в 310 мм, из которых 240 мм древостой берёт из атмосферных осадков, а 50 мм забирает из приточных ГВ, о чём свидетельствуют колебания их уровня. Общий расход приточных ГВ на транспирацию оценивается в 4.5 млн. м^3.

За год в ГВ по Арчединско-Донским пескам сбрасывается 206.3 млн. м^3 атмосферных осадков. Половина расходуется в пределах ландшафтного комплекса лесными фитоценозами и травостоями на местоположениях с близким залеганием ГВ. Вторая половина дренируется с грунтовым потоком в речные системы. Максимальный сброс характерен для песков открытых и слабозаросших. С уплотнением песков травяными видами поступление атмосферных осадков в ГВ сокращается. Лес расходует на физическое испарение и транспирацию выпадающие осадки и приточные ГВ в объёме 104.3 млн. м^3. В соответствии с водным балансом расчётный, ожидаемый годовой сброс воды в Арчеду и Дон оценивается в 102 млн. м^3. Эта вода опресняет и увеличивает дебит р. Дон, что улучшает экологические условия песчаных земель. К этим показателям оттока ГВ в речные системы добавляются 5.7 млн. м^3 вод весеннего стока и ливневые, поступающие на пески по балочным системам со стороны глинистых приводораздельных склонов (30 тыс. га при среднегодовом стоке 19 мм). Суммарные величины ожидаемого стока со стороны Арчединско-Донских песков достигают 108 млн. м^3 в год.

Заключение

С учетом плотности растительного покрова, рельефа и почвенных характеристик выделено пять доминантных типов Арчединско-Донских песков. Доминантными типами являются заросшие бугристо-грядовые пески (серопески). Водный режим на песках массива формируется в зависимости от растительности, гранулометрического состава зоны аэрации, глубины залегания ГВ. На песчаных территориях распространены растения – эндемики песков – псаммофиты, которые распространяются на подвижном субстрате и приспособлены к специфическим водно-физическим свойствам песчаных почв. Культуры *Pinus sylvestris* площадью 9022 га произрастают в основном на серопесках и чернозёмовидных почвах III террасы. Общий расход приточных ГВ на транспирацию сосняков оценивается в 4.5 млн. м^3. Суммарная величина годового сброса атмосферных осадков в ГВ по массиву составляет 206.3 млн. м^3, из которых половина расходуется лесными фитоценозами и травостоями на местоположениях с близким залеганием ГВ, а другая половина дренируется с грунтовым потоком в речные системы. Открытые и слабозаросшие пески отличаются максимальным сбросом. Атмосферные осадки поступают в ГВ все меньше по мере зарастания песков. Атмосферные осадки и приточные ГВ расходуются лесом на транспирацию и испарение. На песках массива

отмечается стихийное лесопользование и в ограниченных размерах. Лесистость территории (25%) может оставаться на этом уровне и в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брылев В.А. 2005. Эволюционная геоморфология юго-востока Русской равнины. В.: Перемена. 351 с.

Бялый А.М. 1971. Водный режим в севообороте на черноземных почвах Юго-Востока. Л: Гидрометеоиздат. 232 с.

Виноградов Б.В. 1984. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука. 320 с.

Власенко М.В. 2014. Продуктивность и флористическое разнообразие пастбищ Сарпинской низменности под влиянием фитомелиорации. Автореф. ... канд. с.-х.н. В.: ВНИАЛМИ. 22 с.

Власенко М.В., Кулик А.К. 2017. Современное состояние степной растительности Придонских песчаных массивов // Аграрная Россия. № 9. С. 22-29.

Власенко М.В., Кулик А.К., Турко С.Ю., Балкушкин Р.Н., Тютюма Н.В. 2019. Эколого-фитоценотическая организация псаммофитных сообществ Цимлянского песчаного массива // Юг России: экология, развитие. Т. 14. № 4. С. 35-45.

Гаель А.Г., Бондаренко Н.Я. 1967. Производительность и долговечность сосновых насаждений в подзоне сухой степи. Биологические науки. М.: МГУ. С. 85.

Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. 1974. Особенности песчаных степных почв как объекта облесения. М.: Академия наук СССР. 34 с.

Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. 1999. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС. 252 с.

Гожев А.Д. 1929. Типы песков области Среднего Дона и их хозяйственное использование // Труды по лесному опытному делу. М.: Сельхозгиз. 178 с.

Кулик А.К. 2005. Водный режим и баланс влаги песчаных земель Нижнего Дона (на примере Усть-Ундрюченского песчаного массива). Автореф. ... канд. с.-х.н. В.: ВНИАЛМИ. 25 с.

Кулик А.К. 2013. Географическое положение, природные условия, типы песков Арчединско-Донского песчаного массива // Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО. В.: ВолГАУ. С. 331-337.

Кулик А.К., Власенко М.В. 2015. Эколого-гидрологическая оценка воздействия сельского и лесного хозяйства на песчаные земли Верхнего Дона // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. № 1 (57). С. 89-94.

Кулик К.Н. 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. В.: ВНИАЛМИ. 249 с.

Кулик К.Н., Кулик А.К. 2015. О перспективах защитного лесоразведения в Волгоградской области // Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях. С. 303-307.

Кулик Н.Ф. 1979. Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеоиздат. 280 с.

Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Ковязин В.Ф., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. 2008. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань. 372 с.

Поляков А.Н., Набатов Н.М. 1983. Основы лесоводства и лесной таксации. М.: Лесная промышленность. 224 с.

Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. 2015. Геоинформационное картографирование и моделирование эрозионных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ. 150 с.

Чибилёв А.А., Чибилёв А.А. 2019. Современное состояние и проблемы модернизации природно-экологического каркаса регионов степной зоны Европейской России // Юг России: экология, развитие. Т. 14. № 1 (50). С. 117-125.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья. 992 с.

Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Пугачева А.М. 2019. Анализ пастбищных ресурсов Волгоградской области в геоинформационной системе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 1 (53). С. 123-130.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 59-69

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.481

ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ЭПОХИ РАННЕГО ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКА (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)[1]

© 2021 г. А.Я. Кунгурцев*, **, Р.Р. Сулейманов*, *, В.В. Овсянников****, Н.С. Савельев****, Е.В. Абакумов*****, И.Г. Асылбаев********

**Башкирский государственный университет*
Россия, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32
***Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина*
Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. E-mail: A.I.Kungurtcev@urfu.ru
****Уфимский институт биологии УФИЦ РАН*
Россия, 450054, г. Уфа, пр. Октября, д. 69
*****Ордена Знак Почета Институт истории, языка и литературы УФИЦ РАН*
Россия, 450054, г. Уфа, пр. Октября, д. 71
******Санкт-Петербургский государственный университет*
Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 16-я линия ВО, д. 29
*******Башкирский Государственный Аграрный Университет*
Россия, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34

Поступила в редакцию 15.02.2021. После доработки 29.04.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Исследовано органическое вещество современных и погребенных гумусовых горизонтов почв на примере археологических памятников Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II городище (кара-абызская культура эпохи раннего железного века IV в. до н.э. – рубеж II-I вв. до н.э.). Археологические памятники расположены на территории Иглинского района Республики Башкортостан в пределах лесостепной зоны. Определены морфологические и физико-химические свойства почв. Дополнительно использованы методы спектрофотометрии и ^{13}C ЯМР-спектроскопии. На территории археологических памятников распространены темно-серые лесные почвы суглинистого гранулометрического состава. Мощность дневных и погребенных гумусовых горизонтов почв составляет 11-30 см. Органическое вещество представлено фульватно-гуматным, гуматным и гуматно-фульватным типом гумуса. В групповом составе преобладают гуминовые кислоты, а среди фракций гуминовых кислот – фракция ГК-2. Результаты спектрофотометрии показали более зрелое состояние ароматической части молекул гуминовых кислот для погребенных гумусовых горизонтов по сравнению с современными гумусовыми горизонтами. Молекулы гуминовых кислот органического вещества современных гумусовых горизонтов, по результатам ^{13}C ЯМР-спектроскопии, соответствуют условиям черноземного типа почвообразования. В целом, современное усиление аридизации климата в лесостепной зоне Республики Башкортостан берет начало, по мнению археологов, с середины IV в. до н.э. и рубежа II-I вв. до н.э. В почвенном покрове археологических памятников на момент наблюдения смены типа почвообразования не обнаружено.

Ключевые слова: органическое вещество, археологический памятник, погребенные почвы, кара-абызская культура, лесостепь.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-59-69

[1] Исследование выполнено по теме Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН) № 075-00326-19-00 по теме «Исследование рисков опустынивания почв в степной зоне Южно-Уральского региона: факторы, тенденции развития и разработка путей снижения отрицательных последствий» № АААА-А18-118022190102-3 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-11-02001-ОГН «Культурно-исторические процессы и изменения природно-климатических условий в эпоху раннего железа в лесостепном Предуралье» (Институт истории, языка и литературы УФИЦ РАН). Исследование гуминовых кислот выполнено в Научном парке СПбГУ (ресурсные центры «Магнитно-резонансные методы исследования» и «Методы анализа состава вещества»).

Проблема изменения климата всё больше привлекает внимание в современном мире. Изменение температурной составляющей на дне воздушного океана наиболее заметный, но не единственный показатель. Дополнительно выделяют рост континентальности климата, изменение газового состава атмосферы, изменение количества осадков и неравномерности их выпадения. Гляциальные системы отзываются на изменение климата сокращением или увеличением размеров занимаемой территории и, как следствие, наблюдаем изменение уровня мирового океана (Макаров, 2013; Сафонов, 2008). Почвенный компонент экологической системы и наиболее важная его составляющая органическое вещество почвы или гумус так же отзывается на изменение климатических условий окружающей обстановки (Память почв ..., 2008). Начиная с конца XIX в., когда появились первые теоретические представления по вопросу о формировании почвенного покрова на границе гумидных и аридных территорий (Ахтырцев, 1979), и до настоящего времени (Makeev et al., 2020; Rusakov et al., 2019; Khokhlova et al., 2020) интерес к нему не ослабевает. Однако встречаются мнения о периодичности климатических характеристик (Переведенцев, Шанталинский, 2008) и о погрешностях, связанных с выбором методик и инструментальной организацией измерения показателя температуры (Limburg, 2014). Тем не менее, на планетарном уровне в настоящее время регистрируется тенденция в сторону глобального потепления климата (Груза и др., 2015).

Ближайшие и отдаленные прогнозы формирования глобальной климатической обстановки могут быть основаны только на изучении климатической обстановки былых исторических эпох. Для установления особенностей климатической обстановки в древние «доинструментальные» периоды времени используют самые разнообразные методы и объекты исследования (Кузьмин, 2017; Эволюция почв …, 2015) и в том числе на помощь приходят археологические памятники. Почвенный покров археологических памятников, интегральный компонент, для полной расшифровки которого, и это отмечается в современных работах (Овчинников и др., 2020), необходим комплексный подход, что для археологических памятников выполняется редко.

Исследование почв археологических памятников в большей степени охватывает европейскую часть России (Геннадиев, 1990; Каширская и др., 2018; Makeev et al., 2020) и единично работы выполнены на территории Республики Башкортостан (Golyeva et al., 2016, 2018; Приходько и др., 2016; Плеханова, 2009; Сулейманов и др., 2020; Сулейманов, Обыденнова, 2006).

Продолжительные инструментальные наблюдения основных климатических параметров показывают усиление аридизации климата на территории Республики Башкортостан (Галимова и др., 2019; Галимова, 2020). Близость Уральских гор создает не только барьер на пути переноса воздушных масс, но и приводит к меридиональному расположению основных природно-климатических зон Республики Башкортостан (Почвы Башкортостана, 1995), в том числе переходных зон, что вызывает особый интерес.

В основу выбора археологических памятников положена близость условий окружающей обстановки. Территория археологических памятников расположена вдоль одного водного бассейна р. Белой и в пределах одного физико-географического района.

Целью работы было изучение органического вещества дневных и погребенных гумусовых горизонтов почвенного покрова археологических памятников в связи с современными условиями почвообразования.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования послужили дневные и погребённые почвы в пределах территории городищ Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II. Согласно данным археологов, памятники относятся к кара-абызской культуре, городища Аккбердинское-II и Шиповское датируются IV в. до н.э. – рубежом II-I вв. до н.э. (Савельев и др., 2017, 2018), городище Охлебининское-II датируется IV в. до н.э. – II в. до н.э. (Пшеничнюк, 1968). Археологические памятники находятся в окрестностях населенных пунктов Акбердино, Шипово и Охлебинино Иглинского района Республики Башкортостан. Памятники занимают возвышенные надпойменные террасы правого берега р. Белой.

Согласно физико-географическому районированию Республики Башкортостан территория археологических памятников городищ Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II располагается в Уфимско-Симском районе Правобережно Прибельского округа лесостепной зоны, который занимает междуречье рр. Белой, Уфы и Сима, отличается пологоувалистым рельефом,

сильным развитием карста, почти сплошным развитием широколиственных лесов на темно-серых и серых лесных почвах. Климат отличается умеренной континентальностью и средней увлажненностью. Средняя годовая температура воздуха составляет около 2.8°С. Средняя температура января – 14.3°С. Зима характеризуется морозной погодой, снегопадами и редкими оттепелями. Средняя мощность снежного покрова – 45-55 см. Средняя глубина промерзания почвы к концу зимы достигает 50-100 см. Средняя продолжительность безморозного периода составляет около 146 дней. Средняя температура июля – 19.3°С. Лето теплое и ясное, с редкими ливнями. Среднее годовое количество осадков – 450-500 мм. Относительная влажность воздуха в теплую половину года – 45-75%. Преобладают южные и юго-западные ветры (Физико-географическое …, 1964).

Поскольку археологические памятники расположены в близких природно-климатических условиях (рис. 1) фоновой почвой был выбран разрез Р. 2-2018 (фон), расположенный возле территории археологического памятника городище Охлебининское-II.

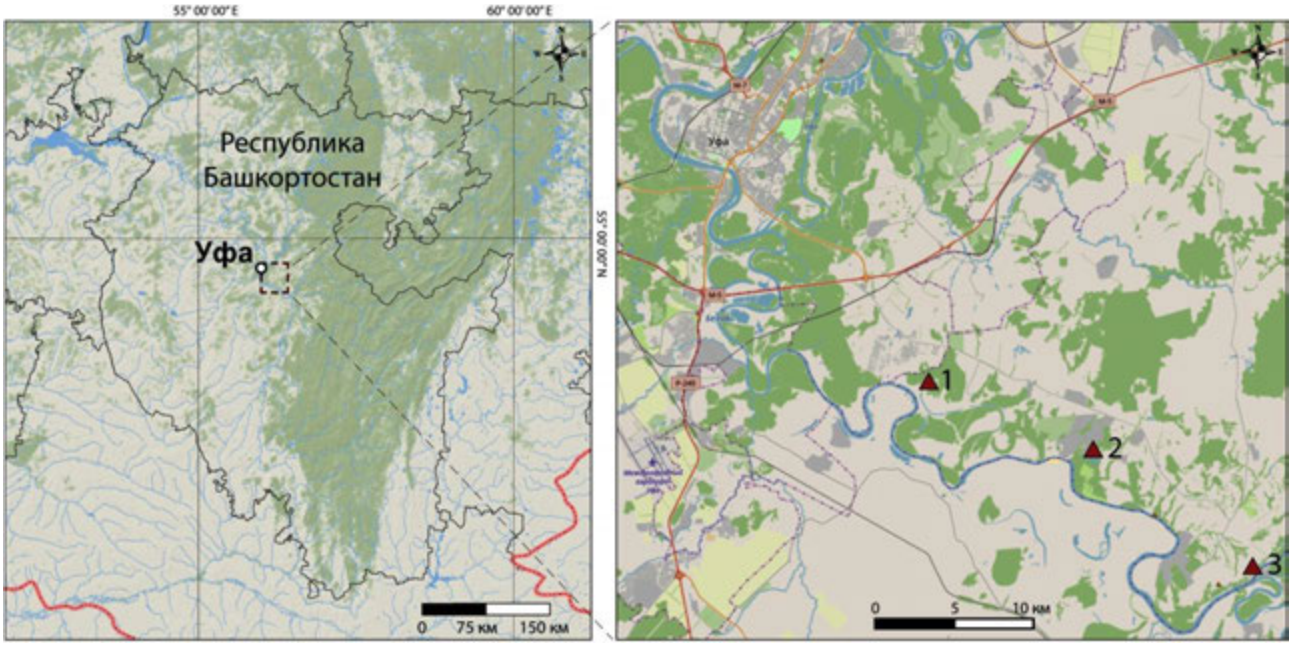

Рис. 1. Карта-схема расположения исследуемых объектов на территории Республики Башкортостан. *Условные обозначения.* Городища*:* 1 – Акбердинское-II, 2 – Шиповское, 3 – Охлебининское-II.

В почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам, аналитические исследования проводили общепринятыми в почвоведении методами: содержание органического углерода – по Тюрину с окончанием по Орлову и Гриндель; групповой и фракционный состав органического вещества – по схеме Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой (Агрохимические …, 1976); щелочногидролизуемый азот – по Корнфилду; валовый фосфор – по Гинзбургу; подвижный фосфор – по Мачигину, обменный калий – по Чирикову; поглощенные кальций и магний – трилонометрическим методом; реакцию среды – потенциометрическим методом (Агрохимические …, 1976). Определение гранулометрического состава выполнено по методу Н.А. Качинского (1958). Определение величины оптической плотности выполнено в щелочных растворах слабой ионной силы с pH=12-13 гуминовых кислот второй фракции на спектрофотометре Shimadzu VU-1650ps в интервале длин волн от 400 до 750 нм, с пересчётом на концентрацию углерода в растворе 1 мг/мл с учетом граммового значения углерода. Коэффициент цветности рассчитан для спектрофотометрической пары Е4:Е6 по E. Welte (1955). Регистрация ЯМР спектра на ядрах ^{13}C выполнена на спектрофотометре Bruker Avance III WB 400 с использованием методики CP MAS (Костенко, Абакумов, 2018). Препараты гуминовых кислот для исследования методом ^{13}C ЯМР-спектроскопии выделены последовательной двукратной обработкой воздушно-сухих образцов почв 0.1Н раствором NaOH после предварительного декальцинирования 0.1N раствором HCL. Далее коагуляцию коллоидных частиц в щелочном экстракте проводили насыщенным раствором

Na_2SO_4. Полноту осаждения коллоидных частиц достигали центрифугированием при 13000 об./мин. в течение 1 часа. В очищенном экстракте гуминовые кислоты выпадали в осадок после достижения раствором величины pH=2. Для более тонкой очистки препаратов гуминовых кислот использовали диализ. Затем препараты переносили в фарфоровые чашки и сушили в сушильном шкафу при температуре 40°C (Чуков, 2001). Расчет степени ароматичности выполнен по С.Н. Чукову (2001).

Результаты и обсуждение

Профиль почв исследуемых объектов имеет следующее строение (Полевой определитель почв, 2008): Акбердинское-II городище, почва темно-серая лесная, Р. 1-2017, AU(0-30)+BEL(30-48)+Bt(48-60); Акбердинское-II городище, почва темно-серая лесная, Р. 2-2018, AO(0-12)+AU(12-32)+BEL(32-42)+Bt(42-); Шиповское городище, почва темно-серая лесная, Р. 2-2017, AU(0-25)+AUhh(25-45)+Btk(45-80); Шиповское городище, почва темно-серая лесная, Р. 3-2017, AU(0-26)+AUhh(26-47); Охлебининское-II городище, почва урбанозем по темно-серой почве, Р. 1-2018, AO(0-10)+AUur(10-21)+BEL(21-76)+Bt(76-84)+AUhh(84-102)+C(102-120); Охлебининское-II городище, почва темно-серая, Р. 2-2018 (фон), AO(0-7)+AU(7-40)+BEL(40-52)+C(52-80).

Морфологическое исследование показывает, что в почвах археологических памятников на современной дневной поверхности мощность гумусовых горизонтов AU, AUur находится в пределах от 11 до 30 см. Цвет гумусовых горизонтов AU, AUur – темно-серый или почти черный, структура рассыпчатая, порошисто-комковатая, имеются включения обломков керамики и мелких костей. Мощность погребенных гумусовых горизонтов AUhh варьирует от 18 см до 21 см, цвет меняется от серого до темно-серого, структура зернисто-комковатая, ореховатая, встречаются включения гипса, гальки и обломки керамики. Погребенные гумусовые горизонты AUhh залегают от уровня современной дневной поверхности на глубине 25-84 см (табл. 1).

Таблица 1. Некоторые показатели агрохимической характеристики почв археологических памятников городищ: Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II.

Горизонт, глубина, см	pH H_2O	$H_{общ.}$* ммоль(+)/ 100г почвы	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P_2O_5		Азот щел-гидр.	K_2O обм.
			смоль(экв.)/ кг почвы		подв.	вал.		
					мг/кг почвы			
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 1-2017								
AU, 0-30	7.13	-	32.4	4.8	5.3	8647.5	238	1700
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 2-2018								
AU, 12-32	5.73	5.82	-	-	-	-	-	-
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 2-2017								
AU, 0-25	6.70	1.79	59.4	8.3	166.1	9241.8	350	1300
AUhh, 25-45	7.25	0.70	39.3	7.9	157.6	11434.4	126	1100
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 3-2017								
AU, 0-26	6.23	6.65	48.4	7.4	172.4	3319.7	364	1200
AUhh, 26-47	6.60	2.10	44.6	8.6	88.1	9036.9	238	1100
городище Охлебининское-II, урбанозем по темно-серой почве, Р 1-2018								
AUur, 10-21	7.46	0.52	-	-	-	-	-	-
AUhh, 84-102	7.50	0.39	-	-	-	-	-	-
городище Охлебининское-II, почва темно-серая, Р. 2-2018 (фон)								
AU, 7-40	6.76	1.79	-	-	-	-	-	-

Примечание к таблице 1. $H_{общ.}$* – гидролитическая кислотность или общая потенциальная кислотность (Теория и практика …, 2006).

Гумусовый горизонт AU фоновой почвы, разрез Р. 2-2018 (фон), имеет мощность 33 см, темно-серый цвет, мелко-среднезернистую структуру. Горизонт BEL коричневого цвета с оттенками от рыжевато-коричневого до серовато-коричневого, суглинистый, содержит включения щебня, карбонатных пород, может встречаться белесая присыпка и песчаные линзы. В переходных к почвообразующей породе горизонтам Bt, Btk и в горизонтах почвообразующей породы С для фоновой почвы и почв археологических памятников наблюдаются включения щебня и галек гипса.

Результаты агрохимической характеристики почв, территории исследуемых археологических объектов показывают, что обстановка процесса почвообразования для гумусовых горизонтов на современной дневной поверхности AU, AUur и для погребенных гумусовых горизонтов AUhh находится в интервале нейтральных и близких к нейтральным значениям (табл. 1). В поглощающем комплексе исследуемых почв преобладают катионы кальция (табл. 1). Содержание подвижных фосфатов в современных гумусовых горизонтах AU, AUur превышает значения для погребенных гумусовых горизонтов AUhh (табл. 1). Валовые формы фосфора, напротив, в погребенных гумусовых горизонтах AUhh превышают значения для гумусовых горизонтов современных дневных почв AU, AUur (табл. 1), что характерно для почв археологических памятников и отмечается многими исследователями (Харинский и др., 2009; Невидомская, Ильина, 2009; Гольева, Турова, 2015; Демкин и др., 2014). Содержание щелочногидролизуемого азота и обменных форм калия убывает от гумусовых горизонтов на современной дневной поверхности к погребенным гумусовым горизонтам, разрез Р. 2-2017 и Р. 3-2017 (табл. 1).

По распределению гранулометрических фракций исследуемые почвы археологических памятников Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II городище классифицируются как суглинки легкие, средние и тяжелые. Почва из разреза Р. 1-2017 на территории городища Акбердинское-II соответствует глине легкой (табл. 2). Среди гранулометрических фракций преобладают фракции ила <0.001 мм, крупной пыли 0.05-0.01 мм и мелкой пыли 0.005-0.001 мм.

Таблица 2. Распределение гранулометрических фракций и классификация почв археологических памятников городищ: Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II по гранулометрическому составу.

Горизонт, глубина, см	**Содержание фракций, в % от массы сухой почвы**						**физ. глина**	**физ. песок**	**Классификация по гранулометрическому составу**
	>0.25	**0.25-0.05**	**0.05-0.01**	**0.01-0.005**	**0.005-0.001**	**<0.001**	**<0.01**	**>0.01**	
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 1-2017									
AU, 0-30	2.52	14.87	21.72	9.84	21.72	29.33	60.89	39.11	Гл. легк.
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 2-2018									
AU, 12-32	23.56	32.81	18.87	6.21	10.04	5.06	21.31	78.69	Сугл. легк.
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 2-2017									
AU, 0-25	8.36	14.68	21.10	8.66	13.69	19.62	41.97	58.03	Сугл. ср.
AUhh, 25-45	7.85	12.33	11.45	6.30	8.20	21.54	36.04	63.96	Сугл. ср.
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 3-2017									
AU, 0-26	7.10	17.21	23.54	10.54	14.90	20.65	46.09	53.91	Сугл. тяж.
AUhh, 26-47	6.15	13.75	16.71	8.15	10.88	36.05	55.08	44.92	Сугл. тяж.
городище Охлебининское-II, урбанозем по темно-серой почве, Р 1-2018									
AUur, 10-21	11.08	13.36	26.76	7.90	12.81	4.90	25.61	74.39	Сугл. легк.
AUhh, 84-102	9.56	7.40	10.04	5.52	17.08	31.91	54.51	45.49	Сугл. тяж.
городище Охлебининское-II, почва темно-серая, Р. 2-2018 (фон)									
AU, 7-40	9.32	16.48	32.34	9.20	16.97	6.97	33.14	66.86	Сугл. ср.

Внутри профиля исследуемых почв илистая фракция <0.001 мм накапливается с увеличением глубины. Интересно отметить, что для горизонта AU, 0-30 см (Р. 1-2017) Акбердинского-II городища на фоне утяжеления гранулометрического состава (табл. 2) наблюдается повышенное содержание обменных форм калия (табл. 1) по сравнению с дневными и погребенными гумусовыми горизонтами почв из разрезов Р. 2-2017 и Р. 3-2017 Шиповского городища. Предположительно, данную взаимосвязь можно объяснить присутствием калиевых полевых шпатов, представляющих основу глинистых минералов (Горбунов, 1974).

Содержание органического вещества почвы убывает от гумусовых горизонтов на современной дневной поверхности к погребенным гумусовым горизонтам. Среди исследуемых групп органического вещества почвы преобладает группа гуминовых кислот. В погребенных гумусовых горизонтах AUhh содержание групп гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот (ФК) принимает близкие значения (табл. 3). Возможно, что такое соотношение сумм фракций ГК и ФК для гумусовых горизонтов погребенных почв может быть связано с более гумидными условиями климата в прежние исторические эпохи. Внутри группы гуминовых кислот преобладает фракция связанная с кальцием ГК-2 (табл. 3).

Таблица 3. Групповой и фракционный состав органического вещества почв археологических памятников городищ: Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II.

Горизонт, глубина, см	Гумус %	Сумма фракций		$C_{гк}/C_{фк}$	% от суммы ГК			Тип гумуса
		ГК*	ФК**		ГК-1 ***	ГК-2 ****	ГК-3 *****	
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 1-2017								
AU, 0-30	7.06	-	-	-	-	-	-	-
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 2-2018								
AU, 12-32	7.75	45.8	17.1	2.68	28.60	57.90	13.50	Гуматный
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 2-2017								
AU, 0-25	7.10	61.65	36.41	1.69	17.71	59.45	22.84	Фульватно-гуматный
AUhh, 25-45	5.74	14.57	17.12	0.85	7.21	55.66	37.13	Гуматно-фульватный
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 3-2017								
AU, 0-26	7.06	68.04	34.15	2.01	31.19	47.31	21.64	Фульватно-гуматный
AUhh, 26-47	6.03	20.28	14.00	1.45	7.05	67.60	25.35	Фульватно-гуматный
городище Охлебининское-II, урбанозем по темно-серой почве, Р. 1-2018								
AUur, 10-21	10.36	33.9	18.5	1.83	8.30	76.10	15.60	Фульватно-гуматный
AUhh, 84-102	3.84	38.1	19.6	1.94	3.40	74.30	22.30	Фульватно-гуматный
городище Охлебининское-II, почва темно-серая, Р. 2-2018 (фон)								
AU, 7-40	13.15	39.1	10.1	3.87	8.7.0	77.20	14.10	Гуматный

Примечания к таблице 3: ГК*– сумма фракций гуминовых кислот, ФК** – сумма фракций фульвокислот, ГК-1*** – гуминовые кислоты первой фракции, ГК-2**** – гуминовые кислоты второй фракции, ГК-3***** – гуминовые кислоты третьей фракции.

Растворы гуминовых кислот фракции ГК-2 оптически более плотные по сравнению с растворами гуминовых кислот первой и третьей фракции (табл. 4). Коэффициент цветности, представляющий отношение величины оптической плотности растворов гуминовых кислот при концентрации 1 мг/мл и выбранной паре длин волн 465 нм и 665 нм, показывает, что спектрофотометрические кривые растворов гуминовых кислот фракции ГК-2 для погребенных гумусовых горизонтов AUhh имеют более крутой характер расположения по отношению к фоновой почве, тогда как для современных дневных гумусовых горизонтов AU спектрофотометрические кривые по отношению к фоновой почве расположены более полого (табл. 4). Наибольшая величина оптической плотности растворов ГК-2 для горизонта AUur 10-21 (Р. 1-2018; табл. 4) и близкие к фоновым значения содержания ГК-2

(табл. 3), возможно, связаны с дополнительным антропогенным воздействием.

Сравнение спектрофотометрических кривых показывает, что для погребенных гумусовых горизонтов AUhh растворы фракции ГК-2 оптически более плотные и спектрофотометрические кривые располагаются над спектрофотометрической кривой фоновой почвы, а для современных гумусовых горизонтов дневной поверхности AU растворы фракции ГК-2 оказались оптически менее плотными и спектрофотометрические кривые расположились под спектрофотометрической кривой фоновой почвы (рис. 2).

Таблица 4. Оптическая плотность и коэффициент цветности гуминовых кислот 1-й, 2-й и 3-й фракции органического вещества почв археологических памятников Акбердинское-II, Шиповское и Охлебининское-II городище.

Горизонт, глубина, см	**Оптическая плотность Е 1 мг/мл ГК, 430 нм**			**Коэффициент цветности Е465 нм : Е665 нм**		
	1-я	**2-я**	**3-я**	**1-я**	**2-я**	**3-я**
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 1-2017						
AY, 0-30	-	-	-	-	-	-
городище Акбердинское-II, почва темно-серая лесная, Р. 2-2018						
AU, 12-32	16.30	26.84	43.48	5.20	3.84	5.20
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 2-2017						
AU, 0-25	12.68	18.18	14.29	6.76	2.91	4.87
AUhh, 25-45	10.77	32.07	17.56	7.96	4.23	4.27
городище Шиповское, почва темно-серая лесная, Р. 3-2017						
AU, 0-26	17.56	18.18	13.98	5.79	2.86	4.21
AUhh, 26-47	6.47	32.16	18.01	10.32	3.82	3.76
городище Охлебининское-II, урбанозем по темно-серой почве, Р. 1-2018						
AUur, 10-21	10.14	32.28	14.20	7.21	3.55	7.21
AUhh, 84-102	2.06	27.36	0.69	6.45	4.07	6.48
городище Охлебининское-II, почва темно-серая, Р. 2-2018 (фон)						
AU, 7-40	11.03	30.46	21.06	6.53	3.50	6.54

Можем предположить, что гуминовые кислоты в погребенных гумусовых горизонтах содержат более зрелое ароматическое ядро молекул ГК по сравнению с гуминовыми кислотами современных дневных гумусовых горизонтов. В целом, по величине оптической плотности при разных длинах волн растворы гуминовых кислот, на примере фракции ГК-2 для современных гумусовых горизонтов AU и погребенных гумусовых горизонтов AUhh, близки значениям фоновой почвы (рис. 2).

Дополнительно для препарата гуминовой кислоты, выделенного из гумусового горизонта AU, 0-30 см (Р. 1-2017), расположенного на современной дневной поверхности на территории Акбердинского-II городища, был записан спектр ^{13}C-ЯМР (рис. 3).

В спектральной области 0-47 ppm препарата ГК из горизонта AU, 0-30 см (Р. 1-2017) обнаружено несколько пиков, из которых наиболее острый 30 ppm соответствует незамещенным алифатическим фрагментам метиленовых атомов углерода, представляющим результат аккумуляции воско-смоло, липидов и суберинoвых структур клеток растений (Чуков и др., 2018). В интервале 47-60 ppm выделяется сигнал 55 ppm, обусловленный наличием лигниновых фрагментов. В спектральной области алифатических фрагментов, дважды замещенных гетероатомами 60-105 ppm, выделяется интенсивный пик 71 ppm, характерный для кольцевых атомов углерода, различных целлюлозных групп и других углеводных фрагментов (Чуков и др., 2018), что подтверждает пик 103 ppm. В спектральной области 105-144 ppm крупный пик 128 ppm обусловлен присутствием незамещенных и алкил-замещенных ароматических атомов углерода. В интервале кислород замещенных атомов углерода ароматических колец 144-164 ppm пик 146 ppm приближается к спектру 147-149 ppm

структурных блоков лигнина (Чуков и др., 2018). В спектральной области 164-183 ppm с углеродом карбоксильных групп связан пик 172 ppm. В спектральных областях хинонных групп и групп альдегидов и кетонов сигналы очень слабые (рис. 3).

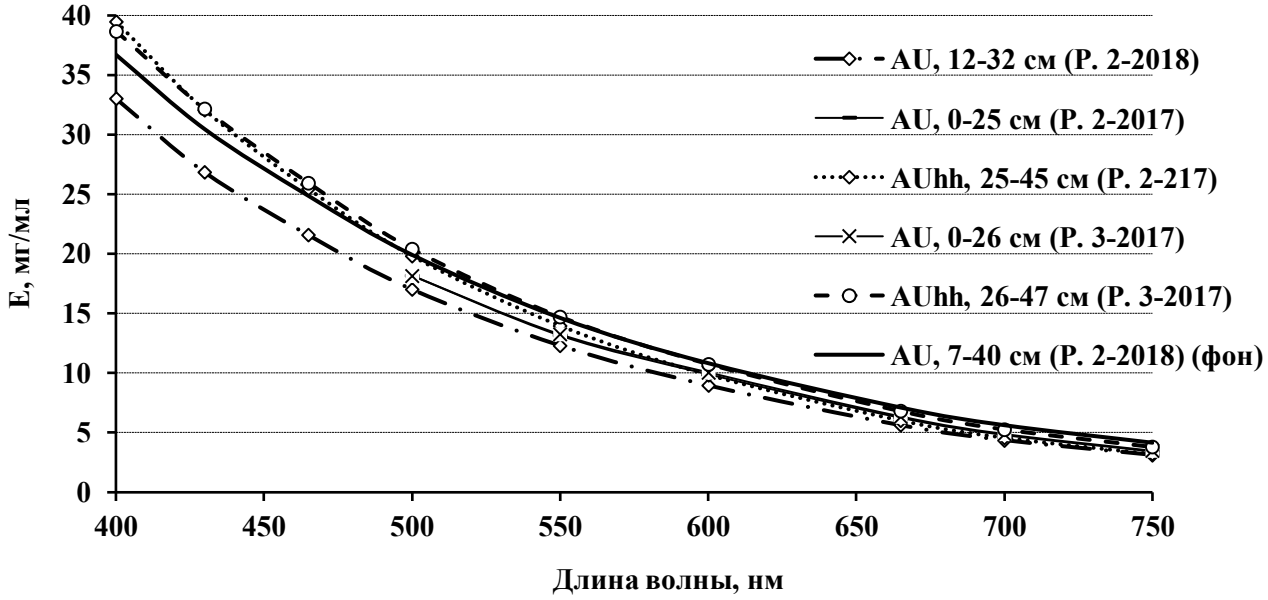

Рис. 2. Спектрофотометрические кривые растворов гуминовых кислот фракции ГК-2 для гумусовых горизонтов современных дневных почв: AU, 12-32 см (Р. 2-2018); AU, 0-25 см (Р. 2-2017); AU, 0-26 см (Р. 3-2017) для гумусовых горизонтов погребенных почв: AUhh, 25-45 см (Р. 2-2017); AUhh, 26-47 см (Р. 3-2017) и для фоновой почвы AU, 7-40 см (Р. 2-2018).

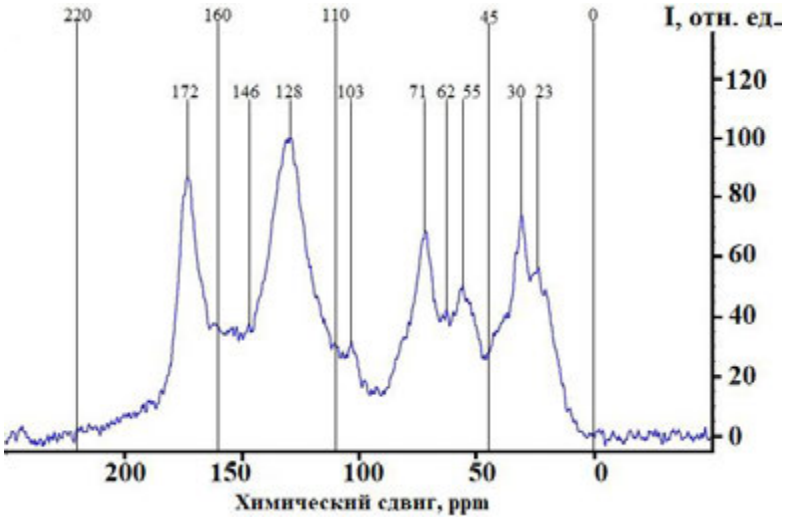

Рис. 3. ^{13}C ЯМР-спектр препарата гумусовых кислот для горизонта AU, 0-30 см (Р. 1-2017) современной дневной поверхности археологического памятника Акбердинское-II городище.

Несмотря на то что по морфологическим и физико-химическим признакам (цвет темно-серый, структура рассыпчатая, порошисто-комковатая, реакция среды близкая к нейтральной) гумусовый горизонт AU, 0-30 см (Р. 1-2017) археологического памятника Акбердинское-II городище диагностируется по типу серых лесных почв, современные инструментальные методы показывают, что по содержанию ароматических фрагментов в составе молекул гуминовых кислот органического вещества обстановка формирования органического вещества гумусового горизонта AU, 0-30 см (Р. 1-

2017) археологического памятника Акбердинское-II городище близка условиям черноземного типа почвообразования (табл. 5; Холодов и др., 2011; Чуков и др., 2018).

Таблица 5. Содержание углерода (в %) для структурных фрагментов молекул гуминовых кислот, горизонта AU, 0-30 см (Р. 1-2017), темно-серой лесной почвы городища Акбердинское-II, по данным ^{13}C-ЯМР спектроскопии.

Горизонт, глубина, см	Величина химического сдвига (ppm)				Ароматичность %
	0-45	45-110	110-160	160-220	
	C_{Alk}	C_{AlkO}	$C_{Ar}+C_{ArO}$	$C_{COOH}+C_{C=O}$	
AU, 0-30	18.73	20.3	44.14	16.84	0.53

Примечание к таблице 5: C_{Alk} – углерод алкильных групп, C_{AlkO} – алифатический углерод, связанный с кислородом, $C_{Ar}+C_{ArO}$ – незамещённый или С-замещённый ароматический углерод, $C_{COOH}+C_{C=O}$ – карбонильный и карбоксильный углерод.

По литературным данным (Холодов и др., 2011; Ларионова и др., 2015), сравнение почв зонального ряда европейской части России по результатам ^{13}C-ЯМР-спектроскопии показывает близость серых лесных почв черноземам обыкновенным и черноземам южным по содержанию в составе органического вещества фрагментов карбонильных групп, карбоксильных групп и алкильных групп. Серые лесные почвы отличаются от обыкновенных и южных черноземов увеличением доли О-арильных фрагментов и О-алкильных фрагментов и уменьшением доли арильных фрагментов в составе органического вещества почв (Холодов и др., 2011; Ларионова и др., 2015).

Заключение

Таким образом, изучено органическое вещество дневных и погребенных гумусовых горизонтов, почвенного покрова археологических памятников эпохи раннего железного века. Полученные результаты показывают, что мощность слоя современного гумусового горизонта AU, AUur до 30 см и погребенного гумусового горизонта AUhh до 21 см уступает значениям фоновой почвы AU, 33 см. Обстановка почвообразования по величине pH соответствует нейтральным и близким к нейтральным значениям. Содержание подвижных фосфатов, обменного калия и щелочногидролизуемого азота для современных гумусовых горизонтов AU, AUur на поверхности археологических памятников оказалось больше, чем в погребенных гумусовых горизонтах AUhh. Для валового фосфора содержание в погребенных гумусовых горизонтах, напротив, имеет большие значения, чем в современных дневных гумусовых горизонтах археологических памятников. Исследуемые почвы формируются на суглинистых и глинистых почвообразующих породах. Поглощающий комплекс насыщен катионами кальция. Тип гумуса в исследуемых почвах фульватно-гуматный, гуматный и гуматно-фульватный. В современных гумусовых горизонтах AU, AUur на дневной поверхности археологических памятников группа гуминовых кислот преобладает над фульвокислотами, тогда как для погребенных гумусовых горизонтов AUhh содержание группы гуминовых кислот приближается к значениям содержания фульвокислот. Гуминовые кислоты фракции ГК-2 преобладают как по содержанию, так и по величине оптической плотности растворов среди исследуемых фракций гуминовых кислот. Меньшие значения оптической плотности растворов гуминовых кислот фракции ГК-2 и более пологое расположение спектрофотометрических кривых для современных гумусовых горизонтов AU на дневной поверхности по сравнению с погребенными гумусовыми горизонтами AUhh могут говорить об аридизации современных климатических условий на территории исследуемых археологических памятников. Начало аридизации, по данным археологов, может быть датировано серединой IV в. до н.э. – рубежом II-I вв. до н.э. (Савельев и др., 2017). По результатам ^{13}C ЯМР-спектроскопии, органическое вещество исследуемых дневных почв, расположенных в пределах современной лесостепной зоны, соответствует условиям черноземного типа.

В целом, результаты комплексных исследований показывают усиление аридизации климата за последние 2100-2400 лет на исследуемой территории археологических памятников, расположенной в лесостепной зоне Республики Башкортостан, однако смены типа почвообразования не наблюдается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агрохимические методы исследования почв. 1976. М.: Наука. 656 с.

Ахтырцев Б.П. 1979. Серые лесные почвы Центральной России. Воронеж: изд-во ВГУ. 232 с.

Геннадиев А.Н. 1990. Почвы и время: модели развития. М.: МГУ. 230 с.

Галимова Р.Г. 2020. Оценка влияния современных климатических изменений в природных зонах Республики Башкортостан // Региональные геосистемы. № 44 (2). С. 125-137.

Галимова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Яманаев Г.А. 2019. Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан // Вестник ВГУ, сер. География. Геоэкология. № 6. С. 29-39.

Гольева А.А., Турова И.В. 2015. Фосфор в археологических объектах: формы, количество, устойчивость // Археология Подмосковья. № 11. С. 155-163.

Горбунов Н.И. 1974. Минералогия и коллоидная химия почв.М.: Наука. 314 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. 2015. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления // Фундаментальная и прикладная климатология. Т. 2. С. 41-62.

Демкин В.А., Демкина Т.С., Удальцов С.Н. 2014. Реконструкция погребальной пищи в глиняных сосудах из курганных захоронений с использованием фосфатного и микробиологических методов // Вестник археологии, антропологии и этнографии. № 2 (25). С. 148-159.

Качинский Н.А. 1958. Механический и микроагрегатный состав почв, методы его изучения. М.: изд-во АН СССР. 193 с.

Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Кузнецова Т.В., Шишлина Н.И., Борисов А.В. 2018. Динамика химических и микробиологических свойств почв пустынно степной зоны Юго-Востока Русской равнины во второй половине голоцена (IV тыс. до н.э.-XIII в. н.э.) // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 52-61. [*Kashirskaya N.N., Khomutova T.E., Kuznetsova T.V., Shishlina N.I., Borisov A.V.* 2018. Dynamics of Chemical and Microbiological Soil Properties in the Desert–Steppe Zone of the Southeast Russian Plain during the Second Part of the Holocene (4000 BC-XIII century AC) // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 38-46.]

Костенко И.В., Абакумов Е.В. 2018. Характеристика гуминовых кислот горно-луговых и буроземных почв Крыма методом ^{13}C-ЯМР // Почвоведение. № 12. С. 1446-1454.

Кузьмин Я.В. 2017. Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях. Томск: изд. дом Томского гос. ун-та. 396 с.

Ларионова А.А, Золотарева Б.Н., Колягин Ю.Г., Квиткина А.К., Каганов В.В., Кудеяров В.Н. 2015. Состав структурных фрагментов и интенсивность минерализации органического вещества в почвах зонального ряда // Почвоведение. № 5. С. 1232-1241.

Макаров И.А. 2013. Глобальное изменение климата как вызов мировой экономике и экономической науке // Экономический журнал ВШЭ. № 3. С. 479-496.

Невидомская Д.Г., Ильина Л.П. 2009. Почвенные исследования археологических памятников бронзового века в различных типоморфных ландшафтах Нижнего Дона // Вестник Южного Научного Центра РАН. Т. 5. № 2. С. 73-83.

Овчинников А.Ю., Выборнов А.А., Кулькова М.А. Занина О.Г., Лопатина Д.А., Дога Н.С., Юдин А.И., Алифанов В.М. 2020. Почвенно-экологические условия на нео-энеолитическом поселении «Орошаемое» в Нижнем Поволжье // Почвоведение. № 2. С. 165-177.

Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. 2008 / Ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: ЛКИ. 692с.

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. 2008. Особенности проявления современного глобального потепления климата в различных регионах Северного полушария в последние десятилетия // Вестник Удмуртского университета. Вып. 2. С. 3-14.

Полевой определитель почв. 2008. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева. 182 с.

Плеханова Л.Н. 2009. Палеопочвенные исследования археологического памятника «Поселение Ново-Байрамгуловское (Бакшай)», расположенное на территории Башкирского Зауралья // Вестник ВЭГУ. № 6. С. 56-68.

Почвы Башкортостана. Т. 1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика. 1995 / Сост. Ф.Х. Хазиев, А.Х. Мукатанов, И.К. Хабиров, Г.А. Кольцова, И.М. Габбасова, Р.Я. Рамазанов. Ред. Ф.Х. Хазиев. Уфа: Гилем. 384с.

Приходько В.Е., Рогозин Е.П., Чаплыгин М.С. 2016. Реконструкция климата, почв и растительности срубного времени на основании исследования курганов Предуральской лесостепи Республики Башкортостан // Почвоведение. № 9. С. 1052-1067.

Пшеничнюк А.Х. 1968. Охлебининский могильник // Археология и этнография Башкирии, Т. 3 / Ред. Н.В. Бикбулатов, Р.Г. Кузеев. Уфа: БФ АН СССР. С. 59-104.

Савельев Н.С., Овсянников В.В., Курманов Р.Г. 2017. Природные и этнокультурные трансформации на рубеже эр в лесостепи Южного Приуралья (по данным городища Акбердино-II) // V (XXI) Всероссийский

археологический съезд: сборник научных трудов / Ред. А.П. Деревянко, А.А. Тишкин. Барнаул: ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет». С. 900-901. [Электронный ресурс https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29999610 (дата обращения 18.12.2020)].

Савельев Н.С., Курманов Р.Г., Сулейманов Р.Р. 2018. Первые результаты комплексных исследований Шиповского городища в лесостепи Южного Приуралья // Материалы всероссийской научной конференции с международным участием: XXI Уральское археологическое совещание, посвященное 85-летию со дня рождения Г.И. Матвеевой и 70-летию со дня рождения И.Б. Васильева. Самара: изд-во СГСПУ. С. 242-244.

Сафонов Г.В. 2008. Проблема глобального изменения климата и «Большая восьмерка» // Вестник международных организаций. № 5 (20). С. 36-40.

Сулейманов Р.Р., Обыденнова Г.Т. 2006. Почвенно-археологическое исследование поселения бронзового века в пойме р. Уршак (Башкирия) // Почвоведение. № 8. С. 914-920.

Сулейманов Р.Р., Овсянников А.Г., Колонских А.Г., Абакумов Е.В., Кунгурцев А.Я., Сулейманов А.Р. 2020. Почвенно-археологическое исследование средневеково Вотикеевского комплекса в северной лесостепной зоне Южного Предуралья // Почвоведение. № 3. С. 279-290.

Теория и практика химического анализа почв. 2006 /Ред. Л.А. Воробьева. М.: ГЕОС. 400с.

Физико-географическое районирование Башкирской АССР. 1964 / Ред. И.П. Кадильников. Уфа. 210 с.

Харинский А.В., Андерсон Д., Стерхова И.В. 2009. Фосфатный метод в этноархеологических исследованиях // Теория и практика археологических исследований. № 5. С. 65-68.

Холодов В.А., Константинов А.И., Кудрявцев А.В., Перминов И.В. 2011. Строение гуминовых кислот почв зонального ряда по данным спектроскопии ЯМР ^{13}C // Почвоведение. № 9. С. 1064-1073.

Чуков С.Н. 2001. Структурно-функционаьные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. 216с.

Чуков С.Н., Лодыгин Е.Д., Абакумов Е.В. 2018. Использование ^{13}C ЯМР-спектроскопии в исследовании органического вещества почв (обзор) // Почвоведение. № 8. С. 952-964.

Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. 2015 / Ред. Н.В. Кудеяров, И.В. Иванов. М.: ГЕОС. 925 с.

Golyeva A., Khokhlova O., Shcherbakov N., Shuteleva I. 2016. Negative effects of Bronze Age human activity on modern soils and landscapes, a case-study on the Muradymovo settlement, Urals, Russia // Interdisciplinaria Archaeologica. Natural Sciences in Archaeology. Vol. 2. P. 169-178.

Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov N., Shuteleva I. 2018. Micromorphological and chemical features of soils as evidence of Bronze Age ancient anthropogenic impact (Late Bronze Age Muradymovo settlement, Ural region, Russia) // Geosciences. Vol. 8 (9). P. 313 (1-12).

Khokhlova O., Sverchkova A., Myakshina T., Makeev A., Tregub T. 2020. Environmental trends during the Bronze Age recorder in paleosols buried under a big kurgan in the steppes of the Ponto-Caspian area // Quaternary international. Vol. 541. P. 1.

Limburg M. 2014. New systematic errors in anomalies of global mean temperature time-series // Energy & Environment. Vol. 25. No. 1. P. 105-122.

Makeev A., Rusakov A., Kurbanova F., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Malinovskiy E., Egle M., Denisova E., Aseyeva E., Rusakova E., Mihailov E. 2020. Soils archaeological monuments of the bronze age – a key to the Holocene landscape dynamics in the broadleaf forest area of the Russian Plain // Quaternary international. P. 1-15.

Rusakov A., Makeev A., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Chernov T., Golyeva A., Popov A., Kurbanova F., Puzanova T. 2019. Paleoenvironmental reconstruction based on soil buried under Scythian fortification in the southern forest-steppe area of the East European Plain // Quaternary international. P. 197-217.

Welte E. 1955. Neuere Ergebnisse der Humusforschung // Angewandte Chemie. Vol. 67. No. 5. P. 153-155.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 70-76

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.1 (575.13)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ *CRAMBE EDENTULA* FISCH. & C.A. MEY. EX KORSH. НА ПЛАТО УСТЮРТ В УЗБЕКИСТАНЕ

© 2021 г. Н.К. Рахимова*, Т. Рахимова*, Б.А. Адилов*, Ш.Б. Тамамбетова, Ф.И. Полвонов***

**Институт ботаники АН Республики Узбекистан*
Узбекистан, 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 32. E-mail: rakhimovanodi@mail.ru
**Нукусский государственный педагогический институт им. Ажинияза*
Узбекистан, Республика Каракалпакстан, 230100, г. Нукус, ул. Дустназарова, д. 104

Поступила в редакцию 01.02.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Статья посвящена оценке состояния онтогенетической структуры редкого вида *Crambe edentula* Fisch.&C.A. Mey. ex Korsh., произрастающего в Каракалпакской части Устюрта. Исследование показало, что в эколого-ценотических условиях Устюрта изученные ценопопуляции нормальные, в основном неполночленные. Характерный онтогенетический спектр для *C. edentula* центрированный за счет увеличения длительности жизни особей в зрелом генеративном состоянии и плохого семенного возобновления. Онтогенетические спектры ценопопуляций не совпадают с характерным. Спектры конкретных ценопопуляций – левосторонние и правосторонние, что связано с экологическими условиями обитания и колебаниями погодных условий.

Ключевые слова: плато Устюрт, развитие инфраструктуры, эндемики, редкие виды растений, онтогенетическая структура, возрастность и эффективность ценопопуляций.
DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-70-76

В бывшем СССР род *Crambe* L. (катран) насчитывает 18 видов, входит в семейство капустные (Brassicaceae). Представители рода – однолетние и многолетние травы или полукустарники. В кормовом отношении род исключительно интересен, но почти не изучен, имеются сведения только в отношении 3 видов: *Crambe edentula* Fisch. et C.A. Mey. ex Korsh., *C. kotschyana* Boiss, *C. tataria* Sebeok (Ларин и др., 1951). Все изученные виды являются хорошими кормовыми растениями и представляют интересные объекты для испытания в культуре в качестве силосных, кормовых и пищевых корнеплодов. В Средней Азии произрастают 6 вида рода *Crambe* L.: *C. amabilis* Butkov et Majlun, *C. cretacea* Czerniak., *C. edentula* Fisch. et C.A. Mey. ex Korsh., *C. gordjaginii* Sprygin et Popov, *C. kotschyana* Boiss, *C. schugnana* Korsh. (Khassanov, 2015). Из них в Узбекистане встречаются 4 вида: *C. kotschyana* Boiss, *C. edentula* Fisch. et C.A. Mey. ex Korsh., *C. gordjaginii* Sprygin et Popov, *C. schugnana* Korsh. (Бочанцев, Введенский, 1955).

Х.Ф. Шомуродовым с соавторами (2015) охарактеризовано распространение некоторых редких не занесенных в Красную книгу Узбекистана видов, произрастающих в Каракалпакской части Устюрта. Один из таких видов – *Crambe edentula* Fisch. & C.A. Mey., произрастающий на осыпях, скалах и по глинистым склонам оврагов, преимущественно распространен на восточном побережье Каспийского моря (Мангышлак, Устюрт, Большие Балханы) и в Копет-Даге. В Каракалпакской части Устюрта ими отмечен лишь *C. edentula* на южном чинке в северной части оз. Сарыкамыш (42° 12' 86" с.ш., 57° 38' 67" в.д.) на глинистом склоне под обрывом. На описываемом участке количество особей насчитывает 9 шт.

А. Алланиязов и Б. Сарыбаев (1983) в своей работе «Эколого-геоботанические особенности пастбищ Каракалпакской части Устюрта» указали, что *Crambe edentula* – многолетнее растение, встречается на осыпях, скалах, по глинистым склонам оврагов. Собрано в окрестностях колодцев Дахлы, Гокленкуйи, Казахлы и на северном берегу озера Сарыкамыш. Растет зарослями, иногда отдельно по смытым склонам оврагов, на каменисто-щебнистой и мелкоземистой почвах. Ареал вида – Устюрт, Кызылкумы, полуостров Мангышлак, восточное побережье Каспийского моря, Большие Балханы и Копет-Даг.

По данным П.В. Веселовой (2012), *Crambe edentula* включен в Красную книгу Казахстана (1981), как юго-западно-туранский (или восточно-прикаспийский) редкий, реликтовый вид. В пределах Северного Турана встречается на Мангышлаке и Устюрте. Произрастает обычно в труднодоступных для человека и домашнего скота местах, в частности, по краям чинков, каньонов, меловым горкам. Охраняется в Устюртском заповеднике. Согласно исследованиям, проводившимся в рамках создания «Государственного кадастра растений Мангистауской области» (2004-2006 гг.), состояние (численность, динамика возрастного состава и т.д.) природных популяций катрана беззубого не вызывает опасения. Это обстоятельство в совокупности с включением *C. edentula* в Красную книгу Мангистауской области и охраной вида на региональном уровне дает основание к рекомендации по исключению его из списка редких видов республиканской Красной книги.

Изучено два редких и интересных вида *Crambe edentula* (Brassicaceae) и *Crinitaria grimmii* (Asteraceae) в Иране (Amiri et al., 2018). *C. edentula* очень редок в Иране, и известно только одно местонахождение. В частности, в последнее время его среда обитания сильно пострадала от дорожного строительства и интенсивного выпаса. Поэтому рекомендуется охранять территорию и размножать вид в Ботанических садах Ирана.

Территория исследования – Устюрт представляет собой приподнятое плато с абсолютными высотами 160-300 м н.у.м. БС. Почти со всех сторон плато ограничено обрывами или чинками. На севере Устюрт граничит с Прикаспийской низменностью, на востоке – с осушенным дном Аральского моря, на юге – с дельтой Амударьи и Сарыкамышской впадиной, на западе – с Каспийским морем. На территории плато проходят границы Узбекистана, Туркменистана и Казахстана, а общая площадь Устюрта составляет 21.2 млн. га, из неё на Каракалпакскую часть приходится 7.2 млн. га. Климат Устюрта резко континентальный, характеризуется жарким сухим летом и довольно суровой зимой, сопровождающейся сильными ветрами, малым количеством атмосферных осадков, высокой испаряемостью и резкой сменой температур по сезонам года и в течение суток (Житомирская, Сабинина, 1963). Абсолютная максимальная температура – +45.5°C (июль), минимальная – -37.0°C (январь). Среднее годовое количество осадков не превышает 120 мм. С ухудшением экологических условий наблюдаются продолжительные суровые зимы и жаркое сухое лето. Количество атмосферных осадков в настоящее время по сравнению с 1970-1980 годами уменьшилось на 20-30 мм. Засоленность почвы повысилась в 1.2-1.5 раза (Rakhimova et al., 2020).

В связи с экстремальными экологическими условиями, возникшими в результате изменения климата и развития промышленности в регионе, целью исследования является оценка современного состояния ценотических популяций редкого вида *Crambe edentula*, произрастающего в Каракалпакской части Устюрта.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлось: *Crambe edentula* – катран беззубый (Brassicaceae) встречается в Кара-Калпакии (Усть-Урт) по склонам оврагов. Корень деревянистый. Стеблей один или несколько, 45-55 см в высоту, они голые, ребристые, ветвистые, вверху безлистные, снизу олиственные. Листья сердцевидно-овальные, 4-12 см длиной и шириной, в основании сердцевидные, с обеих сторон и по черешку жесткоресничатые, цельнокрайние или угловато-зубчатые; верхние стеблевые линейно-шиповидные. Соцветие редкое, ветвистое, веточки удлиненные. Чашелистики продолговатые, голые, около 3 мм дл. Лепестки белые, продолговато обратно яйцевидные, к основанию суженные, 5-7 мм длиной, 2.5-3 мм шириной. Нити тычинок без зубцов, но у длинных с одного боку расширенные. Плодоножки прямостоячие, до 7 мм в длину. Верхний членик стручочка твердый, гладкий, сизый, эллипсоидальный, до 2 мм дл. Цветет и плодоносит с апреля по май (Бочанцев, Введенский, 1955).

Геоботанические описания сделаны во всех сообществах, где изучали популяционную структуру видов, по общепринятой методике (Полевая геоботаника, 1964). При идентификации видовой принадлежности растений использовали «Определитель растений Средней Азии» (1993). Ценопопуляции описывали, согласно классификациям А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), тип ценопопуляции – по классификации «дельта-омега» (Δ-ω) Л.А. Животовского (2001).

Результаты и обсуждение

В ходе экспедиций, организованных в течение 2019-2020 гг. в рамках проекта «Современные

тенденции развития растительности и животного мира Устюрта в процессе опустынивания», было оценено современное состояние довольно редкого, не занесенного в Красную книгу Республики Узбекистан вида – *Crambe edentula* (рис. 1).

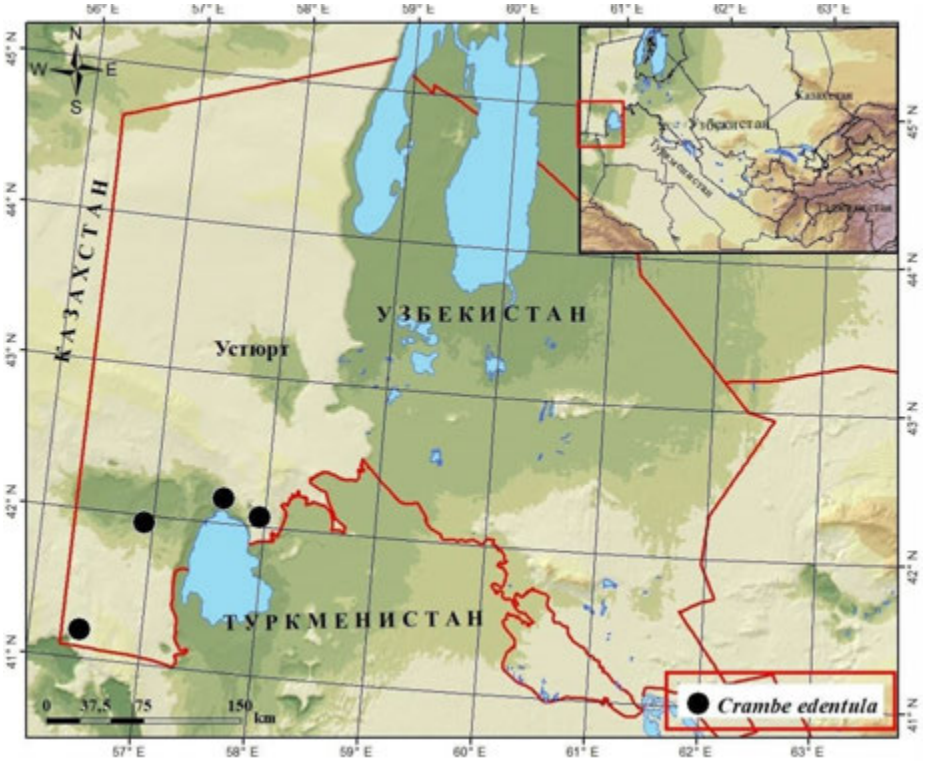

Рис. 1. Карта распространения *Crambe edentula* на Устюрте (в пределах Каракалпакстана, Узбекистан).

Ниже дается краткая эколого-фитоценотическая характеристика выявленных четырех сообществ с участием *C. edentula*.

Первая ценопопуляция (ЦП) *C. edentula* найдена в районе Капланкыр в составе дерезово-катранового (*Crambe edentula, Lycium ruthenicum* Murray) сообщества. Почва описываемой территории – песчаная. Географические координаты: 41° 42' 90" с.ш. 56° 16' 34" в.д.. В растительном сообществе преобладает *C. edentula*. Проективное покрытие травостоя составляет 8%. На месте произрастания данной ценопопуляции, зарегистрировано 18 видов сосудистых растений. Из них кустарников – 3, полукустарников – 5, многолетников – 4 и однолетников – 6.

В составе кейреуково-саксаулово-караганового (*Caragana grandiflora*(M. Bieb.) DC., *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin, *Salsola orientalis* S.G. Gmel.) сообщества (изучена в районе Шорджа) *C. edentula* встречается как его участник. Почва описываемой территории – гипсоносная. Географические координаты: 42° 43' 76" с.ш., 57° 36' 94" в.д. ЦП 2 растет в сухом сае под обрывами, где в растительном сообществе доминантами и субдоминантами являются *Caragana grandiflora, Haloxylon aphyllum* и *Salsola orientalis.* Проективное покрытие травостоя – 12%. Ботанический состав сообщества представлен 19 видами цветковых растений. Из них кустарников – 3, полукустарников – 4, многолетников – 6 и однолетников – 6 видов.

Третья ценопопуляция исследуемого вида найдена в северной части побережья оз. Сарыкамыш в составе полынно-саксаулового (*Haloxylon aphyllum, Artemisia terrae-albae* Krasch., *A. diffusa* Krasch. ex Poljakov) сообщества между ущельями чинка в сае. Почва описываемой территории – гипсоносная. Географические координаты: 56° 65' 11" в.д., 42° 21' 54" с.ш. В растительном сообществе преобладает *Haloxylon aphyllum*. Проективное покрытие травостоя составляет 15%, *C. edentula* встречается как участник сообщества. На месте произрастания данной ценопопуляции, зарегистрировано 13 видов сосудистых растений. Из них кустарников – 4, полукустарников – 2,

многолетников – 5 и однолетников – 2.

Четвертая ценопопуляция *C. edentula* отмечена в восточной части побережья оз. Сарыкамыш (8 км к северу от границы Туркмении) в составе курчавково-белоземельнополынного (*Artemisia terrae-albae, Atraphaxis spinosa* L.) сообщества вдоль сухого водотока. Почва описываемой территории – песчаная. Географические координаты: 57° 71' 36" в.д., 42° 33' 20" с.ш. В растительном сообществе преобладает *Artemisia terrae-albae.* Проективное покрытие травостоя составляет 10%, *C. edentula* встречается как участник сообщества. На месте произрастания данной ценопопуляции, зарегистрировано 10 видов сосудистых растений (таблица). Из них кустарников – 2, полукустарников – 4, многолетников – 3 и однолетников – 1.

Таблица. Характеристика растительных сообществ с участием исследованных ценопопуляций *Crambe edentula*.

№	Название растений	Обилие видов сообществ			
		ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4
Кустарники					
1	*Atraphaxis spinosa* L.	-	-	+	3
2	*Caragana grandiflora* (M. Bieb.) DC.	-	5	-	-
3	*Convolvulus fruticosus* Pall.	+	+	+	1
4	*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin	1	3	8	-
5	*Lycium ruthenicum* Murray	2	-	1	-
Полукустарники					
6	*Anabasis salsa* (C.A. Mey.) Benth. ex Volkens	+	-	-	+
7	*Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljakov	+	+	6	-
8	*A. terrae-albae* Krasch.	1	-	-	4
9	*Nanophyton erinaceum* (Pall.) Bunge	-	+	-	+
10	*Salsola arbuscula* Pall.	+	+	-	2
11	*S. chiwensis* Popov	-	-	+	-
12	*S. orientalis* S.G. Gmel.	+	3	-	-
Травянистые многолетники					
13	*Acroptilon repens* (L.) DC.	+	-	+	-
14	*Allium borszczowii* Regel	-	-	-	+
15	*Anabasis brachiata* Fisch.&C.A. Mey. ex Kar. &Kir.	-	+	-	+
16	*Capparis spinosa* L.	+	+	+	-
17	*Cistanche salsa* (C.A. Mey.) Beck	-	+	-	-
18	*Crambe edentula* Fisch.&C.A. Mey. ex Korsh.	3	+	+	+
19	*Echinops dubjanskyi* Iljin	-	-	+	-
20	*Haplophyllum obtusifolium* (Ledeb.) Ledeb.	+	+	-	-
21	*Meristotropis triphylla* (Fisch.&C.A. Mey.) Fisch.&C.A. Mey.	-	+	-	-
22	*Zosima absinthifolia* (Vent.) Link	-	-	+	-
Однолетники					
23	*Astragalus bakaliensis* Bunge	-	+	-	-
24	*Diptychocarpus strictus* (Fisch. ex M. Bieb.) Trautv.	+	+	-	-
25	*Eremopyrum bonaepartis* (Spreng.) Nevski	+	+	+	-
26	*Koelpinia linearis* Pall.	+	+	-	-
27	*Salsola pestifer* A. Nelson	+	-	-	+
28	*Strigosella scorpioides* (Bunge) Botsch.	+	+	+	-
29	*Ziziphora tenuior* L.	+	+	-	-

Для оценки состояния ценотических популяций в различных местообитаниях изучена онтогенетическая структура четырех ЦП *C. edentula.* Онтогенетическая структура ценотических

популяций исследуемого вида ранее не изучалась. По классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), изученные ценопопуляции *C. edentula* нормальные, но неполночленные. По особенностям биологии вида характерный онтогенетический спектр для *C. edentula* должен быть центрированным за счет увеличения длительности жизни особей в зрелом генеративном состоянии и плохого семенного возобновления. Проведенные исследования онтогенетической структуры изученных ценопопуляций выявило два типа спектра: левосторонний (ЦП 1, 2 и 3) и правосторонний (ЦП 4). Онтогенетические спектры ЦП не совпадают с характерным.

Абсолютный максимум в ЦП 2 (50%) и 3 (31.8%) приходится на молодую генеративную фракцию. Подобный вариант онтогенетического спектра формируется при наибольшей продолжительности развития особей в данном возрастном состоянии, наименьшей их элиминации и затрудненном прорастании семян. Обследованные ЦП произрастают в сухом сае в тени под обрывом. Отсутствие ювенильных и имматурных особей в ЦП 2 – результат нерегулярности семенного возобновления. Это связано с экологическими условиями обитания (с характером и влажностью субстрата и колебаниями погодных условий). Осенне-зимне-весенние осадки легко вымывают семена из осыпи и тем самым препятствуют широкому расселению растений. Кроме того, обвалы обрывов нередко уничтожают молодые особи. Исключительная сухость климата и постоянство сильных ветров создают крайне неблагоприятные условия. Вследствие затруднения водоснабжения особи разных возрастных состояний исследуемого вида вынуждены быстро переходить от виргинильного периода к генеративному, отчего ускоряется наступление периода вынужденного покоя. В течение вегетационного периода новые проростки появляются как вегетативным, так и семенным путем. Но они в большинстве случаев не доживают до генеративного или сенильного периодов. Особи отмирают в разных возрастных состояниях и периодах большего жизненного цикла (Шалпыков, 2014). Отсутствие субсенильных и сенильных особей свидетельствует о сукцессивном состоянии ЦП 1, 2, 4. Значительные колебания в ЦП 3 субсенильных возрастных групп – ответная реакция растений на экстремальные условиям среды (рис. 2).

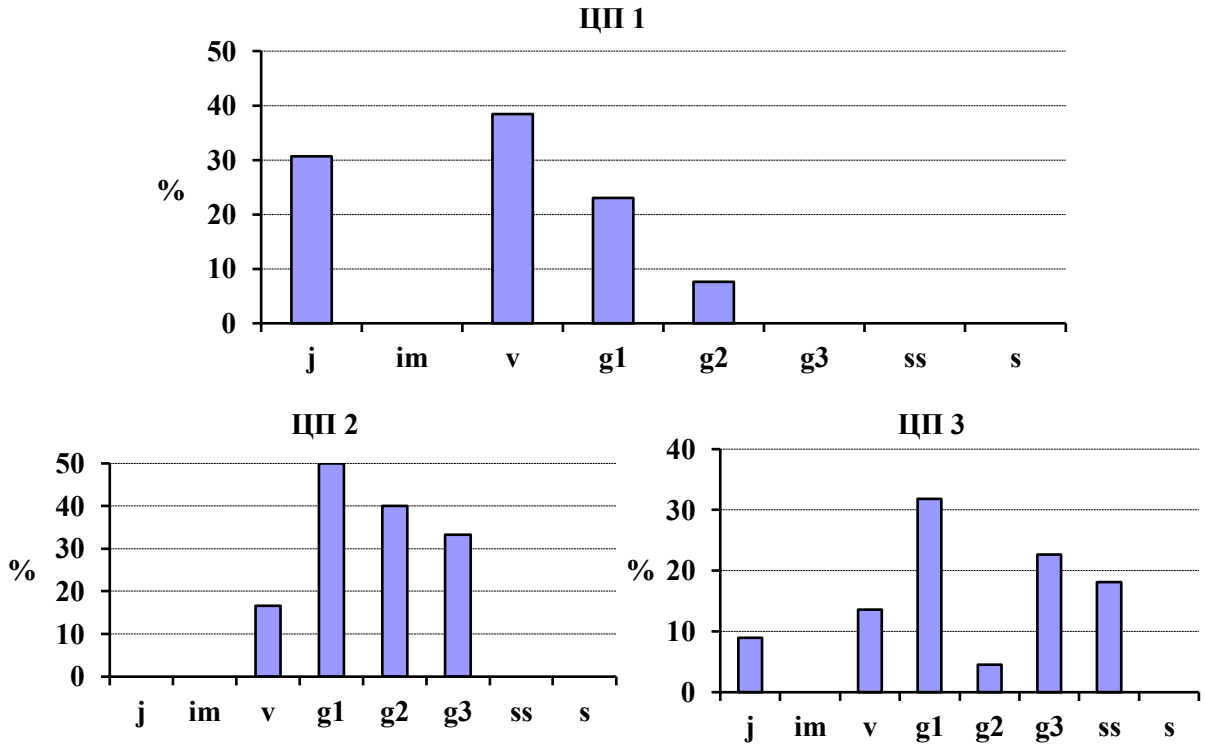

Рис. 2. Левосторонний онтогенетический спектр *Crambe edentula*. *Условные обозначения для рисунков 2-3.* Состояние экземпляров растений в популяции: j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное, g1 – молодое генеративное, g2 – средневозрастное генеративное, g3 – старовозрастное генеративное, ss – субсенильное, s – сенильное.

В ЦП 4 происходит накопление особей старого генеративного состояния (40%). Данный вариант спектра формируется на более открытой местности и более обеспечен солнечными лучами в течение всего дня. Это ответная реакция особей на экстремальные условия, в которых старые генеративные растения замедляют жизненные процессы, а молодая фракция, наоборот, ускоряет (рис. 3).

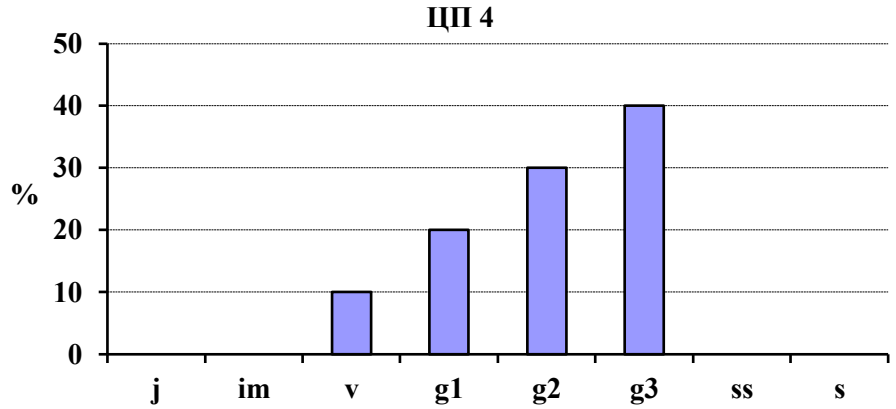

Рис. 3. Правосторонний онтогенетический спектр *Crambe edentula*.

Здесь тоже отсутствуют проростки. Нулевые значения подроста, скорее всего, связаны с почвенной эрозией. Невысокая доля генеративных особей связана с быстрыми темпами развития и перехода на следующий этап развития.

Первая ценопопуляция *Crambe edentula*, исходя из соотношения значения дельта-омега, оценивается как молодая (Δ=0.15, ω=0.44), вторая – как зреющая (Δ=0.32, ω=0.79), третья – как переходная (Δ=0.45, ω=0.61), а четвертая – как зрелая (Δ=0.50, ω=0.81; рис. 4).

Рис. 4. Типы ценопопуляций *Crambe edentula*.

Заключение

Таким образом, на основании изучения структуры ценопопуляций *C. edentula*, произрастающих на плато Устюрт, оценено современное состояние вида. Исследованные ценопопуляции *C. edentula* нормальные, но неполночленные. Онтогенетические спектры конкретных ценопопуляций – левосторонние и правосторонние. Онтогенетический спектр ценопопуляций не соответствуют характерному и не отражает биологические особенности особей данного вида. Онтогенетическая

структура видов связана с эколого-ценотическими условиями произрастания и колебаниями погодных условий. *C. edentula* можно считать угрожаемым видом, т.к. все исследованные ценопопуляции неполночленные из-за отсутствия фракции молодых особей. Об этом свидетельствуют и типы ценопопуляций, которые оценены как молодая, зреющая, переходная и зрелая.

Исследуемый вид рекомендуется для внесения в Красную книгу Республики Узбекистан. Общая площадь популяций – не более 6 гектаров. Численность популяций в пределах изученных ценопопуляций не превышает 500 особей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алланиязов А., Сарыбаев Б. 1983. Эколого-геоботанические особенности пастбищ Каракалпакской части Устюрта. Ташкент: Фан. С. 112-113.

Бочанцев В.П., Введенский А.И. 1955. Сем. Cruciferae // Флора Узбекистана. Т. 3. Ташкент. С. 184-186.

Веселова П.В. 2012. О редких видах сем. Brassicaceae Burnett Северного Турана, нуждающихся в охране // Естественные науки. № 2 (39). С. 9-13.

Животовский Л.А. 2001. Онтогенетическое состояние, эффективная плотность и классификация популяций // Экология. Т. 2. № 1. С. 3-7.

Житомирская О.М., Сабинина И.Г. 1963. Климатические описания Устюрта. Л.: Гидрометеоиздат. 60 с.

Ларин И.В., Агабабян Ш.М., Работнов Т.А., Любская А.Ф., Ларина В.К., Касименко М.А. 1951. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. Т. II. М.-Л. С. 454-455.

Определитель растений Средней Азии. 1993. Т. X. Ташкент: Фан. 690 с.

Полевая геоботаника. 1964 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. М.-Л.: АН СССР. Т. 3. 530 с.

Уранов А.А., Смирнова О.В. 1969. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. Т. 74. № 2. С. 119-134.

Шалпыков К.Т. 2014. Онтогенетическая структура ценопопуляций основных жизненных форм пустынных растений Прииссыккулья // Современные проблемы науки и образования. Пенза. С. 177.

Шомуродов Х.Ф., Сарибаева Ш.У., Ахмедов А. 2015. Распространение и современное состояние редких видов растений на плато Устюрт в Узбекистане // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 75-83. [*Shomurodov H.F., Saribayeva Sh.U., Akhmedov A.* 2015. Distribution pattern and modern status of rare plant species on the Ustyurt Plateau in Uzbekistan // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 4. P. 261-267.]

Amiri M.S., Mehrvarz Sh.S., Jonarchi M.R. 2018. Two new records of vascular plants for the flora of Iran // Phytologia balcanica. Sofia. No. 24 (2). P. 243-247.

Khassanov F.O. 2015. Conspectus Florae Asiae Mediae. T. XI. Tashkent. P. 88-89.

Rakhimova T., Rakhimova N.K., Shomurodov Kh.F., Abduraimov O.S. 2020. Ontogenetic structure of rare plant spesies on the Usturt Plateau in Uzbekistan // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 238-243.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 77-85

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 591.9

Посвящается памяти
Виктора Арсентьевича Токарского

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СТЕПНОГО СУРКА НА РУССКОЙ РАВНИНЕ В ИСТОРИЧЕСКОМ ПРОШЛОМ: КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР

© 2021 г. В.Ю. Румянцев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: vyurum@biogeo.ru

Поступила в редакцию 20.11.2020. После доработки 01.12.2020. Принята к публикации 01.07.2021

Исторические изменения в распространении степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) на Русской равнине представляли и представляют значительный интерес для специалистов. В известных исследованиях соответствующие сведения о местах встреч сурка в тот или иной период представлены главным образом в виде пространных текстовых описаний, что сильно затрудняет восприятие и анализ такого материала. Решение этой проблемы возможно лишь с использованием современных картографических методов. В настоящей работе известные сведения об историческом размещении байбака обобщены в картографической форме с использованием актуальных ГИС-технологий. Дальнейший анализ результатов работы может позволить существенно уточнить детали размещения байбака на Русской равнине в исторический период, в особенности, в связи с природными особенностями предпочитаемых сурком местообитаний.

Ключевые слова: степной сурок, *Marmota bobak* Müll., Русская равнина, исторические изменения распространения, картографические методы, ГИС-технологии.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-77-85

Исторические изменения распространения степного сурка (байбака) – *Marmota bobak* Müll. – на Русской равнине представляли и представляют значительный интерес для специалистов (Бибиков и др., 1990; Румянцев и др., 1996; Бибиков, Румянцев, 1997). Обстоятельный обзор соответствующих публикаций и архивных материалов за период с конца XVII в. по первую треть XX в. был выполнен С.В. Кириковым (1959, 1966, 1980). Ценные опубликованные и архивные данные о былом размещении байбака в пределах современной Украины также обобщены в работах В.А. Токарского (1997а, б).

В названных исследованиях сведения о распространении байбака представлены преимущественно в виде довольно многословных текстовых описаний пунктов или районов находок сурка в тот или иной период, нередко с использованием устаревших географических названий. Это значительно затрудняет восприятие таких данных и, соответственно, их обобщение и анализ в связи с природными условиями местообитаний сурка и антропогенной трансформацией последних. Решение такой проблемы возможно лишь с использованием картографических методов.

Цель настоящей работы – обобщение известных сведений об историческом размещении байбака в картографической форме с использованием современных ГИС-технологий. Задачами являлись: систематизация имеющихся материалов и их сведение, по возможности, в компьютерную базу данных; локализация известных мест находок сурка на карте; создание единой карты-основы и размещение на ней известных локалитетов средствами ГИС.

Материалы и методы

Основными материалами послужили текстовые сведения, содержащиеся в публикациях С.В. Кирикова (1959, 1966, 1980) и В.А. Токарского (1997а, б). Эти данные нами структурированы и обобщены в кадастровой таблице 1. Каждое упоминание сурка в кадастре было локализовано на карте с точностью, которую допускали само описание и доступные картографические источники. В дополнение к кадастру использованы результаты анализа данных, содержащихся в выборке из

«Экономических Примечаний к Генеральному Межеванию Российской Империи», ранее нами организованных в ГИС (Rumiantsev et al., 2013, 2018; Румянцев и др., 2014, 2015а, б, 2018).

Таблица 1. Фрагмент базы данных ГИС-кадастра находок байбака в историческом прошлом.

ID	Vek	Vek_N	Period	Adres	Strana	Str_Chast	Pervoistoch[1]	Istochnik	Prime-chan
1	XIX	19	60-е гг.	Киевский уезд, около Белой Церкви	Украина	Западнее Днепра	Познанский, 1878	Кириков, 1980	Сев. граница
2	XVIII	18	конец	Близ дороги Киев-Нежин	Украина	Восточнее Днепра	Guldenstadt, 1791	Кириков, 1980	Сев. граница
3	XVIII	18	конец	В окрестностях Батурина	Украина	Восточнее Днепра	Guldenstadt, 1791	Кириков, 1980	Сев. граница
4	XX	20	1917-1919 гг.	Около. ст. Плиска (Питки) по дороге Нежин-Бахмач	Украина	Восточнее Днепра	Огнев, 1947	Кириков, 1980	Сев. граница
5	XIX	19	начало	Граница Карачевского и Волховского уездов Орловской губ. с Жиздринским и Козельским уездами Калужской губ.	Россия	До Волги	Зельницкий, 1804	Кириков, 1980	Сев. граница
6	XIX	19	сере-дина	Рязанская губ., окр. г. Михайлова	Россия	До Волги	Сельская летопись, 1854	Кириков, 1980	Сев. граница
7	XIX	19	сере-дина	Окр. г. Сергача	Россия	До Волги	Эверсманн, 1850	Кириков, 1980	Сев. граница
8	XIX	19	сере-дина	Близ г. Буинска	Россия	До Волги	Сельская летопись, 1854	Кириков, 1980	Сев. граница
9	XIX	19	1-я чет-верть	По верхнему течению Степного Зая на землях деревень Нижняя Махтома, Тихая Ерыкла, Нижняя Надырова, Альметьева (ныне г. Альметьевск) и Базашева	Россия	За Волгой	Архивные данные	Кириков, 1980	Сев. граница
10	XIX	19	1-я чет-верть	По левобережью нижнего течения Базы (притока Белой) и на междуречье Базы и Куваша	Россия	За Волгой	Архивные данные	Кириков, 1980	Сев. граница
11	XIX	19	1-я чет-верть	В 60 км к северо-востоку от г. Бирска на землях деревень Шаганаева, Верхняя Сорокина, Ирсаева, Старая Мишкина	Россия	За Волгой	Архивные данные	Кириков, 1980	Сев. граница

[1] Первоисточники в списке литературы не приводятся.

Продолжение таблицы 1.

ID	Vek	Vek_N	Period	Adres	Strana	Str_Chast	Pervoistoch	Istochnik	Prime-chan
12	XIX	19	1822-1843 гг.	Окр. г. Красноуфимска, 56° 30' с. ш.	Россия	Приуралье	ЭП ГМ	Кириков, 1980	Сев. граница
13	XIX	19	1822-1843 гг.	60 верст к югу от г. Каменска-Уральского в степях, прилегавших к озерам Маяк, Ады-Куль, Уелги	Россия	Приуралье	ЭП ГМ; Кириков, 1959	Кириков, 1980	Сев. граница
14	XIX	19	1815 г.	Близ Усть-Уйской и Звериноголовской крепостей (к горе Кургаштау)	Россия	Приуралье	Архивные данные	Кириков, 1980	Сев. граница
15	XVIII	18	До 1769 г.	Степи между низовьями Буга и Днепра	Украина	Западнее Днепра	Архивные данные	Кириков, 1980	Юж. граница
Всего 85 записей.									

Особый интерес представляет неопубликованная рукопись А.В. Черная «Описание животных, известных под именем сусликов или сурков», найденная в архивах Харьковского государственного университета (Токарский, 1997а, б). Работа подводит итог исследований, проведенных А.В. Чернаем на юге России в 1845-1853 гг. и сопровождается картой распространения двух видов сусликов и байбака. Рукописная копия этой карты, любезно предоставленная автору В.А. Токарским, оцифрована и включена в состав ГИС. Текстовые описания, в подробностях опубликованные В.А. Токарским (1997а, б), использованы при составлении кадастра.

В качестве природной основы ГИС использована цифровая версия карты «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий» (1999). В состав ГИС включены цифровые карты современных государственных и административных границ стран, в пределах которых обитает байбак, цифровая карта административно-территориального деления Российской Империи на рубеже XVIII-XIX вв., а также схематичная цифровая карта современной гидрологической сети. На этой основе составлена серия ГИС-карт находок степного сурка на Русской равнине с конца XVII в. по первую треть XX в.

Создание и обработка ГИС осуществлялись средствами пакета MapInfo Professional 15.0.1. При разработке атрибутивной базы данных также использовалась СУБД Visual FoxPro 9.0.

Результаты и обсуждение

Составленный кадастр содержит данные двух типов.

1. *Данные, которые было допустимо локализовать в конкретных пунктах (точках).* Для этих данных были установлены местоположения локалитетов на карте с точностью, определяемой характером текстовых описаний и доступностью соответствующих карт-основ (рис. 1).

2. *Данные, характеризующие определенные площади:* а) административно-территориальные единицы Российской Империи (губернии, уезды) с конкретными границами; б) территории без определенных границ, характеризуемые в источниках более или менее расплывчато (например, «в Заволжье по рекам Сок, Дымка, Большая и Малая Кинель» – № 37 в кадастре и на карте; рис. 2).

В рамках обсуждаемой темы и ранее использовались *материалы «Генерального Межевания»* (Кириков, 1959, 1980; Токарский, 1997а, б), но это были преимущественно фрагментарные данные. С 2011 г. проводилась их систематическая обработка, в т.ч. тех, которые касаются животного мира (Голубинский и др., 2011). Для млекопитающих была создана и проанализирована репрезентативная выборка упоминаний конкретных видов (Rumiantsev et al., 2013, 2018; Румянцев и др., 2014, 2018). Результаты, относящиеся к байбаку, уже опубликованы (Румянцев и др., 2015а, б; рис. 3), поэтому в

данной работе мы на них подробно не останавливаемся. Эти материалы позволяют не только ограничить на карте районы встреч сурка, но и дать, в некотором приближении, оценку его численности, т.е., судить о том, где сурков в исследуемых районах в данный период было больше, а где меньше (табл. 2, 3).

Сурок не упомянут для включенных в выборку уездов Орловской, Тамбовской и Тульской губерний, где он в тот период, вероятно, обитал (Кириков, 1980; Токарский, 1997а). С.В. Кириков (1959, 1980) отмечал, что сурок встречался «во всех лесостепных уездах Тамбовской губернии». Он же указывал для Воронежской и Курской губерний присутствие сурка «во всех уездах» (отмечено в кадастре), что не вполне согласуется с данными нашей выборки (рис. 3, табл. 2, 3). Рязанская губерния, в пределах которой сурок на рубеже XVIII-XIX вв., видимо, также встречался (Кириков, 1980), не вошла в выборку. К сожалению, не вошли в нее и некоторые территории, где байбак встречается сейчас и обитал, очевидно, в рассматриваемый период[2]. Это Саратовская губерния, а также казачьи земли (в основном территория современной Ростовской области), которые не были охвачены Генеральным Межеванием.

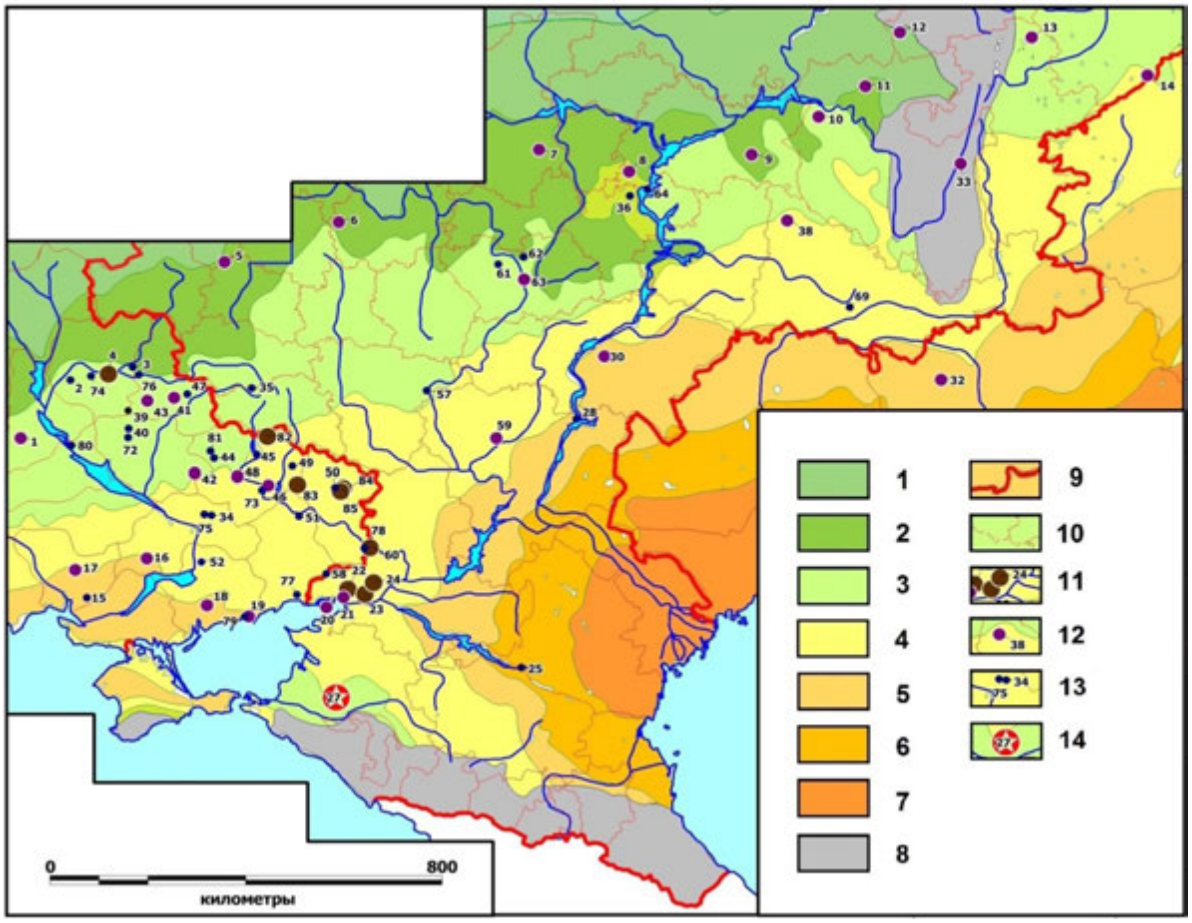

Рис. 1. Точечные локализации мест обитания байбака согласно кадастру на современной ГИС-карте (здесь и далее на картах показана современная гидросеть с водохранилищами). *Условные обозначения:* **1-7** – современные зоны растительности: 1 – широколиственно-хвойные (смешанные) леса, 2 – широколиственные леса, 3 - лесостепи, 4 – северные (красочные злаково-разнотравные) степи, 5 – средние (сухие) степи, 6 – южные (опустыненные) степи, 7 – пустыни; **8** – горные территории (Зоны и типы ..., 1999); **9** – современная граница Российской Федерации; **10** – границы современных внутригосударственных (административных) образований (**1-10** – здесь и на картах далее); **11-14** – поселения байбака в кадастре (числа на карте – номера локалитетов в базе данных): 11 – XX в., 12 – XIX в., 13 – XVIII в., 14 – сомнительная находка, век неизвестен (Огнев, 1947; Кириков, 1980).

[2] Для Рязанской губернии имеются только «краткие» Экономические Примечания, в которых нет данных о животном мире. Саратовская губерния и казачьи земли вообще не межевались.

На карте, составленной А.В. Чернаем во второй половине XIX в. и отражающей размещение вида в соответствующий период (Токарский, 1997а, б; рис. 4), в пределах Тамбовской и Саратовской губерний, а также на казачьих землях отмечены поселения сурка. Хотя глубокий анализ результатов проведенного обзора в задачи данной работы не входил, некоторые из этих результатов следует обозначить.

При рассмотрении рисунка 1 видно, что отдельные локалитеты находок сурка (в основном за XIX в.) расположены существенно севернее традиционно принимаемого ареала (степи и лесостепи). Они находятся в пределах зон широколиственных и даже широколиственно-хвойных (смешанных) лесов.

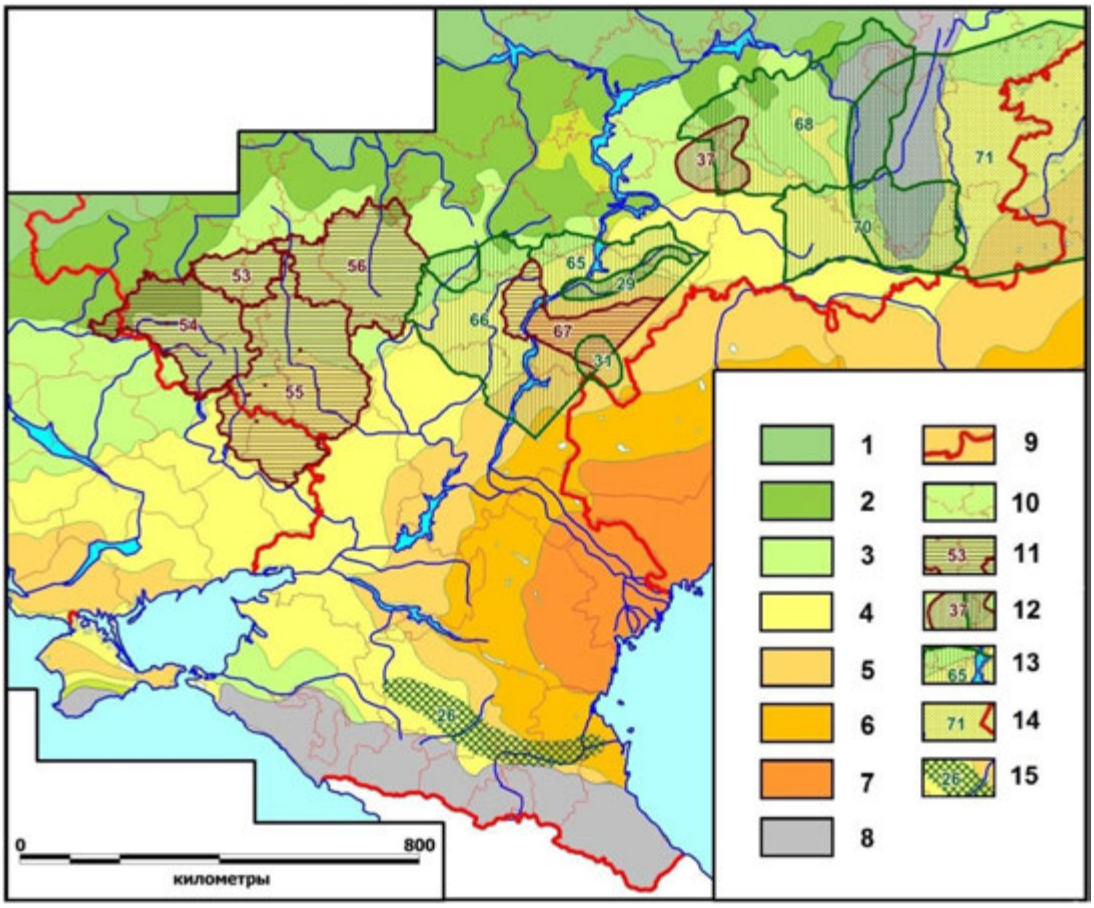

Рис. 2. Площадные локализации мест обитания байбака согласно кадастру на современной ГИС-карте. *Условные обозначения*: **1-10** – даны на рисунке 1; **11-15** – поселения байбака в кадастре (числа на карте – номера территорий в базе данных): 11 – XVIII в., губернии/уезды, где отмечен сурок, 12 – XVIII в., территории неопределенной площади, где отмечен сурок, 13 – XIX в., губернии/уезды, где отмечен сурок, 14 – XIX в., территории неопределённой площади, где отмечен сурок, 15 – сомнительные поселения в XIX в. (Равинский, 1809; Кириков, 1980).

Имеются также единичные находки, локализованные в пределах горных территорий Урала. Однако отметим, что, во-первых, за прошедшие столетия границы зон растительности могли существенно измениться, во-вторых, само проведение этих границ на карте обычно довольно субъективно, а, в-третьих, точность локализации пунктов на карте не всегда достаточно высока. При этом и в степях и в лесостепях локалитеты за весь рассматриваемый период расположены довольно неравномерно.

На рисунках 2 и 3 территории обитания сурка в общих чертах соответствуют его современному распространению (Бибиков и др., 1990), во всяком случае, существующим представлениям об его размещении до депрессии в середине XX в., а также после масштабных работ по его реинтродукции в былые районы обитания во второй половине XX в. (Румянцев, 1997). То же можно отнести и к карте

А.В. Черная (рис. 4). Представления об относительной численности сурка по данным Генерального Межевания (рис. 3, табл. 2, 3) также не противоречат современной ситуации распространения этого вида.

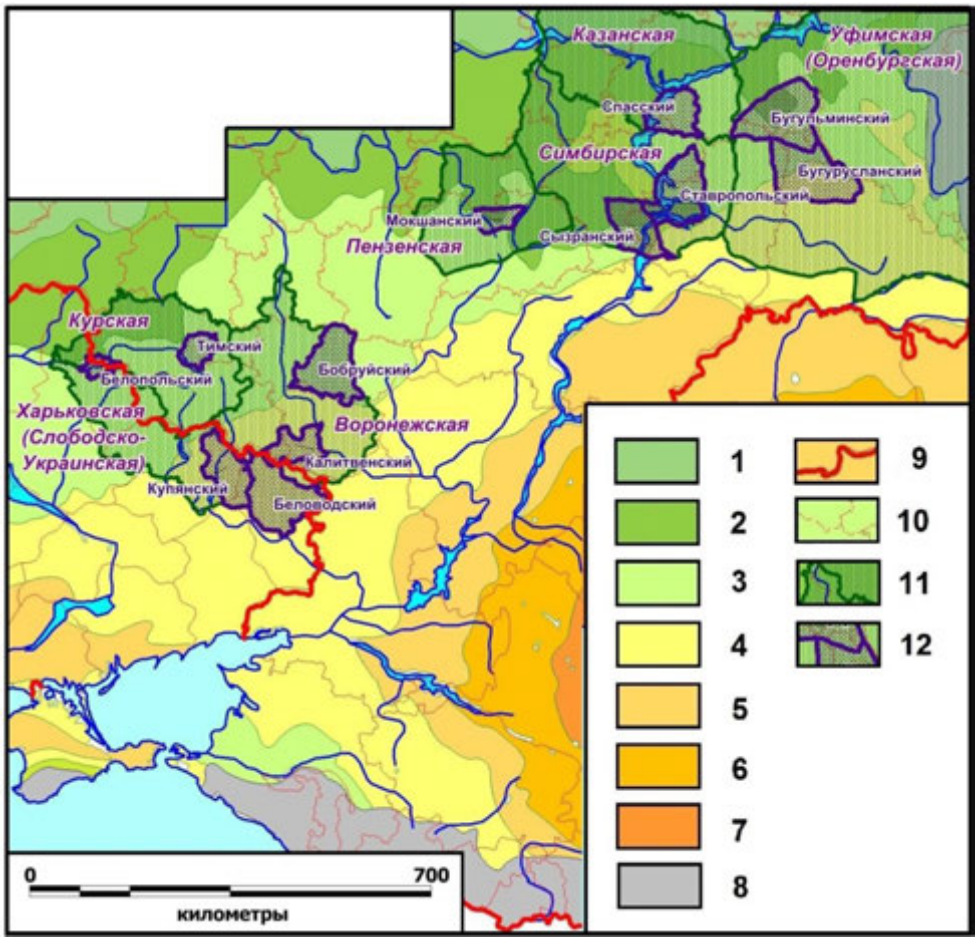

Рис. 3. Распространение байбака в выборке из ЭП ГМ на современной ГИС-карте. *Условные обозначения*: **1-10** – даны на рисунке 1; **11** – губернии, включённые в выборку, для которых упомянуты сурки; **12** – уезды этих губерний, для которых упомянуты сурки.

Таблица 2. Встречаемость упоминаний сурка в выборке по губерниям.

Губернии	Уезды			Дачи*		
	Уезды с сурком	Всего уездов	Доля уездов с сурком, %	Дачи с сурком	Всего дач	Доля дач с сурком, %
Воронежская	3	10	30,0	12	68	17.6
Казанская	1	11	9,1	1	112	0.9
Курская	1	14	7,1	1	121	0.8
Пензенская**	1	3	33,3	2	18	11.1
Симбирская	2	10	20,0	3	141	2.1
Уфимская	2	7	28,6	3	76	3.9
Харьковская	2	15	13,3	4	107	3.7
ВСЕГО	**12**	**70**	**17,1**	**26**	**643**	**4.0**

Примечания к таблице 2: *Дача – элементарная единица межевания (конкретное земельное владение). В современном понимании терминов прямых аналогов не имеет; ** – по С.В. Кирикову (1980).

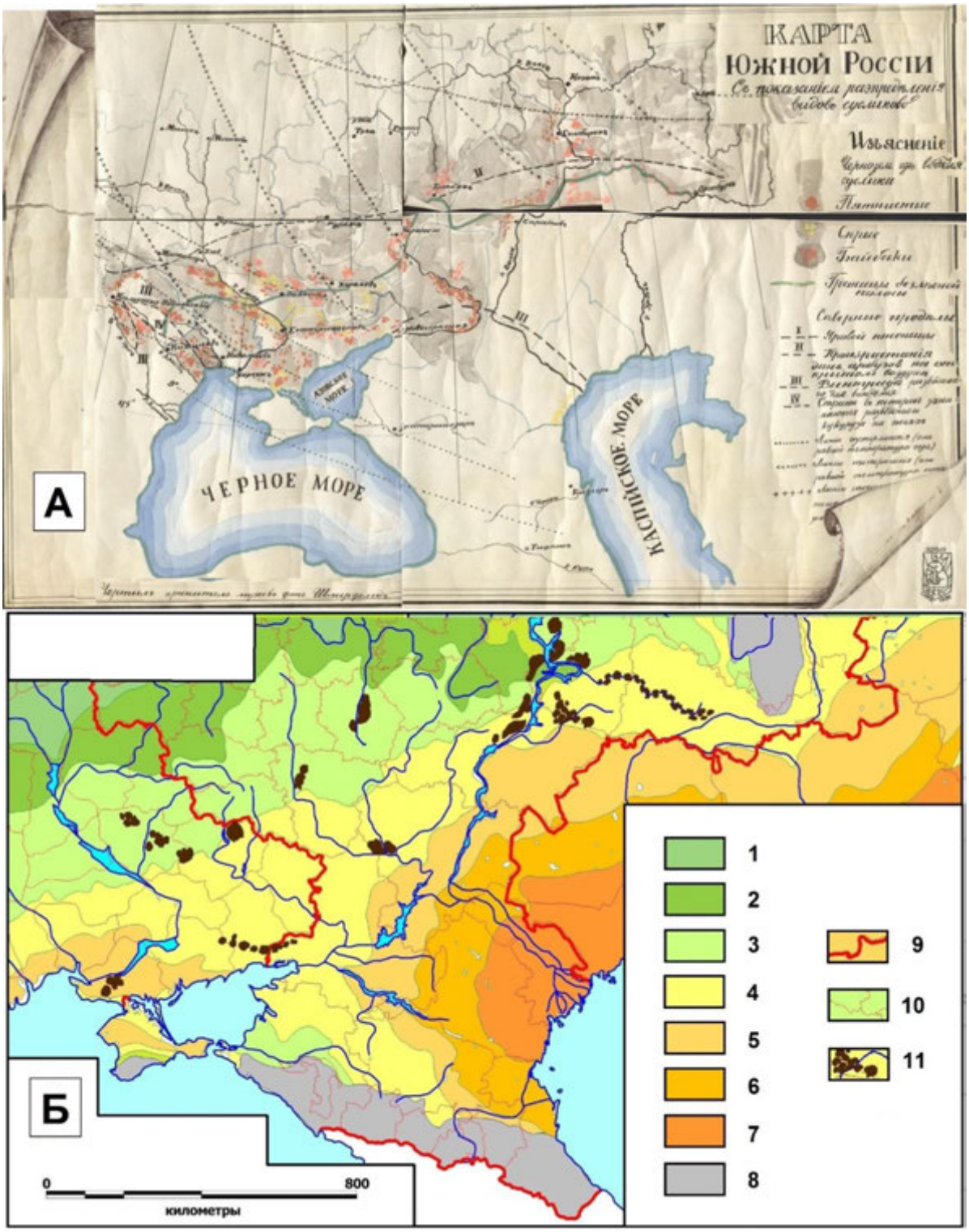

Рис. 4. Распространение байбака по А.В. Чернаю (Токарский, 1997а, б). *Условные обозначения:* **А** – рукописная копия карты А.В. Черная; **Б** – поселения байбака по А.В. Чернаю на современной ГИС-карте; **1-10** даны на рисунке 1; **11** – поселения байбака.

На рисунке 4 видно, что, в сравнении с картой, отражающей точечные локалитеты в кадастре (рис. 1), пункты находок сурка здесь за тот же период (XIX в.) расположены менее густо и равномерно, особенно в западной части территории, а в ряде случаев совсем не совпадают. Возможно, это связано с тем, что на карте А.В. Черная представлены только результаты его

собственных исследований, которые не могли полностью охватить столь обширную территорию. Здесь следует указать, что, как и на рисунке 1, в пределах степей и лесостепей локалитеты расположены неравномерно, но севернее их не отмечено.

Почти все локалитеты находок поселений сурка в начале XX в. (рис. 1) расположены в близости от современной границы России и Украины. Вероятно, в это время ареал сурка на Русской равнине уже был значительно редуцирован, а восточная часть ареала в этот период не обследовалась.

Кроме того, в кадастре нами отмечены «спорные» местонахождения поселений сурка на Северном Кавказе (рис. 1, 2). Обитание сурка здесь в историческое время не доказано и до сегодняшнего дня остается дискуссионным (Бибиков и др., 1990; Румянцев и др., 1996). Сведений о присутствии сурка в историческое время на территории Крыма в рассмотренных нами материалах нет.

Таблица 3. Встречаемость упоминаний сурка в выборке по уездам.

Губернии	Уезды	Дачи с сурком	Всего дач	Доля дач с сурком (%)
Воронежская	Беловодский	2	4	50.0
	Бобровский (Бобруйский)	9	28	32.1
	Калитвинский	1	3	33.3
Казанская	Спасский	1	9	11.1
Курская	Тимский (Тимской)	1	8	12.5
Пензенская*	Мокшанский	2	7	28.6
Симбирская	Ставропольский	2	2	100.0
	Сызранский	1	1	100.0
Уфимская	Богорусланский (Бугурусланский)	1	12	8.3
	Бугульминский	2	14	14.3
Харьковская	Белопольский	1	5	20.0
	Купянский**	3	9	33.3
	ВСЕГО	**26**	**102**	**25,5**

Примечания к таблице 3: * − по С.В. Кирикову (1980); ** − в период Генерального Межевания уезд входил в состав Воронежской или Харьковской губерний. Здесь рассматривается в составе Харьковской губернии.

Заключение

Проведенный картографический обзор сведений о распространении байбака на Русской равнине в историческое время позволяет сделать следующие предварительные выводы.

1. В рассматриваемый период байбак в пределах территории, охваченной обзором, обитал преимущественно в тех же районах, где обитает и сейчас – в пределах степей и лесостепей. Хотя отдельные локалитеты находятся севернее, но конкретные поселения и здесь, наверняка, были приурочены к остепненным участкам. Известно, что положение зонально-подзональных границ растительности со временем изменяется, а их проведение на картах всегда в какой-то мере субъективно. В настоящее время сурок локально присутствует за северными пределами степи и лесостепи только там, где во второй половине XX в. он был интродуцирован (Бибиков и др., 1990; Румянцев и др., 1996; Румянцев, 1997).

2. В анализируемый нами период сурок обитал в пределах степи и лесостепи далеко не повсюду. Приведенные выше данные свидетельствуют, что и в XVIII – начале XX вв. поселения байбака занимали здесь, видимо, только благоприятные для вида местообитания, что вполне соответствует сделанным ранее заключениям (Кириков, 1980).

Дальнейший, более детальный анализ представленных материалов с привлечением других доступных источников и с использованием геоинформационных технологий, вероятно, позволит существенно уточнить особенности размещения байбака на Русской равнине в исторический период – в особенности, в связи с природными и антропогенными особенностями местообитаний, к которым были по преимуществу приурочены поселения этого вида.

Благодарности. Автор сердечно признателен В.А. Токарскому за предоставленную копию карты В.А. Черная и за многолетнее дружеское сотрудничество в изучении сурков. Автор также благодарен Д.А. Хитрову и А.А. Голубинскому за эффективное и плодотворное сотрудничество в обработке материалов Генерального Межевания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бибиков Д.И., Дежкин А.В., Румянцев В.Ю. 1990. История и современное состояние байбака в Европе // Бюллетень Московского Общества Испытателей Природы. Отдел биологический. Т. 95. Вып. 1. С. 15-30.

Бибиков Д.И., Румянцев В.Ю. 1997. Взаимотношения людей и сурков в странах бывшего СССР в прошлом и настоящем // Известия Национальной Академии Наук и Искусств Чувашской Республики. № 2. С. 93-104.

Голубинский А.А., Хитров Д.А., Черненко Д.А., 2011. Итоговые материалы Генерального межевания: о возможностях обобщения и анализа // Вестник Московского университета. Серия 8 «История». № 3. С. 35-51.

Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. 1992. Карта М 1: 8 000 000 / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: Экор.

Кириков С.В. 1959. Изменения животного мира в природных зонах СССР (XIII-XIX вв.). Степная зона и лесостепь. М.: Изд-во АН СССР. 173 с.

Кириков С.В. 1966. Промысловые животные, природная среда и человек. М.: Наука. 348 с.

Кириков С.В. 1980. Исторические изменения в размещении байбака (XVII-XIX вв. и первая треть XX в.) // Сурки. Биоценотическое и практическое значение. М.: Наука. С. 24-31.

Румянцев В.Ю. 1997. Реакклиматизация байбака: итоги и проблемы. Сообщение 1 − некоторые методические вопросы. Сообщение 2 − некоторые теоретические вопросы // Возрождение степного сурка. Тезисы докладов Международного семинара по суркам стран СНГ, с. Гайдары, Харьковская обл., Украина, 26-30 мая 1997 г. М.: Изд-во ABF. С. 30-35.

Румянцев В.Ю., Бибиков Д.И., Дежкин А.В., Дудкин О.В. 1996. Сурки Европы: история и современное состояние // Бюллетень Московского Общества Испытателей Природы. Отдел биологический. Т. 101. Вып. 1. С. 3-18.

Румянцев В.Ю., Голубинский А.А., Солдатов М.С., Хитров Д.А. 2014. Земледельческое освоение и состояние фауны Европейской России по материалам Генерального межевания // Ежегодник по аграрной истории Восточной Европы. 2013 год. М.: Древлехранилище. С. 89-107.

Румянцев В.Ю., Хитров Д.А., Голубинский А.А. 2015а. К историческим изменениям распространения степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) в Европейской России // Сурки Евразии: Экология и практическое значение: Материалы XI Международного совещания по суркам специалистов стран бывшего Советского Союза, пос. Родники, Раменский район, Московская обл., 11-15 марта 2015 г. М. С. 123-127.

Румянцев В.Ю., Хитров Д.А., Голубинский А.А. 2015б. Степной сурок в материалах Генерального межевания Российской Империи // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 120. № 5. С. 22-25.

Румянцев В.Ю., Хитров Д.А., Голубинский А.А. 2018. Историко-экологический анализ распространения млекопитающих юга Европейской России по материалам Генерального межевания // Аридные экосистемы, Т. 24. № 3 (76). С. 25-35.

Токарский В.А. 1997а. Байбак и другие виды рода сурки. Харьков: ХГУ. 304 с.

Токарский В.А. 1997б. Исторические изменения ареала и численности байбака в Украине // Возрождение степного сурка. Тезисы докладов Международного семинара по суркам стран СНГ, с. Гайдары, Харьковская обл., Украина, 26-30 мая 1997 г. М.: Изд-во ABF. С. 42-45.

Rumiantsev V.Yu., Golubinsky A.A., Soldatov M.S., Husson A., Khitrov D.A. 2013. Changes of Mammals Biodiversity in the European Russia (the End of the XVIII Century – XXI Century) // Geography, Environment, Sustainability, Vol. 6. No. 4. Pp. 48-64.

Rumiantsev V.Yu, Khitrov D.A., Golubinsky A.A. 2018. Distribution of Mammals in the Southern Part of European Russia: Historical and Ecological Analysis Based on Materials from the General Land Survey // Arid Ecosystems, Vol. 8. No. 3. Pp. 173-183.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 86-92

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 591.5:598.235.2 (282.247.366.2)

КОЛИЧЕСТВО РАЗМНОЖАЮЩИХСЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «РОСТОВСКИЙ» ПЕЛИКАНОВ (PELECANIDAE) И ПРИЧИНЫ КОЛЕБАНИЙ ЧИСЛЕННОСТИ

© 2021 г. Ю.В. Малиновская*, **, В.А. Миноранский*, **, С.И. Колесников**

**Ассоциация «Живая природа степи»*
Россия, 344011, г. Ростов-на-Дону, ул. Тельмана, д. 10. E-mail: priroda.rostov@yandex.ru
***Южный федеральный университет*
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1, РФ. E-mail: mgingerm@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.12.2020. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Оценены количество и размещение гнездовий розового (*Pelecanus onocrotalus* Linnaeus, 1758) и кудрявого (*Pelecanus crispus* Bruch, 1832) пеликанов в заповеднике «Ростовский» с момента его организации (1995 г.) до настоящего времени. На этой территории кудрявый пеликан редкий, регулярно размножающийся вид, а розовый – очень редкий, изредка гнездящийся. Оба вида гнездятся преимущественно на островах озера Маныч-Гудило, редко на крупных прудах с жесткой надводной растительностью с поливидовыми колониями околоводных и водоплавающих птиц. Кудрявый пеликан весной прилетает рано (в марте) и обычно строит небольшие группы. Розовый пеликан появляется позднее (в апреле), когда дефицитные места гнездования уже заняты другими видами птиц (бакланами, чайками и др.). Кроме того, он чаще образует большие колонии. Создание заповедника позволило сохранить пеликанов на данной территории. Сдерживающими факторами, ограничивающими их количество, являются недостаток мест размножения, хищные млекопитающие, повышение солености воды и снижение рыбных ресурсов. В последние десятилетия на размножение пеликанов негативно влияет аридизация климата, ведущая к пересыханию водоемов, и интенсификация хозяйственной деятельности населения. В статье предлагаются меры по дальнейшему сохранению пеликанов, а также других редких и ценных животных в заповеднике.

Ключевые слова: заповедник «Ростовский», *Pelecanus crispus, P. onocrotalus,* места гнездования, численность, ограничивающие факторы.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-86-92

Озеро Маныч-Гудило (далее – М.-Г.) расположено в Кумо-Манычской впадине на северной границе ареала размножения кудрявого (*Pelecanus crispus* Bruch, 1832) и розового (*P. onocrotalus* Linnaeus, 1758) пеликанов, включенных в Красные книги Ростовской области (2004, 2014) и Российской Федерации (2001), Перечень объектов животного мира, занесенных в Красную книгу РФ (Приказ ..., 2020), и Красный список МСОП (IUCN, 2020). Исследуемые виды заселили М.-Г. до его заполнения кубанской водой с 1948 г. (Богачев, 1918). Обводнение положительно отразилось на пеликанах (Водно-болотные угодья России, 2006). Основное их количество размножается в Калмыкии (Красная книга …, 2013), небольшое – на участке М.-Г. в Ростовской области (далее – РО). Интенсивное развитие животноводства в 60-80-х годах XX в. привело к антропогенному опустыниванию степей (Зонн, 1995; Зонн, Куст, 1999; Миноранский, Габуншина, 2001), что негативно повлияло на биоразнообразие региона. Для восстановления естественной природы в районе М.-Г. на территории РО в 1995 г. создали заповедник «Ростовский». Его деятельность позволила восстановить природные экосистемы, и в 2008 г. заповедник вошел во Всемирную сеть биосферных резерватов. Как отмечает Л.Г. Емельянова (2019), среди региональных аридных биомов России «Ростовский» относится к заповедникам с максимальным количеством охраняемых видов птиц, включенных в Красные книги РО, РФ и Красный список МСОП.

В XXI веке в экосистемах аридных регионов наблюдаются значительные климатические колебания и активизация хозяйственной деятельности населения. Важное направление деятельности

заповедника – проведение мониторинга экосистем, установление происходящих в них изменений, выяснение причин этих изменений, разработка рекомендаций по оптимизации взаимоотношений людей с природой. Лимнофильный комплекс орнитофауны, к которому относятся пеликаны, как показали исследования И.Б. Шаповаловой (2018) в Калмыкии, является наиболее чувствительным к изменениям водного режима водоёмов. В настоящей статье рассмотрены фенологические и иные особенности птиц, количество и места гнездования пеликанов, их изменения под влиянием антропогенных факторов и аридизации климата за период существования заповедника. Даны рекомендации по сохранению пеликанов и других редких, ценных животных в рассматриваемом районе.

Материалы и методы

Заповедник «Ростовский», занимающий площадь 95.31 км^2, был создан на юго-востоке РО 27 декабря 1995 года. Район характеризуется жарким засушливым климатом, недостатком пресной воды, травянистой растительностью пустынных степей, темно-каштановыми и каштановыми почвами с пятнами солонцов (Миноранский, Чекин, 2003). В 2000 г. на 743.5 км^2 организована охранная зона заповедника, где на площади около 20 км^2 находится полевой стационар Ассоциации «Живая природа степи», занимающийся совместно с заповедником проблемами сохранения природы. Заповедник и охранная зона образуют манычский природный комплекс (далее – МПК), куда относится часть акватории М.-Г., более 10 прудов, пересыхающие летом речки. На Островном участке заповедника вода из 45.81 км^2 охватывает 26.78 км^2 (акватория М.-Г. – 10.9 км^2). Наблюдения за пеликанами на оз. М.-Г. ведутся авторами с середины XX в. Участвуя в организации и работе заповедника и ассоциации, они ежегодно по много раз проводили обследования их фауны. Материалы по заселению М.-Г. пеликанами, их поведению, размножению, количеству гнезд в микроколониях, питанию и т.д. уже были частично опубликованы (Миноранский, 1962, 2001, 2020; Петров, Миноранский, 1962; Красная книга ..., 2004).

Целью настоящей работы является выяснение изменений в количестве и распределении гнездящихся на территории заповедника «Ростовский» пеликанов, и причин их колебаний. При написании этой статьи были проанализированы личные исследования и полевые дневники авторов с 1959 г. по данному району, опубликованные сведения о пеликанах, наблюдения сотрудников заповедника, летописи природы заповедника. В работе даны сведения о размножении на МПК птиц в 1995-2020 гг. Наблюдения за пеликанами происходили постоянно, а за гнездами, яйцами и птенцами – с марта по июль. Для получения наиболее полных сведений о видовом составе и численности размножающихся на островах птиц, позволяющих судить о состоянии поливидовых колоний и происходящих в них изменениях, основное внимание уделялось учетам, выполненным в последних числах апреля – первой декаде мая. В это время вся доступная территория островов распределена между пернатыми, у разных видов встречаются свежие гнезда, гнезда с яйцами и птенцами или птенцы младшего и среднего возраста находятся за пределами гнезд. Наблюдения велись на удаленном от гнезд расстоянии визуально и с помощью оптических приборов, что до минимума снижало беспокойство птиц. Русские и латинские названия таксонов птиц приводятся в соответствии со работой Л.С. Степаняна (2003).

Результаты

Весной кудрявый пеликан обычно начинает прилетать рано – в марте (10.03.2001, 15.03.2002) – начале апреля. На плесах чистой воды среди льдин М.-Г. 4 птицы плавали 12.03.2010, когда местами еще лежал снег слоем 10-20 см. Этот вид появляется в районе поливидовых колоний лимнофильных птиц рано и к гнездованию приступает, когда чайки и иные птицы только начинают заселять острова. В последние годы часто наблюдаются теплые зимы и ранняя весна, что сдвигает сроки фенологических явлений в природе. В 2016 г. пеликаны были отмечены 29 февраля (Летопись …, 2017). К размножению они обычно приступают с конца марта – в апреле. В теплые зимы 2018/2019 гг. и 2019/2020 гг. водоемы не замерзали, весь февраль на М.-Г. было много водоплавающих птиц, и уже в III декаде февраля – I декаде марта на о-ве Прибрежном пеликаны наблюдались около прошлогодних гнезд.

Розовый пеликан на МПК появляется с конца марта (24.03.2017; Летопись …, 2018) – в апреле. Строительство и ремонт прошлогодних гнезд, откладка яиц у него чаще происходят с III декады

апреля – в начала мая, когда поливидовая колония уже заселена кудрявым пеликаном, большим бакланом (*Phalacrocorax carbo* L.,1758), хохотуньей (*Larus cachinnans* Pall., 1811) и иными птицами. В зависимости от погодных условий, наличия мест для размножения, гибели первых кладок гнезда с яйцами можно наблюдать в течение мая и даже в июне. Начавшие летать птенцы вместе с родителями и холостые птицы в июле-августе кочуют, концентрируясь в местах с большими плесами воды, достатком корма. Миграция растянута и в основном происходит в сентябре-октябре.

Продолжительное время пеликаны используют для размножения о-в Прибрежный (Заливной) на М.-Г. с площадью 3-4 га и высотой до 1.2-1.5 м, находящийся в 600-800 м от материкового берега. На этом острове из растений встречаются лебеда, полынь, тростник, солянка, чертополох, ромашка непахучая, злаки и другие, часть из которых образует куртины. Стаи из 6-50 и более пеликанов обоих видов периодически кормятся и отдыхают около острова. В 90-е годы XX в.– начале XXI в. они встречались постоянно, а позднее по мере падения рыбных ресурсов их стаи отмечались реже. До 1996 г. вместе с хохотуньей, большим бакланом, малой белой (*Egretta garzetta* L.,1766) и серой (*Ardea cinerea* L., 1758) цаплями, колпицей (*Platalea leucorodia* L.,1758) здесь периодически размножалось 6-40 пар (в 1996 г. – 30-40) розового пеликана (Миноранский, Чекин, 2003). Посещение острова людьми, охота весной на гусей и уток привели к тому, что с 1997 г. пеликаны перестали здесь гнездиться, хотя отдыхающие стаи птиц около острова продолжали держаться в 1997 г. (26.06.1997 г. – 17 ос.) и последующие годы. Включение о-ва Прибрежный 4 ноября 2000 г. в охранную зону заповедника и введение на нем строгого режима охраны снизило влияние людей на эту колонию. Первые гнезда кудрявого пеликана появились в 2008-2009 гг., в следующие 3 года птицы здесь не размножались, а с 2013 г. количество гнезд начало увеличиваться, причем резкий их подъем отмечен в 2019-2020 гг. (рис. 1).

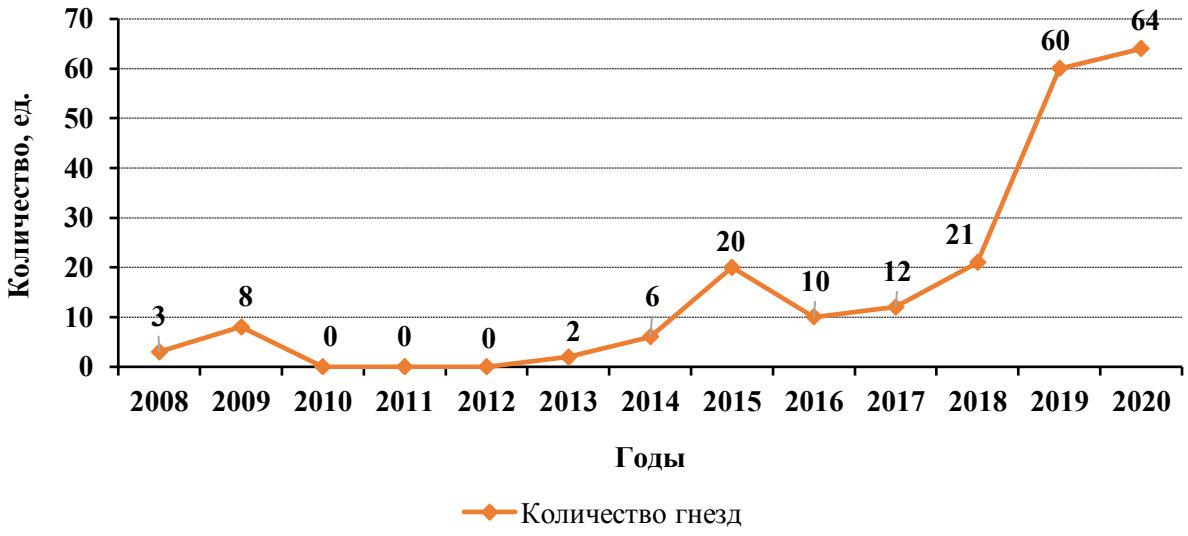

Рис. 1. Динамика численности гнезд кудрявого пеликана (*Pelecanus crispus* Bruch) на о-ве Прибрежный с 2008 по 2020 гг.

Розовый пеликан размножался здесь в 2015 г., сформировав колонию из 7 гнезд. Вероятно, раннее занятие гнездовых участков, высокая плотность кудрявого пеликана и других птиц (хохотуньи, черноголового хохотуна (*Larus ichthyaetus* Pall., 1773), чегравы (*Hydroprogne caspia* Pallas, 1770), цапель, колпицы) затрудняет использование о-ва Прибрежного этим видом.

В первое десятилетие существования заповедника околоводными птицами активно заселялся о-в Птичий в проливе между наиболее крупным на М.-Г. о-вом Водный и материковым берегом. Этот остров покрывался высоким травостоем из лебеды и тростника, достигавшим высоты 1.5-1.8 м, на отмелях – солеросом. Длина острова в 1996 г. составляла 130 м, ширина – до 10 м, высота – до 80 см. Вероятно, его упоминают Б.А. Казаков и Н.Х. Ломадзе (1992) , отмечая длинный остров близ Кумысолечебницы, вытянутый с юга на север, где обнаружено около 40 пар розового пеликана

(без гнезд) и 10 гнезд кудрявого пеликана. В 1996 г. здесь гнездились серая и малая белая цапли, колпица, чайка-хохотунья, лебедь-шипун (*Cygnus olor* Gmel., 1789), кряква (*Anas platyrhynchos* L., 1758), серая утка (*A. streperea* L., 1758)**.** Размножение кудрявого пеликана здесь отмечено в 1999 г. (8 гнезд) и в 2004 г. (12 гнезд).

Слабое заселение о-ва Птичий пеликанами связано с его небольшой площадью и конкуренцией птиц за гнездовые участки. Размножение пеликанов на нем в 2004 г. привело к уменьшению числа гнезд у малой белой цапли (в 2003 г. – 12 гнезд, в 2004 г. – 5 гнезд, в 2005 г. – 0 гнезд) и серой цапли (46, 14 и 8 соответственно), колпицы (11, 0, 0), серого гуся (5,1, 1), хохотуньи (187, 63, 190), в целом, всех околоводных птиц (262, 103, 206). На количество гнездящихся птиц, включая пеликанов, на о-ве Птичий оказали влияние колебания уровня воды в М.-Г. и площадь острова. Зимой и весной 1998 г. выпало много осадков, уровень воды поднялся, площадь сократилась, и остров разделился на 4 небольшие части, а количество гнезд птиц снизилось. В 1999 г. уровень воды упал и остров увеличился (длина – 190 м, ширина – 28 м), что позволило загнездиться пеликанам. Эти колебания уровня воды и площади имели место и в дальнейшем (в 2000 г. длина – 158 м, ширина – до 25 м, в 2003 г. – 180 м и 65 м). В очень засушливый теплый период 2007 г. уровень воды в М.-Г. сильно упал. В 2008 г. резко увеличивший площадь о-в Птичий отделялся от крупного о-ва Водный широкой, но мелководной протокой (глубина воды весной 2008 г. – 10-25 см, 1996 г. – 1.5 м). Он стал доступен лисице (*Vulpes vulpes* L., 1758), корсаку (*V. corsak* L.,1768), енотовидной собаке (*Nuctereutes procyonoides* Gray, 1834). Мы наблюдали преодоление лисицей протоки с глубиной воды 10-15 см. Травостой на острове в последние годы становился все более разреженным, и весной 2008 г. он, включая тростник, отсутствовал. При обследовании острова 1 мая 2008 г. чьих-либо гнезд не обнаружено. К 27 июня 2008 г. протока полностью исчезла, о-в Птичий соединился сушей с о-вом Водный и в дальнейшем стал его частью, колония птиц перестала существовать.

Одним из богатых орнитофауной водоемов являлся Курников Лиман на границе с участком заповедника Цаган-Хаг. Этот созданный на солончаке в 60-е годы XX в. водоём имел площадь 0.92 км^2, глубину до 1.5-2.5 м (у дамбы), наибольшую длину 2.3 км и полный объем 2.32 млн. м^3 воды (Панов и др., 2009). Он отличался обилием зарослей тростника, гидробионтов и рыбных ресурсов, привлекал к себе многих птиц. Пеликаны здесь держались не менее 20 лет до организации заповедника. В 1996-2001 гг. на Лимане постоянно встречались стаи из 20-30 и более птиц. Особенно много их собиралось во время кочевок и миграций. В августе 2000 г. здесь было несколько сот особей обоих видов, 14 мая 2001 г. – 50 особей розового и 52 – кудрявого пеликанов. На кормежку сюда прилетали птицы из колоний на о-вах М.-Г. за 25-40 км. Гнездовые колонии кудрявого пеликана (около 15 пар) здесь отмечены в зарослях тростника в 1996-2005 гг. В холодную зиму 2005/2006 гг. водоем сильно промерз, вся рыба погибла, и в 2006 г. размножение пеликанов здесь не отмечено. В засушливом 2007 г. уже в мае уровень воды резко упал (на плесе 5 мая 2007 г. отдыхало 20 птиц), площадь тростника сократилась, а в сентябре он высох. В последние 10 лет Лиман сильно обмелел и на основной его площади тростник отсутствовал. В зависимости от количества осадков водой он наполняется лишь частично и периодически почти полностью пересыхает. Пеликаны на нем отдыхают во время кочевок и миграций только при достаточном уровне воды, 3 августа 2010 г. на Лимане отдыхала стая из 50 особей кудрявого пеликана, а 19 ноября 2010 г. Лиман почти полностью высох и птиц не было.

Обсуждение

Создание заповедника и охранной зоны положительно отразилось на сохранении в этом районе пеликанов. Во время миграций и кочевок оба вида держатся на М.-Г., его заливах, прудах. Дл гнездования птицы используют высокие, незаливаемые водой, покрытые травяной растительностью острова (Прибрежный, Птичий) и иногда пруды с большими плесами и зарослями тростника (Курников Лиман), недоступные для лисицы и других крупных хищников. Недостаток мест для размножения пеликанов и иных околоводных птиц создает конкуренцию между ними. Розовый пеликан отличается более поздним весенним появлением в места гнездования (острова уже заняты гнездами баклана, хохотуньи, иных птиц), образованием обычно крупных гнездовых колоний, иными особенностями. Кудрявый пеликан весной появляется раньше, может формировать колонии из нескольких гнезд и при надежной охране практически постоянно размножается в МПК.

Определенное влияние на места размножения пеликанов оказывают хищники. На о-ве Птичий

обмеление протоки между колонией и о-вом Водный к 2007-2008 гг. и её пересыхание в последующем привело к доступности гнезд для лисицы, корсака, енотовидной собаки и исчезновению колонии. На о-ве Прибрежный 30 апреля 2012 г. мы нашли мертвую лисицу. Она перешла на о-в в холодное время года по льду и здесь осталась. А.Д. Липкович (Летопись природы …, 2012) считает, что лисица попала на остров в 2010 г. Она и браконьеры (в 2010 г. обнаружены стреляные гильзы) заставили пеликанов покинуть о-в Прибрежный. Пернатых хищников на островах с гнездовыми колониями птиц обычно отгоняют чайки. На этом острове мы неоднократно наблюдали атаки сотен особей хохотуньи, совершенные на подлетающего к колонии болотного луня (*Circus aeruginosus* L., 1758) и иных хищников. Степного орла (*Aquila rapax* Temminck, 1828), пролетающего в районе острова 1 мая 2008 г., они загнали в воду и убили. Возможно, и лисицу, попавшую на о-в Прибрежный в 2010 г., к 2012 г. убили чайки.

В последние десятилетия экологическая ситуация на водоемах МПК меняется под влиянием аридизации климата. На М.-Г. и прудах с годами повышается соленость воды. В 1953 г. минерализация воды в М.-Г. в районе пос. Маныч составляла 11 г/л, и в 1963 г. здесь было отмечено 28 видов рыб, а её уловы в среднем составляли 15 тыс. ц (Круглова, 1972). В 1955 г. соленость воды возросла до 16 г/л, к 2000 г. – до 24 г/л, а в последующие годы – до 40-45 г/л (Миноранский, Габунщина, 2001; Панов и др., 2009). Это привело к перестройке водных биоценозов, негативно отразилось на рыбных ресурсах и вызвало изменения в комплексах птиц. Пеликаны способны летать за кормом за десятки километров от мест гнездования (Миноранский, 2002). Однако данный фактор, вероятно, повлиял и на них, но он нуждается в более детальных исследованиях. Пеликаны перестали размножаться на Курниковом Лимане после его пересыхания и исчезновения рыбы. В XXI веке в районе МПК произошло полное высыхание (пруды Крутик, Бубашовский, Чекина, др.) или сильное пересыхание (лиманы Курников и Горький, пруды Круглый, Колесникова, др.) многих водоемов. На них исчезло большое количество околоводных и водных растений, гидро- и гигрофильных животных, включая рыбу. Вода в М.-Г. к 2020 г. отступила от берега по сравнению с началом XXI в. на 100-250 м, а её соленость, как отмечалось выше, сильно повысилась.

В условиях аридизации климата в последние десятилетия происходит активизация хозяйственной деятельности населения (увеличиваются распашка степей и применение, пестицидов, чрезмерная пастбищная нагрузка, усиливается фактор беспокойства и т.д.), не всегда учитывающая природоохранные интересы. Это усугубляет экологическую ситуацию. Деградация и опустынивание земель под влиянием аридизации климата и антропогенных факторов наблюдается в граничащей с заповедником Республике Калмыкия (Дедова и др., 2020), в бассейне Нижней Волги (Кузьмина, Трешкин, 2014.), других соседних территориях. О.С. Безуглова с соавторами (2020) оценивают РО по влиянию аридизации климата как территорию с риском потенциального опустынивания. В то же время Г.С. Куст с соавторами (2020), используя индекс нейтрального баланса деградации земель для 18 засушливых регионов России за период 2000-2015 гг., установили для РО наибольшие показатели ухудшения земли (66.7%) и минимальный индекс нейтрального баланса (-57.3%). В районе заповедника «Ростовский» в степи уже встречаются участки деградированных земель, где вся растительность или большая её часть уничтожена овцами, КРС, лошадьми. Аридизация климата и игнорирование природоохранного законодательства негативно влияют на степные экосистемы (в том числе и имеющие водоемы) и заставляют уделять повышенное внимание вопросам сохранения биоразнообразия и биоресурсов, применять научно-обоснованные системы ведения сельского хозяйства и охраны природы.

Минимальная территория заповедника и её расчлененность на 4 небольших далеко удаленных друг от друга участка снижает его эффективность в сохранении и увеличение количества многих видов животных. Целесообразно расширить площадь заповедных земель, присоединив к ним ряд пока активно не использующихся для хозяйственных целей участков (Лысую гору к Краснопартизанскому участку, о-в Прибрежный к Островному, Курников Лиман к Цаган-Хагу и др.), на которых обитают ценные и редкие животные (пеликаны, колпицы, черноголовые хохотуны, чеграва, колпица, корсак и пр.). Необходимо создать охранную зону в Ремонтненском районе, где находится Краснопартизанский участок и Цаган-Хаг. Целесообразно на новых образующихся косах и островах М.-Г. искусственно создать 1-2 экспериментальных острова высотой 1.2-2.0 м с растительностью для пеликанов и иных птиц.

Заключение

Создание и деятельность заповедника «Ростовский» позволили сохранить пеликанов в этом районе и в Ростовской области. Розовый пеликан в манычском природном комплексе является очень редким, а кудрявый – редким гнездящимся видом, что обусловлено их биологическими особенностями (разными сроками весеннего прилета и образования гнездовых колоний, размерами колоний). В настоящее время имеется только одна гнездовая колония, где с 2013 г. число размножающихся особей кудрявого пеликана увеличивается. Сдерживающими факторами, ограничивающими их количество, являются аридизация климата, пересыхание водоемов, повышение в них солености воды и падение рыбных ресурсов, минимальная площадь заповедника, недостаток мест размножения, активизация хозяйственной деятельности населения. Совместное влияние аридизации климата и интенсификации хозяйственной деятельности, вызывая эффект синергизма, усиливающий негативное их действие на экосистемы, многих представителей биоты, включая пеликанов. Это заставляет совершенствовать нормативную и законодательную базу охраны природы, разрабатывать новые меры по сохранению биоразнообразия, в том числе и пеликанов.

Ухудшение ситуации с водностью территорий на юге страны и их обводнением негативно влияет не только на комплексы водных и околоводных организмов, но и сдерживает развитие сельского хозяйства. Увеличение площади заповедника, восстановление части прудов и степных речек с их биотой в охранной зоне заповедника и на соседних территориях при условии выполнения природоохранного законодательства положительно отразится на пеликанах, утиных и многих других птицах.

Благодарности. Помощь в проведении исследований авторам оказали сотрудники заповедника «Ростовский» (А.В. Чекин, Л.В. Клец, А.Д. Липкович, С.В. Москаленко и др.), работники Ассоциации (В.И. Даньков, А.Г. Бородин и др.) и ЮФУ (А.В. Тихонов, Я.Ю. Подгорная и др.), которым авторы приносят искреннюю благодарность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. 2020. Динамика деградация земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 10-15. [*Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N.* 2020. Land Degradation Dynamics in Rostov Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 93-97.]

Богачев В.В. 1918. Животные земли Войска Донского // Очерк Географии Всевеликого Войска Донского. Изд. Отд. нар. просв. В.В.Д. С. 201-231.

Водно-болотные угодья России. 2006. Т. 6. Водно-болотные угодья Сев. Кавказа / Ред. А.Л. Мищенко. М.: Wetlands International. 316 с.

Дедова Э.Б., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. 2020. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 63-71. [*Dedova E.B., Goldvarg B.A., Tsagan-Mandzhiev N.L.* 2020. Land Degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and Reclamation Methods // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 140-147.]

Емельянова Л.Г. 2019. Оценка распространения редких видов птиц в региональных аридных биомах России – основа для их охраны // Аридные экосистемы. Т. 25. № 1. С. 69-78. [*Emelyanova L.G.* 2019. Assessment of the Distribution of Rare Bird Species in Regional Arid Biomes of Russia as the Basis for Their Protection // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 1 P. 59-68.]

Зонн И.С. 1995. Республика Калмыкия – Хальмг-Тангч – европейский регион экологической напряженности // Биота и природная среда Калмыкии. М.-Элиста: ТОО «Коркис». С. 6-18.

Зонн И.С., Куст Г.С. 1999. Проблемы опустынивания в России: состояние, оценки, пути решения // Опустынивание и деградация почв. Материалы Международной научной конференции. М.: Издательство МГУ. С. 52-65.

Казаков Б.А., Ломадзе Н.Х. 1992. Результаты авиаобследования поселений колониальных околоводных птиц в долине Дона и Западного Маныча // Кавказский орнитологический вестник. Вып. 4. Ч. 1. С. 104-109.

Красная книга Республики Калмыкия. 2013. Том 1. Животные. Элиста: ЗАОр «НПП «Джангар». 200 с.

Красная книга Российской Федерации (Животные). 2001. М.: АСТ-Астрель. 864 с.

Красная книга Ростовской области. 2004. Т. I. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения животные. Ростов-на-Дону: Малыш. 364 с.

Красная книга Ростовской области. 2014. Т. I. Животные. Изд. 2-е. Ростов-на-Дону: Минприроды Ростовской области. 280 с.

Круглова В.М. 1972. Пролетарское водохранилище. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета. 180 с.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2014. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3 (60). С. 14-32. [*Kouzmina J.V., Treshkin S.E.* 2014. Climate changes in the basin of the Lower Volga and their influence on the ecosystem // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 3. P. 142-157.]

Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А. 2020. Нейтральный баланс деградации земель – современный подход к исследованию засушливых регионов на национальном уровне // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 3-9. [*Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovskiy V.A.* 2020. Land Degradation Neutrality: the Modern Approach to Research on Arid Regions at the National Level // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 87-92.]

Летопись природы заповедника «Ростовский». 2012. Кн. 10. Пос. Орловский Ростовской области. 310 с.

Летопись природы заповедника «Ростовский». 2017. Кн. 15. Пос. Орловский. Ростовской области. 220 с.

Летопись природы заповедника «Ростовский». 2018. Кн. 16. Пос. Орловский. Ростовской области. 220 с.

Миноранский В.А. 1962. О гнездовании кудрявого пеликана на озере Маныч-Гудило // Зоологический журнал. Т. 41. Вып. 7. С. 1107-1108.

Миноранский В.А. 2001. Розовый *Pelecanus onocrotalus* и кудрявый *P. crispus* пеликаны на Северном Кавказе // Кавказский орнитологический вестник. Вып. 13. С. 92-107.

Миноранский В.А. 2020. Розовый *Pelecanus onocrotalus* и кудрявый *P. crispus* пеликаны на Северном Кавказе. 2-е изд. // Русский орнитологический журнал. Т.XXIX. Экспресс-выпуск № 1965. С. 3903-3917.

Миноранский В.А., Габунщина Э.Б. 2001. Уникальные экосистемы: озеро Маныч-Гудило. Элиста: АПП «Джангар». 239 с.

Миноранский В.А., Чекин А.В. 2003. Государственный степной заповедник «Ростовский». Ростов-на-Дону: ЦВВР. 129 с.

Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. 2009. Реки Западный и Восточный Маныч. Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом. 432 с.

Петров В.С., Миноранский В.А. 1962. Летняя орнитофауна озера Маныч-Гудило и прилежащих степей // Орнитология. Вып. 5. С. 266-275.

Приказ Минприроды от 24.03.2020 № 162 «Об утверждении перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации» [Электронный ресурс https://base.garant.ru/73841026/ (дата обращения: 31.03.2021)].

Степанян Л.С. 2003. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М.: Академкнига. 808 с.

Шаповалова И.Б. 2018. Методы оценки состояния прибрежных орнитокомплексов на примере искусственных водоемов сухостепной зоны юга России (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. Т. 24. № 4 (77). С. 58-65. [*Shapovalova I.B.* 2018. A Technique for Assessment of the State of Shore Ornithocomplexes Based on the Example of Artificial Reservoirs of the Dry-Steppe Zone in Southern Russia (Republic of Kalmykia) // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 4. P. 279-285.]

IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. [Электронный ресурс https://www.iucnredlist.org (дата обращения: 10.10.2020)].

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 93-100

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 599.735.53

ОСОБЕННОСТИ КОРМОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ОДНА ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН МАССОВОЙ ГИБЕЛИ САЙГАКОВ НА СТЕПНЫХ ПАСТБИЩАХ[1]

© 2021 г. Б.Д. Абатуров*, С.С. Горбунов, А.И. Кошкина*****

**Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН*
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский пр., д. 33. E-mail: abaturovbd@mail.ru
***Независимый исследователь*
Россия, г. Москва. E-mail: svy-gorbunov@yandex.ru
****Казахстанская ассоциация сохранения биоразнообразия*
Казахстан, 01000, Нур-Султан, ул. Бейбитшилик, д. 18, оф. 406. E-mail: alyona.koshkina@acbk.kz

Поступила в редакцию 18.04.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Современные климатические смены, ослабление антропогенной пастбищной нагрузки, рост степных пожаров вызвали с конца XX века экспансию и господство злаковой растительности на степных пастбищах России и Казахстана, что привело к ухудшению кормового качества пастбищной растительности, послужило одной из причин депрессии популяции сайгака и, возможно, сказалось на учащении случаев массового падежа сайгаков. Массовый падеж произошел в Казахстане в 2015 г., когда пало около 200000 животных. Выдвинуто большое количество различных версий о причинах их гибели: от инфекционного заболевания (гемморагическая септицемия), токсичных кормовых растений, неблагоприятных погодных условий до губительного действия ракетного топлива. В этой статье мы рассматриваем иную версию гибели, связанную с отрицательным действием низкокачественного корма в местах гибели сайгаков. Показано, что обеспеченность сайгаков пищей на степных пастбищах последовательно снижается при нарастании обилия злаков в кормовой растительности. К пригодным, обеспечивающим полноценное питание размножающимся сайгакам относятся пастбища с долей злаков в надземной фитомассе не более 30%. При превышении этого уровня пастбища не обеспечивают необходимого уровня питания размножающимся сайгакам и непригодны для них. Возможно, в период весенней миграции сайгаки оказались в пределах степных районов с господством дерновинных злаков (65-75%), превышающих их допустимое (пороговое) обилие (30%). Такое состояние пастбища не обеспечивало необходимого питания, вызвало ослабление животных в период выкармливания приплода, способствовало активизации инфекционной септицемии у размножающихся сайгаков, что, возможно, при совместном действии обоих факторов привело к их массовой гибели.

Ключевые слова: Сайгаки, степи Казахстана, степные пожары, обилие злаков, пригодность пастбищ, массовый падеж сайгаков, пастереллез, гемморагическая септицемия, кормовое качество растительности, переваримость кормов, обеспеченность кормом.
DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-93-100

Как известно, сайгак (*Saiga tatarica* L.) является видом, для которого характерны случаи массовых падежей, происходящих от различных причин. Известно, что во второй половине XX в. – начале XXI в. крупные массовые падежи сайгаков (с численностью погибших животных более 150 тыс. особей) наблюдались в 1981, 1984, 1988, 2015 гг. (Мищенко и др., 2016). Причины их возникновения до сих пор вызывают дискуссии в среде научного сообщества. Последний падеж 2015 г., охвативший бетпакдалинскую популяцию сайги и вызвавший широкий международный резонанс, наблюдался в период с 10 мая (Цутер и др., 2015) по начало июня на территории

[1] Работа выполнена по гранту Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-04-00172: «Токсические компоненты в растительности природных пастбищ как показатели качества кормовых ресурсов, их влияние на обеспеченность пищей и состояние популяций растительноядных млекопитающих в наземных экосистемах».

Костанайской (Амангельдинский и Жангельдинский районы), Акмолинской (Жаркаинский и Жаксынский районы) и Актюбинской областей Казахстана (Мищенко и др., 2016). На сегодняшний день считается, что за время падежа погибло более 200 тыс. животных (Kock et al., 2018). Динамика развития событий показывает, что изначально небольшое количество павших животных в начале мая к 22 мая достигло как минимум 85 тыс. особей, а к 5 июля уже 150 тыс. особей (Цутер и др., 2015). Таким образом, падеж распространялся настолько стремительно, что «в период 10 по 31 мая погибло более трети всего поголовья сайги, обитающего на территории Казахстана» (совокупно волго-уральская, бетпакдалинская и устюртская популяции – *прим авт.*; Цутер и др., 2015, с. 10). Относительная потеря мировой популяции сайгака в результате падежа в 2015 г. оценивается в размере 62% (Kock et al., 2018).

Важно отметить, что падеж пришелся на период массового отела сайгаков, обычно начинающегося в первой половине мая. При этом география падежа захватывала центральную часть современного ареала бетпакдалинской популяции сайгака – места, в которых животные обычно находятся в период отела (Айманов, 2013). S.A.A. Wolfs (2015) отмечает, что массовая гибель затронула две, по-видимому, не соприкасающиеся в настоящее время между собою субпопуляции сайги: в Тенгизе и в Тургае. Это может означать, что они были затронуты падежом одновременно, но независимо друг от друга.

В данный момент считается, что непосредственной причиной гибели животных стало развитие инфекционного процесса – геморрагической септицемии (пастереллёза), вызванной бактериальным возбудителем *Pasteurella multocida* сероварианта *B* (Горбунов, 2018; Мищенко и др., 2016; Feredouni et al., 2019; Kock et al., 2018;). Однако причины активизации возбудителя, являющегося условно патогенным, так и не были окончательно выяснены.

Интересно и важно отметить, что некоторые исследователи подчеркивают, что факты гибели диких и домашних копытных от геморрагической септицемии отмечались и ранее, но смертность при этом никогда не была близкой к 100%, как это наблюдалось у сайгаков в 2015 г. (Что сейчас известно …, 2016).

В разное время были предложены и рассмотрены следующие основные предположения о факторах, вызвавших активизацию возбудителя (при признании инфекционного поражения в качестве непосредственной причины массового падежа) и гибель животных:

1) воздействие токсинов (в т.ч. токсины растений и даже гептил) или погодных условий по отдельности и в сочетании (Что сейчас известно …, 2016; Feredouni et al., 2019; Kock et al., 2018; Wolfs, 2015);
2) сочетание нескольких патогенных агентов в организме животных (Скляренко, 2015, Мищенко и др., 2016; Kock et al., 2018);
3) объединение нескольких экологических факторов, обеспечившее повышенную вирулентность возбудителя (Kock et. al., 2018);
4) истощение и ослабленность животных к началу падежа ввиду скудного питания в период зимовки и длительной весенней миграции.

Все указанные гипотезы до сегодняшнего дня рассматриваются (по отдельности или вместе) в качестве рабочих, кроме, пожалуй, роли токсинов, т.к. работа по токсикологическому исследованию образцов тканей погибших животных и компонентов экосистемы была проведена еще в 2015 г. и дала отрицательный результат (Цутер, 2016; Цутер и др., 2015; Что сейчас известно …, 2016).

R.A. Kock с соавторами (2018) в обстоятельной статье, анализирующей возможные причины массовой гибели сайгака в 2015 г., указывает, что выявление истинных причин произошедшего, по-видимому, требует «многодисциплинарного подхода». Действительно, разумным представляется рассматривать многофакторную модель причин и процесса развития массовой гибели сайгаков. Однако для этого, в первую очередь, требуется выявить наиболее значимые факторы, оказывающие влияние как на состояние возбудителей инфекций, так и на состояние животных.

Однако следует признать, что среди причин гибели сайгаков не учитывался такой фактор, как состояние кормовых ресурсов в местах гибели. Наш опыт экспериментальных исследований кормовых ресурсов и питания сайгаков позволяет утверждать, что сайгаки в отличие от других растительноядных млекопитающих весьма чувствительны к сменам состава пастбищной

растительности и чрезвычайно уязвимы к ухудшению качества потребляемых растений (Абатуров и др., 1982, 1998; Абатуров, Джапова, 2020). Представляется необходимым рассмотреть роль этого фактора как одной из возможных причин массовой гибели сайгаков, оценить механизм его действия, что и послужило главной целью предлагаемой работы.

Материалы и методы

Для анализа этого фактора мы используем материалы исследования кормовых ресурсов, питания и состояния популяции сайгаков в северном и северо-западном Прикаспии, проводимого нами с 1996 г. по настоящее время. Отметим, что была выполнена сопряженная оценка состояния (видового состава и надземной массы) пастбищной растительности, состава рациона и переваримости потребленного сайгаками корма, состояния (динамики веса тела) особей популяции (Абатуров,1999; Абатуров и др., 1998, 2005, 2019; Ларионов и др., 2008).

Соотношение видов растений в рационе оценивали под микроскопом по доле фрагментов кутикулы каждого вида растений в собранных образцах фекалий (Розенфельд, Ларионов, 2006). Для видовой идентификации кутикулярных фрагментов в фекалиях использовали атлас фотографий клеточной структуры кутикулы массовых степных растений пастбища (Розенфельд, 2011; Джапова и др., 2019). Определение переваримости выполняли непрямым методом по соотношению естественных инертных (неперевариимых) маркеров в потребленном корме (рационе) и фекалиях (Абатуров и др., 2003). В качестве маркеров использовали органогенный кремний, естественно содержащийся в тканях поедаемых растений (Ely et al., 1953; Streeter, 1969). Анализ концентрации кремния проведен на основе кислотного (HNO_3) гидролиза образцов растений и фекалий с использованием колориметрического метода кремнемолибденовой сини (Колесников, Абатуров, 1997; Колесников 2001; Гинс и др., 2012). Анализ исключает посторонний кремний, поступающий в корм из окружающей среды (с почвой и пылью). Для оценки содержания кремния в съеденном корме использовали его средневзвешенное содержание в рационе путем учета доли потребленных видов растений и концентрации кремния в каждом из них. Коэффициент переваримости сухого вещества корма (D, %) рассчитывали по формуле: $D=(1–v/f)\times100$, где v и f – концентрация органогенного кремния соответственно в корме и фекалиях (Абатуров и др., 2003).

Результаты и обсуждение

В настоящее время хорошо известно, что травяная пастбищная растительность по кормовым свойствам разделяется на две основные группы, различающиеся питательной ценностью и, прежде всего, переваримостью, а именно злаки (в данном случае – однодольные растения) и разнотравье: Grasses и Forbs или Grass и Browse (Holechek, 1984; Hofmann, 1989; Калашников и др., 2003; Gordon, Prins, 2008). Для большинства злаков характерна пониженная переваримость. Представители разнотравья более переваримы (Van Soest, Jones, 1968; Holechek, 1984; Hofmann, 1989; Clauss et al., 2008). Понятно, что от соотношения количества злаков и разнотравья в потребленном корме (в рационе) зависит его переваримость и, соответственно, обеспеченность пищей пасущихся животных.

Современные климатические смены, ослабление антропогенной пастбищной нагрузки, рост степных пожаров, в результате которых огнем неоднократно пройдены степные пространства России и Казахстана, вызвали коренные изменения растительного покрова, что, начиная с конца XX века, выразилось в абсолютном господстве злаков и заметном уменьшении участия разнотравья в растительных сообществах степных пастбищ (Ларионов и др., 2008; Русанов, 2014; Абатуров, Джапова, 2015; Freitag et al., 2020). Как отмечено выше, злаки в отличие от разнотравья относятся к более грубым и слабее переваримым кормам. Столь радикальное преобразование растительного покрова отрицательно отразилось на кормовом качестве пастбищной растительности, на питании, обеспеченности пищей, состоянии популяций сайгаков и послужило одной из причин глубокой депрессий популяции сайгаков по всему ареалу, которая с конца прошлого века продолжается по настоящее время, и, очевидно, это изменение заметно проявилось также и в частых случаях локальной массовой гибели сайгаков.

Для обеспеченности животных пищей не столь важно общее количество потребленного корма, как его усвоенная часть, зависящая от его переваримости. Переваримость – важнейший показатель

качества корма, с которым связано состояние животных, в частности, привес их тела, рост, продуктивность. Регрессионый анализ показал, что при снижении переваримости корма пропорционально уменьшается вес тела животного в соответствии с уравнением (рис. 1):

$$y = 26.54x - 1493.3,$$

где y – суточный привес тела животного, x – коэффициент переваримости потребленного корма. При переваримости ниже 55-58%, как видно из рисунка 1, привес становится отрицательным, животное снижает массу тела, что отражает его отрицательный материальный и энергетический баланс.

Различные кормовые растения неодинаковы по уровню переваримости. Известно, что злаковые травы (grasses), как отмечено выше, менее переваримы. Поэтому переваримость потребленного корма (рациона) у всех растительноядных животных отрицательно связана с обилием злаков в потребленном корме (Абатуров, Скопин, 2019). У сайгаков эта зависимость также отрицательна и описывается следующим уравнением регрессии (рис. 2):

$$y = -0.17x + 67.19,$$

где y – коэффициент переваримости потребленного корма, x – доля злаков в потребленном корме.

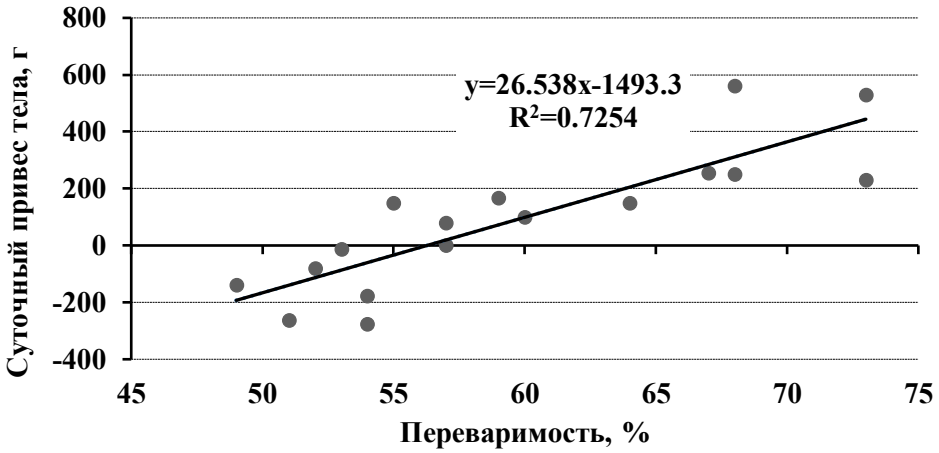

Рис. 1. Зависимость суточного привеса тела сайгаков от переваримости потребленного корма, r=0.82, F=39.6, p<0.01 (Абатуров, 1999; Abaturov, Subbotin, 2011).

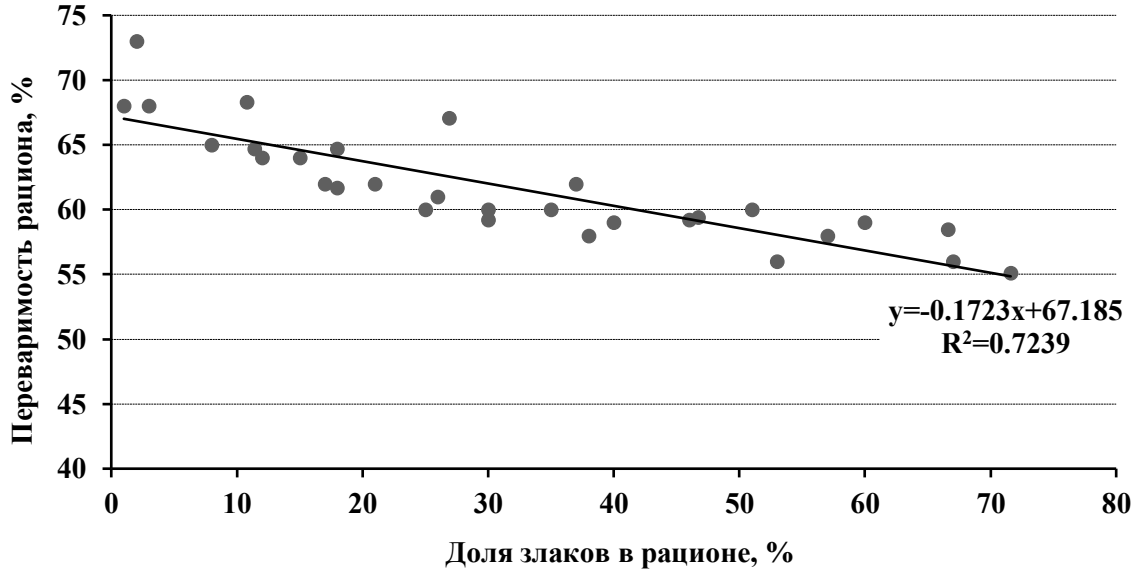

Рис. 2. Связь переваримости рациона сайгаков с долей злаков в составе рациона за период 1996-2016 гг., r=0.82, F=73.4, p<0.01.

В свою очередь доля злаков в потребляемом корме зависит от обилия злаков в растительности пастбища. Анализ показывает, что увеличение количества злаков на пастбище сопровождается последовательным пропорциональным ростом доли злаков в потребляемом корме и описывается уравнением (рис. 3):

$$y = 1.05x - 37.1,$$

где y – доля злаков в потребленном корме, x – доля злаков в надземной растительности пастбища.

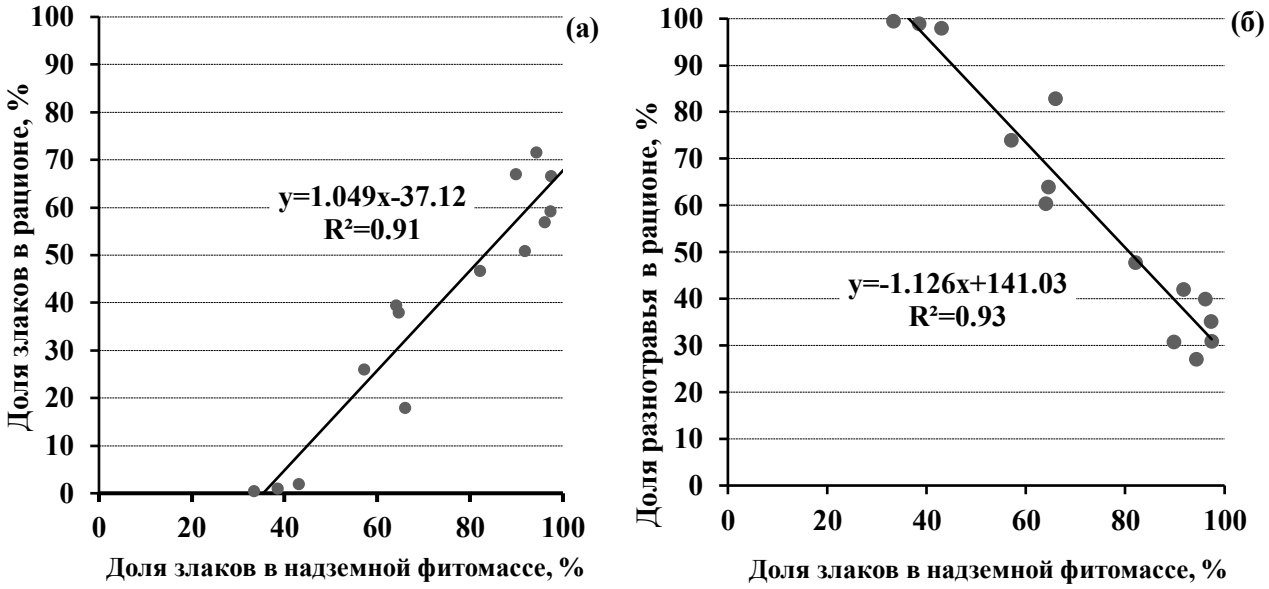

Рис. 3. Связь доли злаков (а) и разнотравья (б) в рационе сайгаков с обилием злаков в надземной фитомассе пастбища. Значимость связей: а) r=0.95, F=123.2, p<0.01; б) r=0.97, F=166.6, p<0.01 (Абатуров, Джапова, 2020).

Совершенно очевидно, что от обилия злаков в растительности пастбища зависит не только их доля в питании, но и опосредованно степень переваримости потребленного корма, а с ней и показатели обеспеченности пищей, зависящие от энергетических потребностей животного. Известны пороговые (минимальные) значения переваримости корма, необходимые для обеспечения различных физиологических потребностей организма сайгаков (таблица). Для удовлетворения энергетических потребностей на уровне поддержания жизни взрослых неразмножающихся животных требуется корм с переваримостью не ниже 57-58%. Для обеспечения расходов энергии на рост (продуктивность) сайгаков необходим корм с переваримостью >61%. Потребности в энергии размножающихся животных во время лактации и выкармливания приплода обеспечиваются при переваримости корма не ниже 67-68% (таблица).

Изложенные выше уравнения регрессии позволяют количественно оценить связи между обилием (долей) злаков в надземной растительной массе пастбища и основными показателями питания и физиологического состояния пасущихся сайгаков. Введем обозначения этих показателей:

a – доля злаков в надземной фитомассе пастбища, %;

b – доля злаков в потребленном корме (в рационе), %;

c – коэффициент переваримости потребленного корма (рациона), %;

d – суточный привес тела (рост) животного, г.;

c' – показатель пороговой переваримости, необходимой для удовлетворения энергетических потребностей организма.

Обобщенный анализ и взаимное преобразование полученных выше уравнений регрессии позволяет обозначить связь между отдельными составляющими трофического комплекса следующими уравнениями:

$$b = 1.05a - 37.12 \quad (1);$$
$$c = -0.17b + 67.19 \quad (2);$$
$$d = 26.53c - 1493.3 \quad (3);$$

$$c = -0.18a + 73.58 \quad (4);$$
$$d = -4.5b + 287.5 \quad (5);$$
$$d = -4.79a + 458.8 \quad (6);$$
$$b = (67.20 - c') / 0.17 \quad (7);$$
$$a = (73.58 - c') / 0.18 \quad (8).$$

Таблица. Пороговые значения переваримости корма (Абатуров, 1999; Abaturov, Subbotin, 2011).

Формы энергетических трат организма	**Потребности в энергии, МДж/кг$M^{0.75}$**	**Пороговая переваримость, %**
Энергия поддержания	0.719	58
Траты на рост	0.782	61
Траты на лактацию	1.002	68

Легко рассчитать, пользуясь этими уравнениями, что, согласно уравнению (8), пригодным, обеспечивающим полноценное питание животных в период размножения (выкармливание приплода, лактация), с требуемой для этого пороговой переваримостью (c') 68% (таблица), обилие злаков в надземной фитомассе на пастбище (a) не должно быть выше 31%. При более высокой доле переваримость (2) и (4) снижается, не обеспечивает необходимый уровень энергетических потребностей, кормящие (лактирующие) животные при таком состоянии пастбищной растительности нежизнеспособны. Для отдельных физиологических нужд, в частности, для обеспечения роста животных с необходимой переваримостью (c')>61% (таблица), доля злаков на пастбище (a) должна быть не выше 70%. Жизнеспособность особей на поддерживающем уровне с пороговой переваримостью (c') 58% обеспечивается при доле злаков в пастбищной растительности (a) не более 87%. При превышении количества злаков такие пастбища не обеспечивают достаточного питания сайгаков и становятся непригодными для их обитания.

Напомним еще раз, что повсеместная экспансия злаковых сообществ, наблюдавшаяся в последнюю четверть века в степных регионах России и Казахстана, отрицательно отразилась на европейско-азиатской популяции сайгака, вызвала депрессию популяции, участила случаи массовой гибели животных. Степная территория в Северной части Казахстана, в пределах которой произошел массовый падеж сайгаков в 2015 г., по существующему геоботаническому районированию относится к подзоне сухих типчаково-ковыльных степей (Природное районирование …, 1960) или к настоящей, засушливой разнотравно-дерновиннозлаковой степи (Титлянова и др., 2018). Именно здесь в разнотравно-ковылково-красноковыльной настоящей степи (Акмолинская обл., 51° 41′ с.ш., 70° 59′ в.д.), по оценкам 1976-1978 гг. в начальный период вегетации в мае-июне, т.е. в период, когда у сайгаков происходит массовое рождение и выкармливание приплода, в растительности господствуют дерновинные злаки, на долю которых приходится в разные годы 65-74% надземной фитомассы (Титлянова и др., 2018). При таком количестве злаков в растительности пастбища, судя по приведенным выше уравнениям (1, 2), доля злаков в питании (рационе) занимает 31-41%; а переваримость корма (4), соответственно, всего 60-62%, что делает эти степные пастбища непригодными для сайгаков в период лактации и выкармливания приплода. Как отмечено выше, для успешного выживания в период лактации уровень переваримости корма должен быть не ниже 68%, что возможно только при обилии злаков в растительности пастбища не выше 30%. Однако на рассматриваемом конкретном пастбище с долей злаков 65-74% растительность способна обеспечивать достаточное питание лишь неразмножающейся части популяции в состоянии роста или поддержания жизни с допустимым пиком злаков, соответственно, 70% и 90%. Вероятно, в мае-июне во время выкармливания приплода сайгаки были необеспечены полноценным питанием на степном пастбище с господством дерновинных злаков. Такое пастбище оказалось непригодным для них в период размножения, что и, возможно, стало одним из факторов их массовой гибели.

Выводы

Среди большого количества существующих версий о причинах массовой гибели сайгаков в Северном Казахстане в 2015 г. остается неучтенной роль кормовой обеспеченности животных и

пригодности пастбищ в местах гибели. В соответствии с предложенной нами версией, обсуждаемая массовая гибель сайгаков вызвана отрицательном влиянием на животных низкокачественного пастбищного корма в период их размножения.

Современная экспансия злаковых растительных сообществ на степных территориях России и Казахстана привела к увеличению обилия злаков и их господству на степных пастбищах, снижению доли высокопитательного разнотравья и соответствующему уменьшению питательной ценности потребляемого животными корма. В итоге степные пастбища этих территорий стали малопригодными или непригодными для сайгаков.

Вероятно, сайгаки в период весенней миграции в 2015 г. оказались в пределах обширных по площади степных сообществ с господством дерновинных злаков (65-75%), превышающих их допустимое (пороговое) обилие (30%) в период размножения и выкармливания приплода. Возможно, такое состояние пастбищ не обеспечило необходимого уровня питания, вызывало ослабление или даже гибель лактирующих самок, способствовало активизации инфекционной септицемии, вызвавшей при совместном действии того и другого фактора их массовую гибель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б.Д. 1999. Критические параметры качества растительных кормов для сайгаков (*Saiga tatarica*) на естественном пастбище в полупустыне // Зоологический журнал. Т. 78. № 8. С. 999-1010.

Абатуров Б.Д., Холодова М.В., Субботин А.Е. 1982. Интенсивность питания и переваримость кормов у сайгаков // Зоологический журнал. Т. 61. № 12. С. 1870-1881.

Абатуров Б.Д., Петрищев Б.И., Колесников М.П., Субботин А.Е. 1998. Сезонная динамика кормовых ресурсов и питание сайгака на естественном пастбище в полупустыне // Успехи современной биологии. Т. 118. С. 564-584.

Абатуров Б.Д., Колесников М.П., Никонова О.А., Позднякова М.К. 2003. Опыт количественной оценки питания свободнопасущихся млекопитающих в естественной среде обитания // Зоологический журнал. Т. 82. № 1. С. 104-114.

Абатуров Б.Д., Ларионов К.О., Колесников М.К., Никонова О.А. 2005. Состояние и обеспеченность сайгаков кормом на пастбищах с растительностью разных типов // Зоологический журнал. Т. 84. № 3. С. 377-390.

Абатуров Б.Д., Джапова Р.Р. 2015. Кормовая обеспеченность и состояние сайгаков (*Saiga tatarica*) на степных пастбищах с разным соотношением злаков и разнотравья // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 207-214.

Абатуров Б.Д., Скопин А.Е. 2019. Злаки и разнотравье на степных пастбищах, их токсические свойства и сравнительная роль в питании растительноядных млекопитающих // Журнал общей биологии. Т. 80. № 3. С. 226-237.

Абатуров Б.Д., Джапова Р.Р. 2020. Оценка пригодности пастбищ для сайгаков *Saiga tatarica* при сменах состава и кормового качества растительности // Успехи современной биологии. Т. 140. № 4. С. 395-403.

Айманов Б.А. 2013. Сайга в Иргиз-Тургайском резервате // Степной бюллетень. № 39. С. 48-51.

Гинс М.С., Колесников М.П., Гинс В.К., Кононков П.Ф. 2012 Методика анализа органической и минеральных (растворимой и полимерной) форм кремния в овощных культурах. М.: Российский университет дружбы народов. 38 с.

Горбунов С.С. 2018. Массовая гибель сайгаков в 2015 г.: Разгадка найдена? // Троицкий Вариант – Наука. № 246. С. 14.

Джапова Р.Р., Аюшева Е.Ч., Бембеева О.Г., Джапова В.В. 2019. Атлас эталонных образцов кутикулярной структуры эпидермиса различных видов растений степной и пустынной зон. Элиста: Изд-во Калмыцкого ун-та. 94 с.

Калашников А.П., Фисинин И.В., Щеглов В.В., Клейменов Н.И. 2003. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М: Россельхозакадемия. 456 с.

Колесников М.П., Абатуров Б.Д. 1997. Формы кремния в растительном материале и их количественное определение // Успехи современной биологии. Т. 117. № 5. С. 534-548.

Колесников М.П. 2001. Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии. Т. 41. С. 301-332.

Ларионов К.О., Джапова Р.Р., Розенфельд С.Л., Абатуров Б.Д. 2008. Питание сайгаков (*Saiga tatarica*) на пастбищах Черных земель Калмыкии в условиях восстановительной смены растительности и остепнения // Зоологический журнал. Т. 87. № 10. С. 1259-1269.

Мищенко А.В, Мищенко В.А., Караулов А.К. 2016. Проблема массовой гибели сайгаков // Ветеринария сегодня. № 4. С. 40-45.

Природное районирование Северного Казахстана. 1960. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 467 с.

Розенфельд С.Б., Ларионов К.О. 2006. Применение кутикулярного копрологического анализа в изучении

состава кормов копытных в Калмыкии и Монголии // Актуальные проблемы экологии и эволюции в исследованиях молодых ученых. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 117-141.

Розенфельд С.Б. 2011. Атлас микрофотографий кутикулярной структуры эпидермиса кормовых растений позвоночных фитофагов тундровой и степной зон Евразии. М.: Товарищество научных изданий КМК. CD-диск.

Русанов А.М. 2014. Восстановление естественной растительности и экологических функций засушливых степей Предуралья // Экология. № 4. С. 243-249

Скляренко С.Л. 2015. Причина массовой гибели сайгаков в Казахстане официально не выяснена // Степной бюллетень. № 45. С. 53-54.

Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Шмакова Е.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Магомедова Л.Н., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н.В., Тишков А.А., Тран Т.И., Хакимзянова Ф.И., Шатохиа Н.Г., Кыргыс Ч.О., Самбуу А.Д. 2018. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / 2-е издание, исправленное и дополненное. Новосибирск: ИПА СО РАН. 110 с.

Цутер Ш. 2016. Массовая гибель сайгаков в бетпакдалинской популяции в мае 2015 г. // Saiga News. № 1. С. 6-8.

Цутер Ш., Салемгареев А., Горбунов С. 2015. Трагедия в степях Казахстана. Массовая гибель сайгака: причины и перспективы // Троицкий Вариант – Наука. № 185. С. 10.

Что сейчас известно о причинах массовой гибели сайгаков в мае 2015 г.? 2016. // Степной бюллетень. № 46. С. 56-57.

Clauss M., Kaiser T., Hummel J. 2008. The Morphophysiological adaptations of browsing and grazing mammals // The Ecology of Browsing and Grazing. Ecologucal Studies 195 / Eds. I.J. Gordon, H.H.T. Prins. B., Heidelberg: Springer Verlag. P. 47-88.

Ely R.E., Kane E.A., Jacobson W.C., Moore L.A. 1953. Studies on the composition of lignin isolated from orchard grass hay cut at stages of maturity and from corresponding feces // Journal of Dairy Science. Vol. 36. No. 4. P. 346-355.

Feredouni S., Freimanis G.L., Orynbayev M. 2019. Mass Die-Off of Saiga Antelopes, Kazakhstan, 2015 // Emerging Infectious Diseases. Vol. 25. No. 6. P. 1169-1176.

Freitag M., Kamp J., Dara A. 2020. Post-Soviet shifts in grazing and fire regiments changed the functional plant community composition on the Eurasian steppe // Global Change Biology. Vol. 27. No. 2. P. 388-401.

Gordon I.J., Prins H.H.T. 2008. The Ecology of Browsing and Grazing. B., Heidelberg: Springer Verlag. 330 p.

Hofmann R.R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system // Oecologia. Vol. 78. No. 4. P. 443-457.

Holechek J.L. 1984. Comparative contribution of Grasses, Forbs, and Shrubs to the nutrition of range ungulates // Rangelands. Vol. 6. P. 261-263.

Kock R.A., Orynbayev M., Robinson S. 2018. Saigas on the brink: Multidisciplinary analysis of the factors influencing mass mortality events // Science Advances. Vol. 4. No. 1. 11 p.

Streeter Ch.L. 1969. A review of techniques used to estimate the in vivo digestibility of grazed forage // Journal of Animal Science. Vol. 29. No. 5. P. 757-768.

Van Soest P.J., Jones L.H.P. 1968. Effect of silica in forages upon digestibility // Journal of Dairy Science. Vol. 51. No. 10. P. 1644-1648.

Wolfs S.A.A. 2015. Assessment of the short-term effects of weather conditions on mass mortality of the saiga antelope (Saiga tatarica tatarica) in Kazakhstan [Электронный ресурс: https://www.saigaresourcecentre.com/literature/assessment-short-term-effects-weather-conditions-mass-mortality-saiga-antelope (дата обращения 10.04.2021)].

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 101-106

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 634.8:663.2:631

О БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОДУКЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ВИНОГРАДА, ВЫРАЩИВАЕМОГО В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ[1]

© 2021 г. О.К. Власова, Т.И. Даудова, З.К. Бахмулаева, С.А. Магадова, Г.Г. Магомедов

Прикаспийский институт биологических ресурсов
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367025, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail:vlasov_ok@rambler.ru

Поступила в редакцию 28.04.2021. После доработки 27.05.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Приведены результаты изучения биотехнологических свойств интродуцированного сорта Молдова, произрастающего в различных почвенно-климатических условиях засушливых территорий Дагестана. Выявлены особенности синтеза компонентов углеводного, кислотного, азотного, фенольного, аминокислотного и витаминного комплексов в зависимости от места его выращивания. Отмечено, что при низкой влагообеспеченности и высоких показателях суммы активных температур сорт Молдова способен синтезировать большое количество ценных питательных веществ. Показана экологическая пластичность и технологическая универсальность этого сорта, экспериментально доказана возможность получения из него высококачественных виноматериалов для производства игристых и оригинальных специальных вин, что обуславливает целесообразность расширения площадей под посадками винограда в засушливых условиях.

Ключевые слова: равнина, предгорье, засушливые условия, виноград сорта Молдова, виноматериал, биологически активные вещества, синтез компонентов, сумма активных температур.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-101-106

При развитии виноградовинодельческой отрасли возрастает значимость сорта. От сортимента растений, их адаптации зависит продуктивность насаждений и качество вырабатываемой продукции. Признается целесообразной диагностика потребности в обеспечении соответствия среды обитания и биологии сорта, выявление экологических ниш, где растение может максимально проявить свои потенциальные биологические возможности и лучшие наследственные свойства. Оптимизация сортимента при создании новых и реконструкции имеющихся виноградников – важнейшее условие их высокой продуктивности, долговечности и экономической эффективности производства (Щербакова, Цветкова, 2014; Печеная, Феоктистов, 2013).

В Дагестане при наличии разнообразных ландшафтов и природных зон земельные ресурсы предгорья составляют 56.7% от общей площади территории республики (Мисриева, Гаджиев, 2012). По мере повышения высотного градиента площадей под виноградниками изменяется их влагообеспеченность, сумма активных температур (САТ), угол падения солнечных лучей и другие природно-климатические факторы, оказывающие большое влияние на качество урожая. Республика Дагестан – один из важных регионов промышленного виноделия России (Магомедов и др., 2017).

Цель работы – исследование биотехнологического потенциала винограда интродуцированного сорта Молдова, произрастающего в аридных условиях Дагестана; получение данных, характеризующих биохимические и технологические свойства этого сорта, выращенного в засушливых условиях равнины и предгорий, оценка возможности производства из него виноматериалов и вин.

Объекты и методы исследований

Мы исследовали грозди, ягоды, сусло и виноматериалы из винограда сорта Молдова, произрастающего на опытных участках, которые различаются по гидротермическим коэффициентам и другим почвенно-климатическим условиям. Пробы отбирались в полевых условиях методом

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 41 «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России».

рандомизации. В лабораторных условиях были приготовлены и исследованы виноматериалы, полученные по различным технологическим схемам.

Сорт Молдова выведен в Молдавском научно-исследовательском институте виноградарства и виноделия и относится к межвидовым европейско-азиатским гибридам (Ампелография СССР, 1984). Он распространен в центральной и южной зонах виноградарства Республики Молдова, Краснодарского края, Закарпатье. В Дагестане выращивается на промышленных плантациях равнинной зоны и в нижних предгорьях.

Один из опытных участков расположен в долине у подножия бархана Сарыкум, где САТ превышает 4100°С на светло-каштановой, супесчаной почве. Обеспеченность почвы питательными веществами для растений низкая. Среднее количество осадков – 336 мм в год (Мацапулин и др., 2013).

Второй участок находится в 12 км от бархана Сарыкум на светло-каштановой суглинистой почве, где САТ составляет 3700°С, а количество осадков – 336 мм в год (Залибеков, 2000, 2002; Залибеков и др., 2017).

Третий участок расположен в южной части Терско-Сулакской низменности, где количество осадков составляет 247-360 мм, а САТ – 4160-4170°С. Рельеф территории представляет собой слабонаклонную равнину, постепенно поднимающуюся в южном направлении. Почвенный покров представлен разновидностями луговых и лугово-каштановых почв. Основными почвообразующими породами являются аллювиальные суглинки и карбонатные супеси с включениями щебня (Котенко и др., 2013).

Четвертый участок находится в северо-западной части Дагестана на высоте 237 м н.у.м. БС. Для него характерна небольшая расчлененность рельефа, среднегодовое количество осадков – 500-700 мм, САТ – 2800-3200°С. Почвы – темно-каштановые и коричневые со среднесуглинистыми разновидностями (Баламирзоев и др., 2008).

На всех опытных участках посадки виноградных насаждений высокоштамбовые, широкорядные, с одинаковой площадью питания куста 3×2 м.

Осуществлено ампелографическое изучение с определением механического состава и свойств гроздей и ягод. Массовые концентрации сахаров и титруемых кислот исследовали химическими методами (ГОСТ Р 13192-73 и ГОСТ Р 32114-2013 соответственно); лейкоантоцианов, красящих веществ и рутина – колориметрически; полифенолов и витамина С – титриметрически (Методы …, 2002; Ермаков и др., 1986). Аминокислоты изучены методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105» (Россия), элементный состав ягод исследован на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Hitachi» (Япония») и спектрографе СТЭ-1 (Россия) в Аналитическом центре коллективного пользования ДФИЦ РАН. Достоверность полученных отличий определяли с использованием t-теста Стьюдента при $p \leq 0.05\%$.

Результаты и обсуждение

Сорт винограда Молдова, культивируемый на суглинистой и супесчаной почве равнины Дагестана, хорошо адаптировался к засушливым условиям. По многолетним данным, грозди с растений, выращенных на супесчаной и суглинистой почвах, имеют цилиндроконическую форму. На кустах с участка с супесчаной почвой грозди крупные, средней плотности, длиной 16.6-22.6 см, шириной 10.2-14.4 см, со средней массой 260.8 г. Гребень составлял 2.0% от массы грозди. Показатели строения грозди – 33.5-70.4*[2], структуры – 9.2-15.1*, сложения ягоды – 11.4-28.8*. Ягоды крупные, овальные, темно-фиолетовые, длиной 23.0-23.8 мм, шириной 19.0-19.5 мм со средней массой 4.5 г. Кожица у ягод толстая, легко отделяется от мякоти, составляя 5.6% от массы грозди, семена средние по величине, грушевидные, коричневые, с коротким коническим клювиком, мякоть зеленовато-желтая, в прилегающей к кожице области изредка окрашена, мясистая, сочная составляет 1.9% от массы грозди. Окраска сока светлая. Сок содержал сахара – 17.8 г/100 $см^3$ при соотношении глюкозы к фруктозе 1.29, титруемые кислоты – 8.3 г/$дм^3$, фенольные вещества – 292.0 мг/$дм^3$, лейкоантоцианы – 148.6 мг/$дм^3$, красящие вещества – 143.1 мг/$дм^3$, аскорбиновую кислоту – 4.7 мг/$дм^3$, рутин – 131.0 мг/$дм^3$, свободные аминокислоты – 577.2 мг/$дм^3$, в том числе незаменимые – 336.2 мг/$дм^3$.

[2] 33.5-70.4* – безразмерные единицы (прим.авт.)

На плантациях, выращиваемых на суглинистой почве, грозди средние и крупные, длиной 16.8-21.1 см, шириной 12.6-13.6 см, со средней массой 280.8 г. Гребень составлял 2.3% от массы грозди. Показатель строения грозди – 32.3-65.7*, структуры – 7.7-12.2*, сложения ягоды – 10.7- 15.3*. Ягода длиной 25.2-31.0 см, шириной 21.9-26.9 мм, со средней массой 4.7 г. Кожица составляла 7.0%, а семена – 2.7% от массы грозди. Мякоть зеленовато-желтая, изредка окрашена в прилегающей к кожице области. Мясистая, сочная. Окраска сока светлая. Сок содержал сахара – 15.9 г/100 $см^3$, при соотношении глюкозы к фруктозе 1.25, титруемые кислоты – 8.4 г/$дм^3$, фенольные вещества – 309.4 мг/$дм^3$, лейкоантоцианы – 154.3 мг/$дм^3$, красящие вещества – 132.9 мг/$дм^3$, рутин – 112.0 мг/$дм^3$, витамин С – 3.3 мг/$дм^3$, свободные аминокислоты – 383.1 мг/$дм^3$, в том числе незаменимые – 203.2 мг/$дм^3$.

Виноград сорта Молдова, выращенный на теплообеспеченной светло-каштановой супесчаной почве, созревает на 5-7 дней раньше, чем на её суглинистой разновидности. О достоинствах изучаемого винограда свидетельствует длительный период технической зрелости, относительно высокое содержание в соке свободных аминокислот, рутина и сахаров.

Изучение аминокислотного состава винограда (табл. 1) показало многофункциональность и разнообразие аминокислотных пулов ягод, созревших в засушливых климатических условиях. Лучшие данные качественного состава и количественного содержания аминокислот определены в соке виноградных растений, культивируемых на светло-каштановой супесчаной почве. Выявлено большое количество циклических аминокислот: фенилаланина, тирозина, триптофана и серина, – которые принимают активное участие в формировании высших спиртов, обусловливающих оригинальность и специфичность сортового аромата винограда.

Таблица 1. Влияние теплообеспеченности и разновидностей почв на аминокислотный состав винограда сорта Молдова, мг/$дм^3$.

Функциональная группа аминокислот	**Аминокислота**	**Почва, сумма активных температур**	
		Светло-каштановая, супесчаная, 4100°С	**Светло-каштановая, суглинистая, 3700°С**
Алифатическая цепь:	Глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин	81.2	54.2
с гидроксилом	Серин, треонин	45.0	26.6
с атомом серы	Цистин, метионин	45.5	18.0
с карбоксилом	Аспарагиновая и глутаминовая кислоты	86.7	63.3
с основной группой	Аргинин, лизин, гистидин	186.3	127.7
Циклические	Фенилаланин, тирозин, триптофан	58.6	33.5
Иминокислотная	Пролин	73.9	59.8

Выявленные различия в формировании количественного содержания аминокислотных пулов в соке ягод изучаемого сорта вызваны высокой степенью теплообеспеченности и гранулометрическим составом почв. Заметное влияние оказывает и элементный состав почв, представленный 34 элементами.

Определено, что светло-каштановая супесчаная почва значительно беднее, чем суглинистая минеральными веществами (за исключением – кремния, меди и циркония). В сравнении с суглинистой разновидностью супесчаная почва способствовала формированию азотного метаболизма с более интенсивным накоплением в соке аланина, аргинина, аспарагиновой, глутаминовой кислот и др. Этот факт дополняет характеристику положительного влияния супесчаной почвы и засушливых условий на аминокислотный состав сока из ягод сорта Молдова, характеризующегося повышенным содержанием и других биологически активных веществ (БАВ; Власова и др., 2013; Даудова, Власова, 2018).

Низкий процент гребней, семян и весомый вклад в структуру грозди сочной мякоти, а также

наличие богатого содержания БАВ в ягоде предопределило возможность использования сорта Молдова в качестве сырья для приготовления виноматериалов. Ранее он был рекомендован в качестве купажного ингредиента при получении вин, богатых БАВ, наряду с виноматериалами из ценных красных сортов Каберне Совиньон и Саперави (Алиева и др., 2015).

Для определения и научного обоснования направления использования винограда сорта Молдова в виноделии важным является знание химического состава его ягод, созревающих на виноградных кустах на опытных участках с различными типами почв и с неодинаковой влагообеспеченностью. Кроме того, учёт высотного градиента местности произрастания и биотехнологических свойств продуктов переработки винограда позволяет определить сроки созревания этого сорта на вышеуказанных опытных участках. Из винограда урожая разных лет, культивируемого на высотах 43 и 237 м н.у.м. БС, были приготовлены и исследованы опытные варианты виноматериалов, физико-химические показатели которых (табл. 2), свидетельствовали о влиянии различий в степени засушливости климата на качество винодельческой продукции.

Таблица 2.Физико-химические показатели сухих виноматериалов из винограда сорта Молдова, возделываемого в условиях, отличающихся по засушливости климатического фактора.

Показатели	**Высота над уровнем моря, БС**			
	43 м		**237 м**	
	Особенности технологии			
	Брожение на мезге	**Нагрев мезги**	**Брожение на мезге**	**Нагрев мезги**
Спирт, % об.	9.7±0.1	9.7±0.1	11.3±0.1	11.3±0.1
Массовая концентрация: – сахаров, г/100 см^3 – титруемых кислот, г/дм^3	 0.1±0 6.2±0.18	 следы 6.2±0.18	 0.16±0. 05 7.0 ±0.18	 0.3±0.06 6.2±0.18
Фенольные соединения, мг/дм^3	1512.0±12.7	1026.0±6.8	1080.0±5.8	1053.0±5.6
Красящие вещества, мг/дм^3	317.0±8.1	329.7±8.6	475.5±10.7	560.0±11.2
Летучие кислоты, г/дм^3	0.49±0.004	0.36±0.003	0.42±0.003	0.33±0.003
Лейкоантоцианы, мг/дм^3	603.2±20.4	728.0±21.3	728.0±21.3	832.8±24.1
Сернистая кислота, мг/дм^3	61.4±1.28	66.5±1.28	64.0±1.29	62.4±1.27
Редуктоны, мг/дм^3	45.7±1.1	56.3±1.2	49.3±1.0	56.3±1.2
Азот общий, мг/дм^3	329.0±13.0	308.0±12.0	343.0±12.7	322.0±12.5
Витамины, мг/дм^3: – аскорбиновая кислота – рутин	 10.8±0.15 100.0±4.2	 8.1±0.15 96.0±3.9	 9.18±0.20 112.0±3.8	 6.75±0.14 108.0±4.0
Вязкость, Па·с	$1.34\cdot10^{-3}\pm0.01\cdot10^{-3}$	–	$1.88\cdot10^{-3}\pm0.01\cdot10^{-3}$	–
Коэффициент устойчивости пленки	1.74±0.01	–	2.1±0.01	–
Поверхностное натяжение, мН/м	55.42 ±0.16	–	66.40±0.15	–

Определены также пределы варьирования содержания основных веществ химического состава в зависимости от используемых технологических приемов переработки. От уровня содержания этих соединений в значительной степени зависит формирование типичных свойств качественной винодельческой продукции. За счет применения такого технологического приема, как контакт мезги с

суслом, виноматериалы имели высокую биологическую ценность, богатый химический состав, свойственный исходному сырью (Власова и др., 2017; Бахмулаева и др., 2019).

Исследованы также опытные образцы виноматериалов, приготовленных по технологии, предназначенной для получения из них специальных и игристых вин в различных условиях, отличающихся по степени засушливых земель (Бахмулаева и др., 2017).

Особенности физико-химического состава и свойств винограда сорта Молдова и опытных образцов продуктов его переработки указывают на возможность производства из него высококачественных виноматериалов для натуральных и специальных окрашенных вин. Использование сорта Молдова способствует восполнению в насаждениях на территории южных регионов России дефицита красных сортов винограда (Власова и др., 2019).

Выводы

Выявлена особенность адаптации винограда интродуцированного сорта Молдова к засушливым условиям равнины и предгорья Дагестана. Определены качественный состав и количественное содержание в ягодах биологически активных веществ в зависимости от почвенно-климатических условий. Выявлено, что засушливые условия и супесчаная почва с большим содержанием кремния, меди и циркония способствуют усиленному синтезу аминокислот в соке ягод.

Виноград сорта Молдова, культивируемый в засушливых условиях Дагестана на супесчаной и суглинистой почве, дает хорошие урожаи. Биотехнологический потенциал у него высок благодаря богатому химическому составу ягод, позволяющему рекомендовать его для производства высококачественных продуктов переработки. Универсальные свойства этого сорта, в том числе его экологическая пластичность, свидетельствуют о необходимости расширения посадочных площадей винограда Молдова в засушливых условиях Дагестана и прилегающих регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алиева Н.М., Маркосов В.А., Гугучкина Т.И., Челисова Л.Э., Огай Ю.А. 2015. Исследование флавоноидов и нефлавоноидовв красных винах Краснодарского края // Виноделие и виноградарство. № 4. С. 26-29.

Ампелография СССР. 1984. Отечественные сорта винограда. М.: Легкая и пищевая промышленность. 503 с.

Баламирзоев М.А., Мирзоев З.М.-Р., Аджиев А.М., Мухараджев К.Г. 2008. Почвы Дагестана. Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: ГУ «Дагестанское книжное издательство». 336 с.

Бахмулаева З.К., Власова О.К., Магадова С.А., *Даудова Т.И.* 2017. Влияние высотного градиента на физико-химические показатели виноматериалов из Молдовы // Вестник Дагестанского научного центра. № 66. С. 6-9.

Бахмулаева З.К., Власова О.К., Магадова С.А., *Гасанов Р.З.* 2019. О роли фенольных соединений в рациональном использовании виноградных ресурсов засушливых регионов // Аридные экосистемы. Т. 25. № 2 (79). С. 59-63. [*Bakhmulaeva Z.K., Vlasova O.K., Magadov S.A., Gasanov R.Z.* 2019. Phenolic Compounds in the Rational Use of Grape Resources in Arid Regions // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 2. P. 127-131.]

Власова О.К., Бахмулаева З.К., Магадова С.А. 2013. Микронутриентный состав ягод винограда сорта Молдова из различных биотопов Дагестана // Виноделие и виноградарство. № 5. С. 38-40.

Власова О.К., Бахмулаева З.К., Магадова С.А. 2017. Формирование химического состава ягод винограда в условиях северо-западной зоны Дагестана // Виноделие и виноградарство. № 1. С. 27-30.

Власова О.К., Бахмулаева З.К., Магадова С.А. 2019. Биотехнологический статус винограда нижнего предгорья Дагестана // Проблемы развития АПК региона. № 1 (37). С. 217-222.

Даудова Т.И., Власова О.К. 2018. Состав и содержание органических веществ в соке и виноматериалах из винограда, выращенного в северо-западной зоне Дагестана // Известия Вузов. Пищевая технология. № 1. С. 28-31.

Ермаков А.И., Арасимович Н.П., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. 1986. Методы биохимического исследования растений. М.: Агропромиздат. 160 с.

Залибеков З.Г. 2000. Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров. М. 219 с.

Залибеков З.Г. 2002. Изменение почвенного покрова под влиянием процессов опустынивания // Почвоведение. № 12. С. 1445-1451.

Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б., Мамаев С.А., Асгерова Д.Б., Галимова У.М., Султанахмедов М.С. 2017. Системное изучение аридных территорий, региональные закономерности распространения почв дельтовых экосистем и возможности их применения на разных континентах // Аридные экосистемы. Т. 23. № 2 (71). С. 3-11. [*Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B., Mamaev S.A., Asgerova D.B., Galimova U.M., Sultankhamedov M.S.* 2017. Regional distribution patterns of soils in delta ecosystems and their potential use on different continents // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 2. P. 73-79.]

Котенко М.Е., Зубкова Т.А., Гаджиева Э.М. 2013. Особенности почвенного покрова Терско-Сулакской

подгорно-приморской равнины // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 11 (109). С. 37-41.

Магомедов М.Г., Рамазанов О.М., Рамазанов Ш.Р., Магомедов Н.Д. 2017. Современное состояние и перспективы развития виноградарства и виноделия в Дагестане // Виноделие и виноградарство. № 1. С. 6-11.

Мацапулин В.У., Тулыщева Е.В., Хлопкова М.В. 2013. О геологических условиях формирования песчаной горы Сарыкум и геохимических особенностях ее карбонатных отложений // Аридные экосистемы. Т. 19. № 1 (54). С. 19-27.[ ]

Методы технохимического контроля в виноделии. 2002 / Ред. В.Г. Гержикова. Симферополь: Таврида. 260 с.

Мисриева Б.У., Гаджиев Я.М. 2012. Анализ и тенденция развития виноградарства в Дагестане // Виноделие и виноградарство. № 2. С. 30-32.

Печеная Л.Т., Феоктистов Д.Н. 2013. Современные тенденции, проблемы и перспективы развития винодельческой промышленности России // Виноделие и виноградарство. № 4. С. 4-*6.*

Щербакова Т.С., Цветкова Л.К. 2014. Конкурентоспособность Российского виноделия: проблемы и возможности развития // Вестник Российского университета дружбы народов. № 3ф. С. 75-85.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 107-117

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.52/581.526.325.4(1-925.16)

ВЛИЯНИЕ ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ НА СТРУКТУРУ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР ТАЖЕРАНСКОЙ СТЕПИ (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)[1]

© 2021 г. Н.И. Ермолаева, Г.В. Феттер

Институт водных и экологических проблем СО РАН
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: hope413@mail.ru

Поступила в редакцию 13.07.2020. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Проведена оценка современного состояния зоопланктона разнотипных озер Тажеранской степи и выявление особенностей формирования структуры сообществ в зависимости от изменения ионного состава воды под влиянием меняющихся гидрофизических условий. В августе 2017 г. исследованы гидрохимические показатели и зоопланктон 6 озер: Намши-Нур, Холбо-Нур, Гызги-Нур, Нуху-Нур, безымянное и Хара-Нур. Показано, что при усыхании озер и повышении солености отмечается сокращение видового разнообразия зоопланктона. Основными факторами, объясняющими 86.59% вариации численных показателей отдельных видов зоопланктона в озерах Тажеранской степи, оказались солёность, уровень pH, температура воды, количество растворенного в воде кислорода. Различные виды зоопланктона реагируют на изменение каждого отдельного фактора неодинаково. При оценке воздействия конкретного фактора на зоопланктон необходимо учитывать границы толерантности отдельных видов к воздействию каждого фактора по отдельности и к их сочетанию.

Ключевые слова: соленые озера, зоопланктон, гидрохимические условия, факторы среды, экологические оптимумы, Прибайкалье.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-107-117

Изучение структуры и функционирования соленых озер на территориях замкнутого стока представляет существенный интерес для гидробиологов и экологов. Усыхание в результате изменения гидрологических условий или под воздействием изменения климата приводит к изменению морфометрии озер, росту солености и, как следствие, к существенным изменениям структурно-функциональной организации биотической компоненты, в том числе зоопланктона (Hammer, 1986). Особенно сильно выражено воздействие климатических и гидрологических изменений на экосистемы малых водоемов, что позволяет использовать эти экосистемы в качестве моделей для исследования многих проблем теоретической и практической гидробиологии.

По уровню солёности озера Тажеранской группы, согласно Венецианской системе классификации природных вод (The Venice System …, 1958), можно отнести к трем различным классам: пресные (с солёностью менее 0.5 г/л), олигогалинные (0.5-5.0 г/л) и мезогалинные (5.0-18.0 г/л). По мере продвижения вдоль тектонического разлома, в котором и расположены озера, с севера на юг наблюдается смена гидрокарбонатно-магниевых вод на сульфатно-натриевые через сульфатно-магниевые, т.е. на небольшой территории представлены водоемы с разными гидрохимическими классами вод (Страховенко и др., 2015). И, наконец, в последнее десятилетие наблюдается постепенное усыхание озер Тажеранской системы. К 2017 году площадь сохранившихся водоемов, по сравнению с 2008 г., сократилась почти в 2 раза (рис. 1). Такие особенности позволяют проследить действие экологических факторов, в том числе изменения ионного состава воды на структуру зоопланктонных сообществ в условиях активного усыхания водоемов.

Целью работы является оценка современного состояния зоопланктонных сообществ разнотипных

[1] Работа выполнена в рамках Проекта 134.1.2. программы ФНИ государственных академий «Пространственно-временная организация водных экосистем и оценка влияния природных и антропогенных факторов на формирование гидробиоценозов и качество поверхностных вод».

озер Тажеранской степи и выявление изменений видовой структуры сообществ зоопланктона в зависимости от трансформации ионного состава воды под влиянием меняющихся гидрофизических условий.

Материалы и методы

Тажеранская степь расположена на западном побережье озера Байкал, на приподнятом на 300 м н.у.м. БС каменном плато (рис. 2). Годовая норма осадков составляет приблизительно 150-200 мм в год, что соответствует показателям для сухих степей и полупустынь (Баженова, Мартьянова, 2002). Тажеранская озерная система представляет собой цепочку бессточных мелководных водоёмов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Озера тектонического происхождения, приурочены к линейным разломам и к пулл-апарт структурам (Страховенко и др., 2015). Питание осуществляется за счёт грунтовых вод и немногочисленных атмосферных осадков. В конце августа 2008 года на территории Байкала произошло землетрясение мощностью в 7 баллов, которое, возможно, явилось причиной перераспределения тока подземных вод и последующего постепенного усыхания озер.

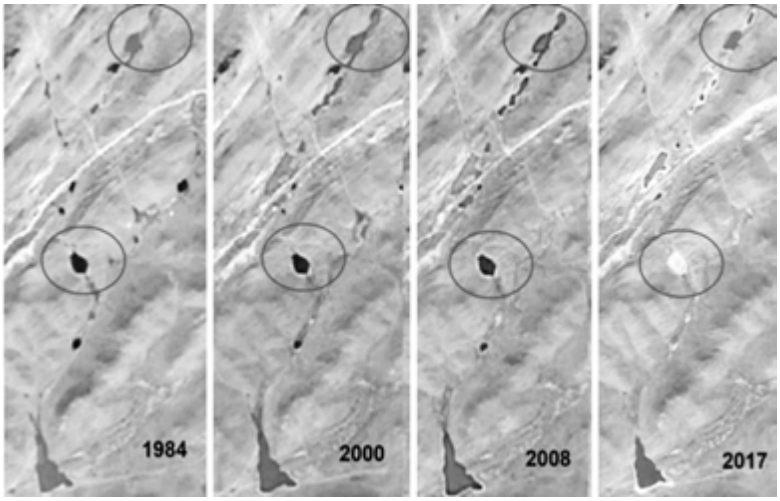

Рис. 1. Космоснимки, демонстрирующие изменение площадей озёр Тажеранской степи с 1984 г. по 2017 г.

Исследования проводились в первой декаде августа 2017 года. Всего было изучено 6 озер: Намши-Нур, Холбо-Нур, Гызги-Нур, Нуху-Нур, безымянное и Хара-Нур (названия озер приведены в соответствии с Государственным водным реестром Российской Федерации). Все озера по классификации В.В. Богданова (1970) относятся к литоральному типу, в значительной степени зарастают макрофитами, не стратифицируются, хорошо прогреваются и подвержены ветроволновому перемешиванию.

Сбор зоопланктона производили фильтрованием 50 литров воды через сеть Апштейна с размером ячеи 64 мкм. Пробы отбирали на центральных и прибрежных участках в соответствии с рекомендациями (Методические рекомендации …, 1982). Всего было отобрано 48 количественных проб зоопланктона. Пробы фиксировали 4% формалином. Камеральную обработку проводили по стандартной методике (Руководство ..., 1992). Валидность видов проверялась по международным базам данных – Catalogue of Life: 2018 Annual Checklist (2018), World of Copepods Database (Walter, Boxshall, 2019), Encyclopedia of Life (2020), Interagency Taxonomic Information System (2020), WoRMS: World Register of Marine Species (2020). При расчете численности, биомассы, продукции зоопланктона руководствовались «Методическими рекомендациями ...» (1982). Индивидуальную массу ракообразных и коловраток определяли по длине тела с использованием уравнения зависимости между этими показателями (Балушкина, Винберг, 1979; Кононова, Фефилова, 2018).

Одновременно с пробами зоопланктона проводили отбор проб воды на химический анализ. Соленость и pH измеряли с помощью портативного ионоселективного прибора АНИОН-4120. Определение первичной продукции планктона выполнялось скляночным методом в кислородной

модификации (Винберг, 1960). Химические анализы проб воды выполняли в Институте геологии и минералогии СО РАН по стандартным методикам (Страховенко и др., 2015).

Статистическая обработка материала проведена в пакете программ PAST. Чтобы рассмотреть влияние комплекса факторов среды, которые во многом априори зависимы друг от друга, на численность отдельных видов зоопланктона использован канонический анализ соответствий (CCA – canonical correspondence analysis; Ter Braak, 1986). Проверку значимости отличий гидрохимических параметров озер и данных обилия видов в исследованных озерах, осуществляли с помощью дисперсионного анализа ANOVA с применением F-критерия Фишера. Поскольку применение анализа соответствий к данным со многими нулями (когда многие виды присутствуют только в отдельных местообитаниях) может привести к некорректным выводам, данные подвергнуты преобразованию Хеллингера (Ramette, 2007; Zuur et al., 2010): логарифмирование (log (x+1)).

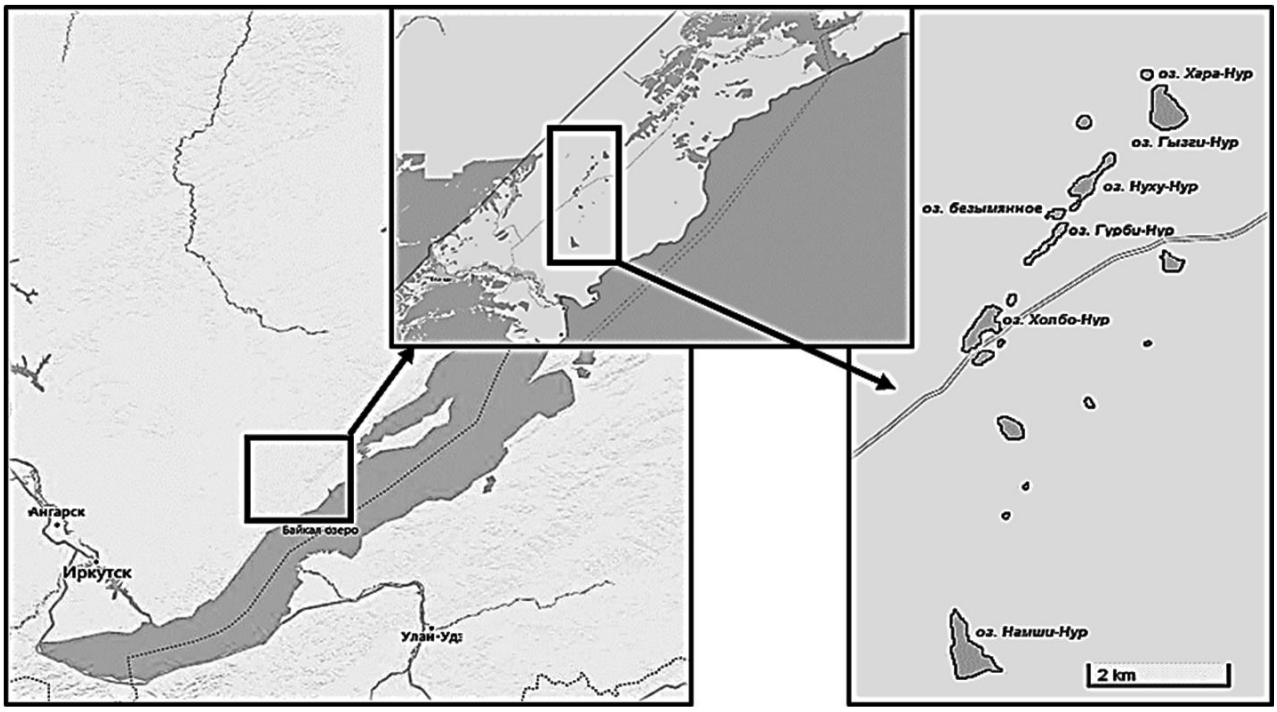

Рис. 2. Карта-схема расположения Тажеранских озер.

Результаты и их обсуждение

По уровню солёности исследованные озера относятся к трем различным классам: 1 пресное, 3 олигогалинных и 2 мезогалинных. Все озера являются щелочными – pH от 8.1 до 9.4. Гидрохимические данные и морфометрические показатели озер на момент исследования приведены в таблице 1. На примере показателей TDS, общей солености и уровня pH отметим, что вариативность гидрохимических параметров в центральной и в прибрежной части водоемов практически находится в пределах ошибки метода измерения, в связи с чем концентрация ионов и показатели первичной продукции и деструкции приведены для центральной части озер. Малые площади озер при активном ветровом перемешивании не способствуют дифференциации водной массы по термическим и гидрохимическим параметрам.

Всего в составе зоопланктона исследованных озер было обнаружено 42 вида зоопланктона: 8 веслоногих, 11 ветвистоусых раков и 23 коловраток (табл. 2).

Озеро Хара-Нур отличается обширными зарослями рдеста, хары, урути и других макрофитов. Степень зарастаемости порядка 80%. Вода в озере гидрокарбонатно-магниевая. Имеет наиболее низкую солёность из всех исследованных озер и самый богатый видовой состав зоопланктона – 29 видов (табл. 2). Большую часть численности и биомассы составляют ракообразные (табл. 3). Численность зоопланктона на различных участках озера колебалась от 27.4 до 27.6 тыс. экз./м^3.

Таблица 1. Данные по некоторым морфометрическим и гидрохимическим показателям для озер Тажеранской степи.

Показатели, ингредиенты	**Намши-Нур**	**Гызги-Нур**	**Нуху-Нур**	**Холбо-Нур**	**Безымянное**	**Хара-Нур**
Географические координаты с.ш., в.д.	52°50'00", 106°34'56"	52°54'49", 106°37'30"	52°54'11", 106°36'30"	52°52'58", 106°35'12"	52°53'38", 106°36'00"	52°55'16", 106°37'19"
TDS, мСм/см	2.30-2.72	2.28-2.33	1.33-1.36	11.20-11.31	3.9-4.2	0.60-0.61
Солёность г/л	0.84-1.03	1.42-1.46	0.81-0.87	7.12-7.21	1.04-1.10	0.28-0.30
pH	8.9-9.2	9.1-9.3	8.7-8.9	9.0-9.2	9.3-9.4	8.0-8.2
Max глубина, м	3.0	2.1	2.0	1.8	0.2	0.85
Площадь озера, км^2	0.2628	0.1063	0.0728	0.1119	0.0082	0.0099
$t°_{ср.}$, ºC	23.2	24.2	23.2	24.2	23.2	23.2
O_2, мг/л	5.52	5.20	7.59	5.00	4.28	5.30
NO_3^-, мг/л	0.32	1.20	0.92	0.70	2.15	0.67
CO_3^-, мг/л	168.00	1311.71	96.00	6687.04	3619.40	530.57
F^-, мг/л	9.20	1.06	2.54	0.05	0.14	0.38
Cl^-, мг/л	204.0	34.3	129.0	606.0	2630.0	10.0
SO_4^{2-}, мг/л	1333.0	279.1	998.0	3933.0	2254.0	64.7
HCO_3^-, мг/л	895.0	662.2	282.7	536.8	1101.0	410.7
Na^+, мг/л	650.00	113.00	160.00	1086.00	737.00	26.00
K^+, мг/л	160.00	56.00	34.00	78.00	64.00	11.00
Mg^{2+}, мг/л	280.00	145.00	170.00	558.00	240.00	62.00
Ca^{2+}, мг/л	17.00	24.00	16.00	74.00	7.00	50.00
Al^{3+}, мг/л	0.24	0.01	0.07	0.18	0.01	0.01
Fe*, мг/л	0.22	0.01	0.13	0.18	0.01	0.16
$PP_{валовая}$**, мгO_2/м^3·час.	0.46	0.12	1.15	0.46	0.39	0.09
Деструкция	0.34	0.05	0.41	0.51	0.20	0.02

Примечания к таблицам 1 и 5: * – валовое содержание, ** – первичная продукция.

Большинство видов, представленных в оз. Хара-Нур, в других водоёмах Тажеранской степи не отмечены. Доминировали по численности и биомассе науплиальные и копеподитные стадии *Acanthodiaptomus denticornis* и *Arctodiaptomus bacillifer*. Среди ветвистоусых массовое развитие получила *Daphnia galeata* (до 5.5 тыс. экз./м^3), среди коловраток – *Filinia longiseta* (до 2.9 тыс. экз./м^3).

Олигогалинное озеро Гызги-Нур по составу ионов относится гидрокарбонатно-магниевым. Видовой состав зоопланктона включает в себя 8 видов (табл. 2). Численность в прибрежной части озера достигала 370 тыс. экз./м^3, почти вдвое превышая таковую в центральной части. Основу численности обеспечивали коловратки *Asplanchna sieboldi* (до 170 тыс. экз./м^3) и *Filinia longiseta* (до 120 тыс. экз./м^3). Из веслоногих ракообразных по численности доминировали науплии и младшие копеподиты Cyclops (до 75 тыс. экз./м^3). Среди взрослых Cyclops доминировал *Eucyclops dumonti* (до 5.2 тыс. экз./м^3).

Вода в озере Нуху-Нур сульфатно-магниевая. Вдоль берегов редкие заросли рдеста (*Stuckenia* sp.). Уровень солёности воды в озере соответствует верхней границе класса пресных вод, однако видовое богатство зоопланктона составляет всего 8 видов (табл. 2). Наибольшая численность и биомасса зарегистрированы в пробах с центральной части водоёма (до 285 тыс. экз./м^3). Доминировала *F. longiseta* (274 тыс. экз./м^3).

Безымянное озеро сульфатно-натриевое. Дно покрыто зарослями рдеста, хары и бактериальными матами. Всего обнаружено 5 видов зоопланктона (табл. 2). Несмотря на бедный видовой состав, в озере отмечена самая высокая численность зоопланктона (до 6420 тыс. экз./м^3). Доминировал *Brachionus asplanchnoides* (до 5760 тыс. экз./м^3).

Таблица 2. Таксономический состав зоопланктона Тажеранских озер.

Латинские названия видов зоопланктона	**Намши-Нур**	**Гызги-Нур**	**Безымянное**	**Холбо-Нур**	**Нуху-Нур**	**Хара-Нур**
Copepoda						
Acanthodiaptomus denticornis (Wierzejski, 1887)	+	+		+	+	+
Arctodiaptomus bacillifer (Koelbel, 1885)		+		+	+	+
Arctodiaptomus salinus (Daday, 1890)	+		+	+	+	
Cyclops kolensis Lilljeborg, 1901						+
Eucyclops dumonti Alekseev, 2000	+	+				
Macrocyclops albidus (Jurine, 1820)					+	+
Microcyclops varicans (Sars, 1863)		+				
Paracyclops fimbriatus (Fischer, 1851)		+				+
Cladocera						
Acroperus harpae (Baird, 1834)						+
Alona (Coronatella) rectangula (G.O. Sars, 1862)	+					+
Biapertura affinis (Leydig, 1860)						+
Bosmina longirostris (O. F. Müller, 1785)						+
Ceriodaphnia quadrangula (O. F. Müller, 1785)						+
Chydorus sphaericus (O. F. Müller, 1785)	+					+
Daphnia carinata King, 1853	+					
Daphnia galeata Sars, 1864						+
Oxyurella tenuicaudis (Sars, 1862)						+
Scapholeberis microcephala Sars, 1890						+
Simocephalus vetulus (O. F. Müller, 1776)						+
Rotifera						
Asplanchna sieboldi (Leydig. 1854)	+	+				
Brachionus quadridentatus ancylognatus Schmarda, 1859						+
Brachionus asplanchnoides Charin, 1947			+	+	+	
Brachionus plicatilis Müller, 1786	+					
Cephalodella gibba (Ehrenberg, 1832)	+					
Euchlanis dilatata Ehrenberg, 1832						+
Eudactylota eudactylota (Gosse, 1886)						+
Filinia longiseta (Ehrenberg, 1834)	+	+	+	+	+	+
Hexarthra fennica (Levander, 1892)			+	+		
Hexarthra mira (Hudson, 1871)	+				+	
Keratella cochlearis (Gosse, 1851)					+	+
Keratella quadrata (Müller, 1786)		+	+			
Lecane closterocerca (Schmarda, 1859)						+
Lecane luna (Müller, 1776)						+
Lecane lunaris (Ehrenberg, 1832)						+
Lepadella ovalis (Müller, 1786)						+
Lophocharis oxysternon (Gosse, 1851)						+
Mytilina mucronata (Müller, 1773)						+
Platyias quadricornis (Ehrenberg, 1832)						+
Polyarthra dolichoptera Idelson, 1925	+					
Polyarthra vulgaris Carlin, 1943						+
Testudinella patina (Hermann, 1783)	+					
Trichotria similis (Stenroos, 1898)						+
Всего видов	13	8	5	5	8	29

Озеро Холбо-Нур относится к сульфатно-натриевым. Вдоль береговой линии обширные заросли рдеста (*Stuckenia* sp.). Всего обнаружено 5 видов зоопланктона: 2 – Rotifera, 3 – Copepoda (табл. 2). В центральной части основу численности составляли копеподиты *A. denticornis*, а на прибрежных территориях субдоминантом являлся *B. asplanchnoides*. Общая численность зоопланктона достигала на отдельных участках 103 тыс. экз./м^3.

Озеро Намши-Нур по площади самое большое из Тажеранских озер. Вдоль берегов заросли рдеста. По ионному составу воды озеро относится к сульфатно-магниевым. Всего обнаружено 13 видов зоопланктона: 7 – Rotifera, 3 – Cladocera и 3 – Copepoda (табл. 2). Наибольшее видовое разнообразие отмечено в прибрежной зоне. Численность достигала 508 тыс. экз./м^3. Основу численности составляли коловратки, основу биомассы – веслоногие рачки науплиальных и младших (I-III) копеподитных возрастных стадий. Доминантами являлись *Arctodiaptomus salinus*, *Brachionus plicatilis* и *F. longiseta*.

По результатам анализа ANOVA выявлены значимые различия в гидрохимических характеристиках исследованных озер ($F=71.94$; $p<0.00001$) и в численности различных видов зоопланктона в данных озерах ($F=7.41$; $p<0.00001$). Значимых статистических различий в видовой структуре зоопланктона и в гидрохимических показателях в прибрежной и центральной частях озер не обнаружено.

Таблица 3. Средние количественные показатели зоопланктона Тажеранских озер в августе 2017 г.

Озеро	Численность, экз./м^3				Биомасса, мг/м^3			
	Rotifera	Cladocera	Copepoda	Всего	Rotifera	Cladocera	Copepoda	Всего
Намши-Нур	222570	200	31650	254420	188.37	3.47	2403.25	2595.09
Гызги-Нур	184030	0	93860	277890	1011.35	0	2968.47	3979.82
Безымянное	5865400	0	130	5865530	42212.16	0	9.55	42221.71
Холбо-Нур	29000	0	51550	80550	217.44	0	1982.98	2200.42
Нуху-Нур	141510	0	15990	157500	44.12	0	614.60	658.72
Хара-Нур	5340	4790	17310	27500	3.29	403.88	720.62	1124.50

Канонический анализ соответствий продемонстрировал, что для озер Тажеранской степи найденные собственные значения первых трех осей объясняют 86.59% вариации зависимости между встречаемостью отдельных видов зоопланктона и переменными среды (табл. 4).

Таблица 4. Процентный вклад объясненной дисперсии численности отдельных видов зоопланктона в Тажеранских озерах.

	Собственные значения	% объясняемой дисперсии
Ось 1	6.758	48.66
Ось 2	4.830	23.65
Ось 3	3.232	14.28

Положительное направление оси 1 связано с комплексом сильно связанных между собой гидрохимических показателей, определяющих уровень солености (HCO_3, Cl, SO_4, Na, F) и с температурой, а ось 2 во многом определяется концентрациями HCO_3, K, уровнем pH и содержанием растворенного кислорода. Третья ось скоррелирована с концентрацией NO_3, с концентрацией металлов (Mg, Al, Fe), с глубиной и с уровнем первичной продукции (табл. 5).

На ординационной диаграмме видно, что наиболее схожими между собой по факторам среды и по структуре зоопланктона являются озера Хара-Нур и Нуху-Нур. Самые сильные отличия имеет озеро безымянное – самое мелкое и с самой высоким уровнем солености (рис. 3).

В результате сопряженного анализа факторов внешней среды и численности отдельных видов зоопланктона в озерах Тажеранской степи показано, что большинство видов зоопланктона

отрицательно коррелирует с показателями солёности и pH, за исключением *Br. asplanchnoides*, *A. salinus, Hexarthra fennica*, *Keratella quadrata* (рис. 3). Невысокий уровень положительной зависимости с соленостью показала и *F. longiseta.*

Таблица 5. Корреляционные связи показателей среды, объясняющих дисперсию численности отдельных видов зоопланктона в Тажеранских озерах, с факторными осями.

Анализируемые факторы	Axis 1	Axis 2	Axis 3
NO3	0.69853	0.20723	0.61619
CO3	0.59288	0.13199	0.36345
F	0.89725	0.13386	-0.27299
Cl	0.89725	0.13386	-0.27299
SO4	0.65595	0.16007	-0.58138
HCO3	0.55376	0.61501	0.09972
Na	0.65032	0.28838	-0.54940
K	0.30008	0.63945	-0.61322
Mg	0.48743	0.23742	-0.62608
Ca	-0.48076	-0.38176	-0.07106
Al	-0.08914	0.05081	-0.89194
Fe*	-0.40103	-0.49444	-0.67944
h	-0.59204	0.06337	-0.84578
t	0.60347	0.00859	0.43746
O2	-0.15853	-0.58245	0.12017
BOD5	-0.11534	0.11445	0.00143
pH	0.61833	0.66830	-0.20112
salinity	0.93724	0.19243	0.01581
PP**	-0.00606	0.09906	-0.54509

Ранее в работе, проведённой для озер юга Западной Сибири (Феттер, Ермолаева, 2018) было отмечено, что численность *H. fennica* и *Hexarthra mira* растет с повышением солёности. Для Тажеранских озер анализ показал, что численность *H. mira* практически не зависит от уровня солёности, а *H. fennica* демонстрирует тесную связь с данным показателем. Это можно объяснить тем, что размах значений солёности в Тажеранских озерах соответствует пределам галотолерантности *H. mira*, тогда как для *H. fennica* в условиях Сибири оптимальный уровень солености, по нашим данным, превышает 20 г/дм^3 (Ермолаева, 2020). Таким образом, в пределах границ галотолерантности солёность не является определяющим фактором для вида, а при значениях ниже оптимума численность вида растет при приближении показателя к оптимальным значениям.

Науплии и копеподиты циклопов, *E. dumonti, A. sieboldi* положительно реагируют на увеличение глубины и на повышение уровня органических веществ (по $БПК_5$; рис. 3). Копеподиты и науплии Diaptomidae положительно реагируют на повышение в воде концентрации Ca и растворенного кислорода, при этом они находятся в отрицательной связи с ростом солености (рис. 3).

Таким образом, в малых бессточных озерах на структуру зоопланктона влияет множество факторов среды: соленость, концентрация растворенного в воде кислорода, pH, гидрологические особенности водоёма, концентрация и соотношение основных ионов и т.д., на что неоднократно указывали многие исследователи (Geddes et al., 1981; Zhao et al., 2005; Afonina, Tashlykova, 2018). Учесть все факторы и проследить их взаимодействие с зоопланктоном – задача невыполнимая. При одновременном изменении ряда факторов среды мы можем не вычленить их воздействие на сообщества зоопланктона, если будем рассматривать только численные изменения групп, поскольку различные виды реагируют на изменение каждого отдельного фактора различным образом (Ермолаева, Бурмистрова, 2005; Зинченко и др., 2018; Феттер, Ермолаева, 2018).

Наиболее показательным является соотношение численности отдельных видов внутри сообщества.

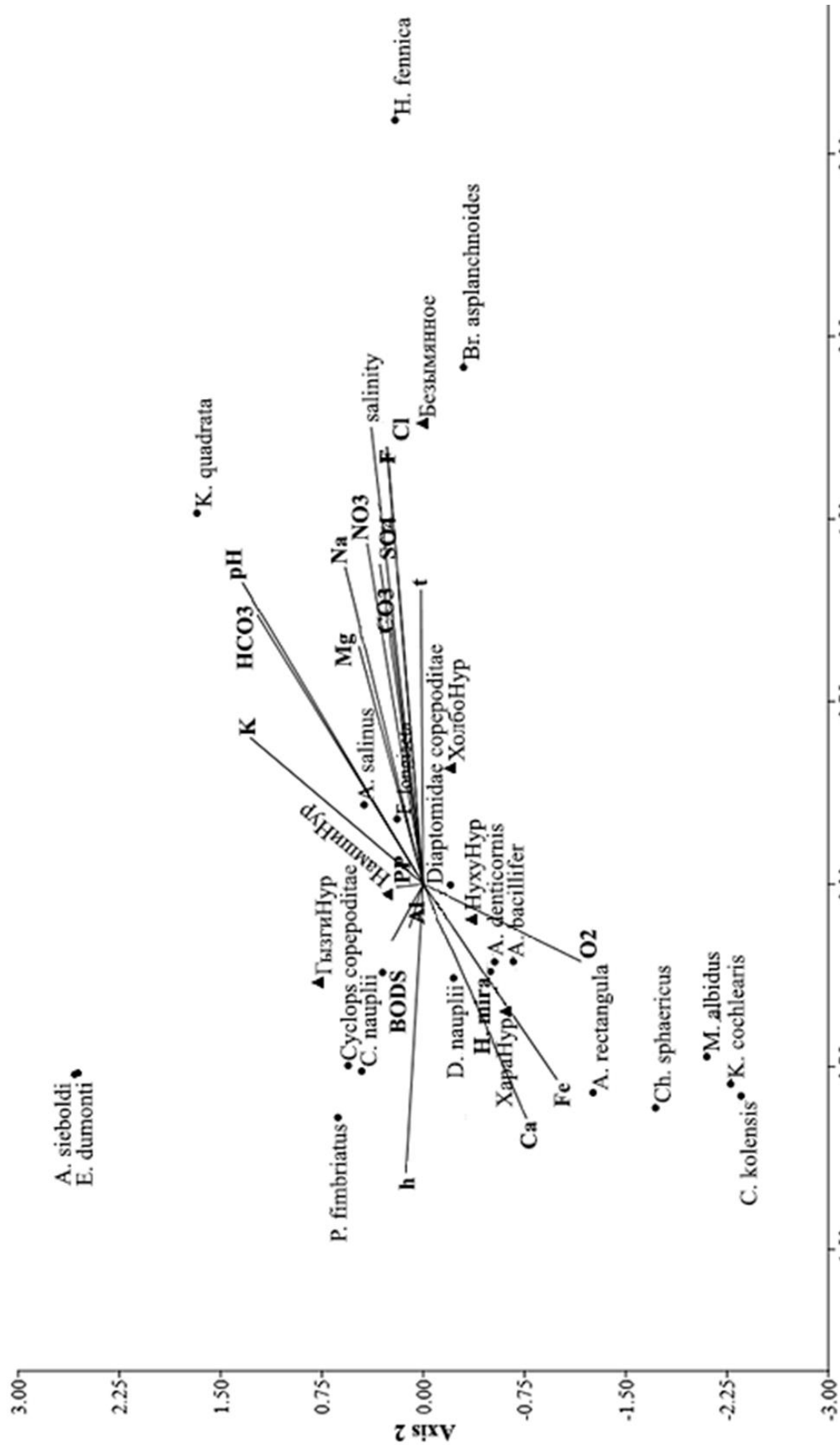

Рис. 3. Ординационная диаграмма видовой структуры зоопланктона (канонический анализ соответствий CCA) в озерах Тажеранской степи в зависимости от факторов среды, где: PP – первичная продукция, t – температура воды, salinity – соленость, h – максимальная глубина озера. Кружки – виды, треугольниками – озера.

При исследовании зависимости структуры сообществ зоопланктона от внешних факторов в разнотипных озерах нередко получаются противоречивые данные.

Для солёных озер Австралии и Монголии главными факторами, определяющими структуру зоопланктона, оказались pH и температура поверхностного слоя воды (Conte, Geddes, 1988; Afonina, Tashlykova, 2018). В то же время для малых солёных озер Китая зависимости между pH и количественными показателями зоопланктона обнаружено не было (Zhao, He, 1999). Подобные рассогласования наблюдаются в результатах, полученных для эстуариев, прибрежных лагун и других водоемов, обладающих переменной солёностью. При анализе данных для большого числа солоноватоводных лагун Балтийского моря связи между зоопланктоном и солёностью выявлено не было (Paturej, 2009), что противоречит литературным данным, согласно которым влияние солёности на планктонную фауну очень значительно (Hammer, 1986; Cognetti, Maltagliati, 2000; Иванова, 2005; Telesh, Khlebovich, 2010). Объясняются эти несоответствия тем, что локальные гидрохимические и гидрофизические факторы для каждого водоёма преобладают над глобальными.

Зоопланктон Тажеранских озер неоднократно становился объектом исследования, что позволяет провести сравнительную характеристику современного состояния планктонного сообщества с данными других авторов, полученных в более ранние годы (Пенькова и др., 2007; Макаркина, Шевелева, 2008; Макаркина, 2009; Макаркина и др., 2015). Рассмотрим изменение зоопланктонного сообщества на примере озера Намши-Нур. Соленость воды в озере с 2001 г. по 2017 г. практически не изменилась. При этом озеро из гидрокарбонатно-натриевого перешло в класс сульфатно-магниевых. В исследованиях, проведенных ранее на данном водоёме, было отмечено 28 видов зоопланктона: 14 – Rotifera, 9 – Cladocera, 5 – Copepoda (Макаркина, 2009). В августе 2017 г. в этом озере обнаружено всего 13 видов. Ранее в озере структурообразующее ядро зоопланктона образовывали *Arctodiaptomus salinus*, *F. longiseta, Keratella quadrata, Keratella valga, Rhinoglena frontalis, Daphnia magna* и *Moina mongolica*. Основу биомассы составляли *A. salinus* и *D. magna*. В 2017 г., как указано выше, в состав доминантов входили *A. salinus*, *B. plicatilis* и *F. longiseta.* Из состава зоопланктона выпали *Pleurotrocha petromyzon*, *Rhinoglena frontalis*, *Brachionus angularis*, *K. valga*, *D. magna*, *Bosmina longirostris*, *Eucyclops arcanus*, *Arctodiaptomus bacillifer*, *Megacyclops viridis* и др. И если исчезновение ряда видов с невысоким уровнем галотолерантности (*M. viridis, B. longirostris* и др.) можно объяснить повышением уровня солености озера в отдельные периоды, в связи с процессами усыхания, то выпадение из состава сообщества видов с гораздо более широким диапазоном галотолерантности, таких как *D. magna, K. valga, A. bacillifer* скорее всего объясняется именно изменением долевого соотношения основных ионов. На основании проведенного анализа (рис. 3) можно предположить, что по мере изменения условий происходит вытеснение ряда видов другими, для которых создавшиеся условия более благоприятны. Как уже отмечено выше, повышение удельной концентрации ионов SO_4^{2-} и Mg^{2+} должно способствовать развитию *A. salinus* и *F. longiseta*.

Выводы

При усыхании озер и повышении солености отмечается сокращение видового богатства зоопланктона Тажеранских озер.

Факторами, объясняющими 86.59% вариации численных показателей отдельных видов зоопланктона в озерах Тажеранской степи, в пределах солености, не превышающей 18 г/л (от олигогалинных почти до верхнего предела мезогалинных), оказались общая солёность (включающая показатели содержания таких ионов, как Na^+, SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-), уровень pH, температура воды, количество растворенного в воде кислорода. В меньшей степени видовая структура связана с концентрацией металлов (Mg, Al, Fe), с глубиной озер и с содержанием NO_3^-.

При одновременном изменении ряда факторов среды различные виды зоопланктона реагируют на изменение каждого отдельного фактора различным образом. В итоге результирующие изменения сообщества на уровне групп могут быть незаметны. Наиболее показательным является соотношение численности отдельных видов внутри сообщества.

Разница в видовом составе зоопланктона озер, близких по уровню минерализации, объясняется прежде всего долевым соотношением ионов.

Если конкретный вид находится в условиях, не просто входящих в границы его галотолерантности, но и приближенных к оптимуму существования, то соленость не является

фактором, определяющим его численные показатели. В таких условиях на роль ведущих выходят другие факторы, в том числе и долевое соотношение отдельных ионов в воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баженова О.И., Мартьянова Г.Н. 2002. Современные морфоклиматические режимы степей и лесостепей Сибири // География и природные ресурсы. № 3. С. 57-64.

Балушкина, Винберг. 1979. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука. С. 169-172.

Богданов В.В. 1970. Принципы зонально-лимнологического районирования. Автореф. дис. … док. геогр. наук. Л. 31 с.

Винберг Г.Г. 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: АН БССР. 328 с.

Ермолаева Н.И. 2020. Факторы пространственно-временной организации сообществ зоопланктона озер юга Западной Сибири. Автореф. дис. … док. биол. наук. Новосибирск. 39 с.

Ермолаева Н.И., Бурмистрова О.С. 2005. Влияние минерализации на зоопланктон озера Чаны // Сибирский экологический журнал. Т. 12. № 2. С. 235-247.

Зинченко Т.Д., Шитиков В.К., Головатюк Л.В., Гусаков В.А., Лазарева В.И. 2018. Планктонные и донные сообщества в соленых реках бассейна оз. Эльтон: статистический анализ зависимостей // Аридные экосистемы. Т. 24. № 3 (76). С. 81-88. [*Zinchenko T.D., Shitikov V.K., Golovatyuk L.V., Gusakov V.A., Lazareva V.I.* 2018. Plankton and Bottom Communities in the Saline Rivers of Lake Elton Basin: Statistical Analysis of Dependences // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 3. P. 225-230.]

Иванова М.Б. 2005. Зависимость числа видов в зоопланктоне озер от общей минерализации воды и величины pH // Биология внутренних вод. № 1. С. 64-68.

Кононова О.Н., Фефилова Е.Б. 2018. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона европейского севера России. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН. 152 с.

Макаркина Н.В. 2009. Структура и функционирование зоопланктона степных бессточных озер Байкальской Сибири. Дис. … к.б.н. Улан-Удэ. 172 с.

Макаркина Н.В., Шевелева Н.Г. 2008. Видовой состав и продуктивность зоопланктона Тажеранских солоноватых озер (Прибайкалье) // Вестник Томского государственного университета. № 316. С. 191-195.

Макаркина Н.В., Шевелева Н.Г., Пенькова О.Г. 2015. Качество воды Тажеранских озер по показателям зоопланктона // Вода: химия и экология. № 11 (89). С. 44-49.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. 1982. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР. 33 с.

Пенькова О.Г., Шевелева Н.Г., Аров И.В., Коровякова И.В., Макаркина Н.В. 2007. Гидрофауна Тажеранских степных озер // Труды Прибайкальского национального парка. № 2. С. 86-112.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. 1992 / Ред. В.А. Абакумов. СПб.: Гидрометеоиздат. 320 с.

Страховенко В.Д., Солотчина Э.П., Восель Ю.С., Солотчин П.А. 2015. Геохимические факторы аутигенного минералообразования в донных отложениях озер Тажеранской системы (Прибайкалье) // Геология и геофизика. Т. 56. № 10. С. 1825-1841.

Феттер Г.В., Ермолаева Н.И. 2018. Влияние абиотических факторов на структуру зоопланктона малых озер юга Западной Сибири // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. № 2 (49). С. 95-103.

Afonina E.Yu., Tashlykova N.A. 2018. Plankton community and the relationship with the environment in saline lakes of Onon-Torey plain, Northeastern Mongolia // Saudi Journal of Biological Sciences. Vol. 25. No. 2. P. 399-408.

Catalogue of Life: 2018 Annual Checklist. 2018 [Электронный ресурс http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2018/details/database (дата обращения 25.11.2020)].

Cognetti G., Maltagliati F. 2000. Biodiversity and adaptive mechanisms in brackish water fauna // Marine Pollution Bulletin. Vol. 40. No. 1. P. 7-14.

Conte F.P., Geddes M.C. 1988. Acid brine shrimp: metabolic strategies in osmotic and ionic adaptation // Hydrobiologia. No. 158. P. 191-200.

Encyclopedia of Life. 2020 [Электронный ресурс https://eol.org (дата обращения 25.11.2020)].

Geddes M.C., De Deckker P., Williams W.D., Morton D.W., Topping M. 1981. On the chemistry and biota of some saline lakes in Western Australia // Hydrobiologia. No. 82. P. 201-222.

Hammer U.T. 1986. Saline Lake Ecosystems of the World. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers. 616 p.

Interagency Taxonomic Information System. 2020 [Электронный ресурс https://www.itis.gov (дата обращения 25.11.2020)].

Paturej E. 2009. A zooplankton-based study of coastal lakes // Baltic Coastal Zone. Vol. 13. No. 2. P. 25-32.

Ramette A. 2007. Multivariate analyses in microbial ecology. FEMS // Microbiological Ecology. Vol. 62. No. 2. P. 142-160.

Telesh I.V., Khlebovich V.V. 2010. Principal processes within the estuarine salinity gradient: a review // Marine Pollution Bulletin. Vol. 61. No. 4-6. P. 149-155.

Ter Braak C.J. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis // Ecology. Vol. 67. P. 1167-1179.

The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity. 1958 // Limnology and Oceanography. Vol. 3. No. 3. P. 346-347.

Walter T.C., Boxshall G. 2019. World of Copepods database [Электронный ресурс http://www.marinespecies.org/copepoda (дата обращения 25.11.2020)].

WoRMS: World Register of Marine Species. 2020 [Электронный ресурс http://www.marinespecies.org (дата обращения 25.11.2020)].

Zhao W., He Z. 1999. Biological and ecological features of inland saline waters in North Hebei, China // International Journal of Salt Lake Research. No. 8. P. 267-285.

Zhao W., Zheng M., Xu X., Liu X., Guo G., He Z. 2005. Biological and ecological features of saline lakes in northern Tibet // Chinese Hydrobiologia. No. 541. P. 189-203.

Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // Methods of Ecology and Evolution. No 1. P. 3-1.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 118-122

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.1/4; 551.89; 556

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОЗЕР ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНОВ ДАГЕСТАНА (НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШОЕ И МАЛОЕ ТУРАЛИ)[1]

© 2021 г. А.Р. Юсупов, А.С. Курбанисмаилова, К.Г. Алхулаев, А.С. Мамаев, З.А. Юсупов

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367030, Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75. E-mail: akha62@mail.ru

Поступила в редакцию 22.03.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Антропогенное воздействие на экосистемы засушливых районов приводит к загрязнению окружающей среды. Оценка состояния природы засушливых регионов является важнейшей задачей в условиях научно-технического прогресса.

При изучении современного состояния Туралинских озер, как представителей водоемов аридных условий, были использованы различные методы исследования. Это дало возможность сделать вывод о том, каков уровень загрязнения объектов и оценить экологическое состояние водоемов, свойственных природным комплексам засушливых условий.

Ключевые слова: засушливый климат, экология, антропогенное влияние, загрязнение, засоление, туралинские озера.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-118-122

На Прикаспийской низменности большинство озер, заполняющих различные ниши поверхностей, относятся к горько-соленым или соленым. Концентрация солей зависит от местоположения, размеров и условий питания озер и водоемов. Многие водоемы высыхают в летнее время. Некоторые из этих озер обычно содержат пресную воду.

В северном засушливом районе Дагестана расположен Терско-Кумский артезианский бассейн с пресной питьевой водой. Бесконтрольное бурение скважин в этом бассейне привело к образованию различных водоемов. Эти водоемы влияют на экосистему засушливого района (Zalibekov et al., 2015, 2017, 2019, 2020).

В низменных районах Дагестана большинство озер непроточные, из-за чего после испарения воды они становятся солеными. В зависимости от содержания солей они бывают солоноватые и соляные. Соляные озера делятся на карбонатные (содовые), сульфатные (горько-соленые) и хлоридные (соленые). Температура воды в озерах меняется в зависимости от сезона. В летнее время она поднимается по всей толще воды до 35°С

Объекты и методы исследований

Многие озёра равнинного Дагестана бессточные, расход воды осуществляется за счёт испарения под влиянием засушливого климата. Стоки, впадающие в эти озёра, несут солёную воду. Глубина озёр – около 1-2 м. В летнее время большая часть воды испаряется, с последующим увеличением концентрации солей. Из озер Большое и Малое Турали в прошлом добывали поваренную соль.

Изучение антропогенного воздействия на Туралинские озера позволяет делать вывод о необходимости сохранения подобных объектов, которые считаются памятниками природы. (Юсупов и др., 2020).

Водно-болотные угодья Туралинских озер расположено в Ирано-Туранской надпровинции Сахаро-Гобийской подобласти области Древнего Средиземья (Лопатин, 1989).

Озера расположены на границе новокаспийских отложений и проявлений древнекаспийских

[1] Работа выполнена по темам НИР ИГ ДФИЦ РАН: "Оценка и ревизия минерагенического потенциала Северного Кавказа на основе современных стратиграфических и литологогеохимических методов анализа осадочных комплексов"(№ гос. регистрации АААА-А19-119122690018-8) и "Эколого-геохимические особенности подземных вод Северо-Восточного Кавказа (Дагестан). Природные и антропогенные факторы загрязнения" (№ гос. регистрации АААА-А117-117021310203-3.

террас (Акаев, 1972, 1996), на аккумулятивной поверхности берега Каспийского моря, где местами обнажаются пласты верхнесарматских известняков.

Территория расположения озер имеет ровные поверхности, где отмечаются оросительные каналы и естественные понижения (Эльдаров, 1972а). Большое и Малое Турали можно считать озерами лагунного происхождения.

Питаются озера дождевыми и грунтовыми водами. Будучи бессточными, они сильно засолены: соленость воды достигает 8.3‰. Вода хлоридно-сульфатная со слабой щелочной реакцией (pH=7.4). Содержание хлоридов составляет 35.8%, сульфатов – 28.5% от общей солености воды, характеризуется высокой жесткостью (Добрынин и др., 1991). Уровень воды подвержен сезонным колебаниям и в среднем составляет 25-26 м н.у.м. БС (Эльдаров, 1972б).

Туралинские озера представлены озерами: Большое Турали и Малое Турали, вытянувшиеся параллельно вдоль береговой линии (рис. 1). Эти озера являются реликтами отступившего моря на континенте. Сейчас озеро Большое Турали находится на расстоянии 1.1-1.7 км от берега Каспийского моря, от которого отделяется пересыпью песчано-галечниковых отложений, имеющих среднее превышение над уровнем Каспия 3-5 м. Озеро Малое Турали отделено от озера Большое Турали перемычкой шириной в 300 м, сложенной известняками верхне-сарматского подъяруса. (Эльдаров, 1972б).

Рис. Космоснимок Туралинских озер.

Площадь озер: Большое Турали около 6 км^2 и Малое Турали до 1.5 км^2. Эти бессточные озера в засушливых условиях подобны котлам испарения воды.

Озера не высыхают благодаря тому, что они питаются атмосферными и солеными грунтовыми водами, которые при испарении летом насыщаются солями сульфата натрия, магния и хлористого натрия. При понижении температуры зимой из этой концентрированной солями воды выделяются сульфаты натрия и магния – мирабилит, а летом из остаточного маточного раствора – поваренная соль. На этом принципе в 1929-1932 гг. работал Туралинский сульфатный промысел Института Галургии АН СССР, получавший мирабилит и поваренную соль на Туралинских озерах.

По расчетам Института Галургии АН СССР, при использовании вод озер и перекачке в озера для выпаривания солей морской воды в этих озерах можно получать 16-18 тыс. тонн мирабилита и 8-10 тыс. тонн поваренной соли (Эльдаров, 1972б).

В районе Туралинских озер можно наблюдать аккумулятивные, абразионные и эоловые формы рельефа. Особо отмечаются абразионные формы выветривания на сарматских известняках по берегам озер. Туралинские озера имеют научное и эстетическое значение и подлежат учету и охране как

гидроминеральный тип памятников природы (Юсупов и др., 2014).

Методика исследований основывалась на отборе и аналитической обработке проб воды. Пробы отбирались с учетом характеристик водоемов. Определены основные контролируемые параметры: показатели газового режима (O_2),концентрация которого определялся йодометрическим методом (по Винклеру).

Вычисление концентрации фосфатов осуществлено фотометрическим методом. Выполнение измерений массовой концентрации общего фосфора основано на переводе всех фосфорсодержащих соединений в ортофосфаты путем окисления персульфатом калия в кислой среде при нагревании.

Анализы по определению содержания растворенного кислорода, его биологического потребления и замер температуры проводились еженедельно. Остальные показатели определялись в месячном интервале. Исследования проводились на базе химической лаборатории Дагестанского Гидрометцентра по утвержденной методике. Содержание фенолов, синтетических поверхностно активных веществ (СПАВ), нефтяных углеводородов, также соленость и хлорность воды озер определялись в середине 2019 года. На озере Малое Турали эти показатели не определялись из-за пересыхания водоема.

Результаты исследований

В лабораторных условиях исследованы качество воды озер с целью определения современного биологического состояния водоема во все сезоны.

Высокое содержание общего фосфора в водах изучаемых объектов объясняется поступлением с поверхности водосбора в виде удобрений. В обоих водоемах отмечен высокий диапазон колебания значений общего фосфора (табл. 1).

Содержание фосфатов в пробах озер Большое и Малое Турали оказалось в пределах нормы (до 0.043 и 0.0049 мг/л соответственно). В годовой динамике пиков содержания фосфатов не наблюдалось. Изменения концентрации фосфатов в этих водоемах в течение года были несущественны и происходили равномерно.

Аммонийный азот в водах находится, главным образом, в растворенном состоянии в виде ионов аммония и недиссоциированных молекул NH_4OH, количественное соотношение которых имеет важное экологическое значение и определяется величиной pH и температурой воды.

В озере Большое Турали установлено высокое содержание аммонийного азота, что связано с антропогенным влиянием (табл. 1). Источником загрязнения озер в основном являются сельскохозяйственные угодья. Годовая динамика содержания аммонийного азота в озерах Большое и Малое Турали немного сходна. В летний период наблюдается снижение азота.

Все значения сравнивались с нормативами, использованными в принятых градациях, мг/л: O_2>6, NO_2 − 0.02, NO_3 − 0.3-9.1, NH_4 − 0.04, PO_4 − 0.15, СПАВ − 0.01, фенолы − 0.001 (Юсупов и др., 2020).

Одним из основных факторов загрязнения озер Большое и Малое Турали является непосредственная близость сельскохозяйственного сектора, откуда поступают биогенные вещества и удобрения.

В 2019 г. в озере Большое Турали наблюдалось превышение ПДК содержания фенолов в 2-3 раза, СПАВ – в 4 раза (табл. 2). Содержание нефтеуглеводородов наблюдалось в пределах нормы: 0.014-0.027 мг/л при ПДК=0.05 мг/л.

При сравнении значений солености оз. Большое Турали с классификацией по классам солености выяснено, что водоем относится к солоноватым водоемам (Добрынин и др., 1991).

Превышение содержания большинства определяемых компонентов, как биогенных веществ, так и загрязняющих, свидетельствует об интенсивном антропогенном загрязнении исследуемых водоемов.

Заключение

Оригинальные природные образования Дагестана – Туралинские озера – давно привлекают внимание ученых. Особенно волнует исследователей смена засушливого и увлажненного периодов функционирования озер в связи с глобальными климатическими изменениями. Существование Туралинских озер очень важно в условиях засушливого региона. Разработки ученых направлены на выявление закономерностей изменения химического состава и динамики водного режима наземных и водных экосистем.

Таблица 1. Результаты гидрохимического анализа проб воды Туралинских озер (2018-2019 гг.).

Дата	O_2, мг/л	O_2, %	NO_2, мг/л	NO_3, мг/л	NH_4, мг/л	PO_4, мг/л	$P_{общ.}$, мг/л
Большое Турали							
12.10.2018	8.15	98.68	0.004		0.027	0.002	0.033
23.11.2018	10.43	93.13	0.003		0.003	0.004	0.054
07.12.2018	13.69	113.44	0.003		0.042	0.003	0.106
21.12.2018	11.38	91.41	0.005		0.059	0.003	0.112
15.01.2019	13.49	106.41	0.009		0.149	0.003	0.102
27.02.2019	10.38	86.16	0.004		0.244	0.002	0.054
15.03.2019	13.01	107.78	0.002		0.356	0.003	0.352
06.04.2019	9.41	82.62	0.004		0.109	0.008	0.054
12.05.2019	12.04	144.25	0.052	0.003	0.078	0.018	0.209
24.05.2019	9.13	109.39	0.004	0.075	0.032	0.045	0.157
21.06.2019	7.83	100.67	0.005	0.032	0.115	0.004	0.011
26.07.2019	7.49	100.45	0.016	0.027	0.469	0.065	0.227
28.08.2019	8.65	111.68	0.008	0.166	0.267	0.039	0.229
25.09.2019	2.65	27.88	0.007	0.039	0.347	0.008	0.075
13.10.2019	3.92	39.73	0.007	0.048	0.016	0.009	0.268
Малое Турали							
11.10.2018	9.45	108.87	0.004		0.032	0.005	0.143
22.11.2018	9.45	83.41	0.003		0.002	0.001	0.036
06.12.2018	11.07	92.56	0.003		0.018	0.001	0.014
20.12.2018	10.40	81.90	0.005		0.029	0.001	0.018
14.01.2019	15.12	124.59	0.009		0.022	0.000	0.023
28.02.2019	12.36	103.78	0.002		0.215	0.001	0.011
14.03.2019	11.70	99.49	0.003		0.118	0.001	0.032
05.04.2019	8.29	70.42	0.002		0.107	0.002	0.016
10.05.2019	9.10	107.57	0.002	0.016	0.065	0.003	0.030
23.05.2019	9.58	118.13	0.003	0.125	0.052	0.001	0.450
20.06.2019	13.96	188.14	0.003	0.008	0.022	0.002	0.051
10.10.2019	12.68	133.19	0.001	0.021	0.091	0.002	0.032

Таблица 2. Содержание загрязняющих веществ (СПАВ, фенолы, нефтеуглеводороды) в озере Большое Турали, соленость и хлорность.

Дата	СПАВ, мг/л	Фенолы, мг/л	НУ, мг/л	S, ‰	Cl, ‰
20.05.2019	0.040	0.003	0.027	6.71	2.78
06.06.2019	0.043	0.002	0.014	6.94	2.88

Основные факторы воздействия на исследуемые водоемы в прошлом неизвестны. В настоящее время водоемы испытывают большую антропогенную нагрузку: освоение территории, рост поголовья скота, бытовые и сельскохозяйственные отходы; в будущем учеными прогнозируется продолжение жилищного и индустриального освоения побережья озер, включая окружающую территорию как природного памятника

Комплекс «Озера Турали» включен в Каталог ключевых орнитологических территорий как водно-болотное угодье России, имеющее международное значение.

Основными способами устранения дальнейшего загрязнения водоемов и предотвращения их деградации – охрана на территории природного памятника, создание зоологического заказника, на базе территорий прилегающих к водно-болотным угодьям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акаев Б.А. 1996. Рельеф // Физическая география Дагестана. М.: Школа. С. 112-149.

Акаев Б.А., Казанбиев М.К. 1972. Геологическое строение и полезные ископаемые Низменного Дагестана // Физическая география Низменного Дагестана. Махачкала. С. 42-63.

Добрынин Э.Г., Гамидова Л.А., Гамидов А.А. 1991. Оценка некоторых аспектов экосистемы грязевого озера Турали // Материалы 11-й научно-практической конференции по охране природы Дагестана. Махачкала. С. 84-86.

Эльдаров М.М. 1972а. Геоморфология Низменного Дагестана // Физическая география Низменного Дагестана. Махачкала. С. 14-41.

Эльдаров М.М. 1972б. Озера Низменного Дагестана // Физическая география Низменного Дагестана. Махачкала. С. 90-107.

Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Черкашин В.И. 2014. Области распространения и типы геологических памятников Дагестана. Почвы аридных территорий и проблемы охраны их биологического разнообразия // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Вып. № 63. С. 335-340.

Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Алхулаев К.Г., Мамаев А.С., Юсупов З.А. 2020. Геологические памятники природы низменного Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 4 (83). С. 95-97.

Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Kotenko M.E., Magomedov R.A. 2020. Priorities in the Development of the Research Strategy for Arid Lands of the World // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 171-180

Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Biarslanov A.B., Asgerova D.B., Galimova U.M. 2019. The Use of Fresh Groundwater from Arid Regions of the World in the Fight against Land Desertification // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 2. P. 77-84

Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B., Mamaev S.A., Galimova U.M., Sultankhamedov M.S. 2017. Regional distribution patterns of soils in delta ecosystems and their potential use on different continents // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 2. P. 73-79

Mamaev S.A., Balamirzoev M.A., Zalibekova M.Z. 2015. Features of soil cartography in conditions of an arid climatic regime // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 1. P. 14-17.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 122-131

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.583

РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОНА ЛИТОРАЛЬНЫХ БИОТОПОВ РАЗНОГО ТИПА В СОДОВЫХ ОЗЕРАХ[1]

© 2021 г. Н.А. Ташлыкова, Е.Ю. Афонина

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
Россия, Забайкальский край, г. Чита, ул. Недорезова, 16а. E-mail: NatTash2005@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.05.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Водоемы с естественным высоким уровнем минерализации географически широко распространены. Они встречаются не только в жарких и засушливых областях, но и в некоторых регионах с умеренным и холодным климатом, в частности в Восточной Сибири. Обычно это группы бессточных озер, общими чертами которых является расположение в зоне семиаридного климата, отсутствие поверхностного стока, небольшая глубина и ограниченная площадь водосбора. Они имеют значительные вариации размеров и минерализации. В статье приводятся результаты исследований структуры планктонных сообществ и взаимосвязь между факторами среды и основными характеристиками планктона литоральных биотопов разного типа (заросшая и открытая литораль) содовых озер Онон-Борзинской системы.
Ключевые слова: литоральные биотопы, Онон-Борзинская система озер, озеро Баин-Цаган, озеро Цаган-Нор, планктон, содовые озера.
DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-123-132

Приграничная с Китаем и Монголией территория юго-восточного Забайкалья насчитывает несколько сотен водоемов с естественным высоким уровнем минерализации – это озера Онон-Борзинской системы. Эта группа водоемов является объектом многочисленных исследований, связанных с различными аспектами экологических изменений под влиянием внешних воздействий (Зинченко и др., 2010). Однако, литоральная зона, как один из компонентов экосистемы озер, играющий чрезвычайно важную роль в экосистеме минеральных озер, изучена крайне слабо. Как отмечает В.П. Семенченко (2006), данные по структурным, динамическим, функциональным показателям литорального зоопланктона весьма ограничены не только методическими трудностями его изучения, но и большим количеством различного рода факторов среды, как абиотических, так и биотических.

Литораль – это зона, в пределах которой солнечный свет достигает дна водоёма. Границу литорали в водоемах считают по наибольшей глубине распространения водных растений (Wetzel, 1990), при отсутствии макрофитов нижнюю границу литоральной зоны определяют по нижней границе трофогенного или фотического слоя, т.е. прозрачности воды (Likens, 2010). Литоральная зона озер характеризуется наибольшим биоразнообразием и биопродуктивностью относительно других зон водоема, в этой зоне наиболее интенсивно протекают биологические и биохимические процессы. В литоральной зоне острее сказывается и влияние факторов среды – волнения, значительных перепадов температуры воды и, особенно, межгодовых колебаний горизонта воды, приводящих либо к высыханию больших площадей литорали при понижении уровня и гибели или трансформации комплекса гидробионтов, либо к затоплению прибрежий при подъеме воды и формированию новых сообществ.

Цель проводимых исследований – изучение структуры планктонных сообществ литоральных биотопов разного типа в содовых озерах и определение взаимосвязи между факторами среды и основными характеристиками планктона.

[1] Работа выполнена в рамках темы госзадания Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН «Геология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использоваию вод и их биологических ресурсов» № FUFR-2021-0006.

Материалы и методы исследования

Район исследований. Исходный материал был получен в 2018 г. по результатам летней гидробиологической съемки фито- и зоопланктона в двух озерах с разным типом литоральных биотопов – озере Цаган-Нор (50.193182 с.ш., 114.985345 в.д.) и озере Баин-Цаган (50.332795 с..ш., 115.104210 в.д.; рис. 1).

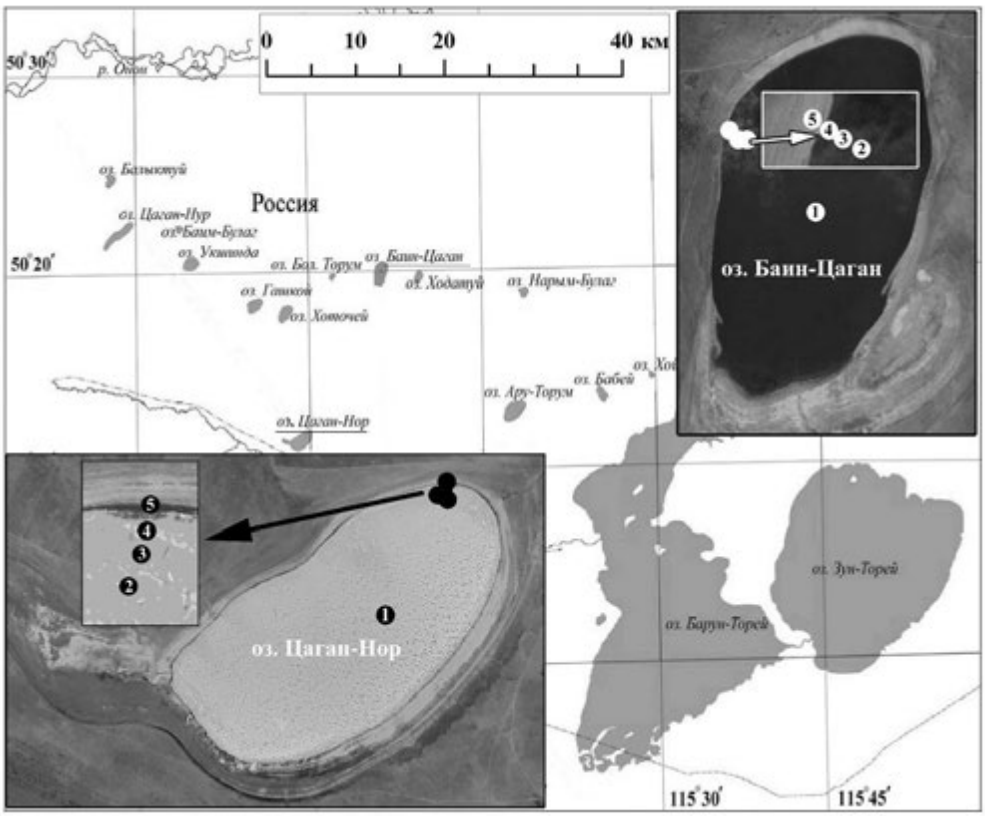

Рис. 1. Схема расположений станций отбора в озерах Цаган-Нор и Баин-Цаган летом 2018 г. *Условные обозначения*: 5-зона уреза; 4-литоральная зона глубина 0.5 м; 3-литоральная зона глубина 1.0 м; 2-литоральная зона глубина 1.5 м; 1-центральная станция.

Озера Цаган-Нор и Баин-Цаган расположены в центре Ононского района на высоте 678.6 и 652.2 м н.у.м БС. Их площадь и глубина варьирует в зависимости от увлажненности года. Данные по изменению площади исследуемых озер за последние 30-40 лет приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение площади (в км^2) исследуемых озер в разные периоды исследований[1].

Озеро	Годы исследования		
	1983-1986	1998	2015
Цаган-Нор	3	4.63	2.97
Баин-Цаган	4	3.5	2.79

Примечание к таблице 1: «[1]» – по материалам работы Н.А. Ташлыковой с соавторами (Tashlykova et al., 2018).

В 1983-1986 годах максимальная длина озера Цаган-Нор составляла 2.5 км, ширина – 1.5 км, озера Баин-Цаган – 2.3 км и 1.3 км соответственно (Содовые …, 1991).

Отбор и обработка проб. Береговая зона озер малопроходимая, что затрудняло гидробиологические работы. Отбор проб воды для изучения показателей планктона проводили по

стандартным методикам (Садчиков, 2003; Киселев, 1969) на 5 станциях каждого из исследуемых водоемов: на станциях литоральной зоны (зона уреза, литоральная зона глубиной 0.5 м, 1.0 м, 1.5 м) и центральной станции (рис. 1).

Для качественного и количественного учета фитопланктона отбор проб в литоральной зоне производили в приповерхностном слое воды. Для изучения видового состава и количественных характеристик водорослей отобранный материал фиксировали 4%-м р-ром формальдегида и отстаивали 10-15 дней, а затем концентрировали осадочным методом. Изучение материала проводилось под микроскопом Nicon Eclipse E200 с фотокамерой DS Camera Control Unit DS-L2 (1000×). Учет водорослей осуществляли по методу Гензена с помощью счетной пластины (Топачевский, Масюк, 1984). Биомасса определялась по объему отдельных клеток или колоний водорослей, при этом удельный вес принимался равным единице (Садчиков, 2003). Общий список водорослей составлен по системе, принятой на крупнейшем альгологическом сайте AlgaeBase (Guiry and Guiry, 2018). Значение отдельных видов в формировании сообщества рассматривали по его встречаемости (Кожова, 1970).

Для определения видового состава, численности и биомассы беспозвоночных отбор зоопланктонных проб на глубинах более 1.0 м проводили тотально (дно-поверхность) сетью Джеди (размер ячеи сита 0.064 мм). На мелководьях воду (50-100 л) процеживали через гидробиологический сачок (размер ячеи сита 0.094 мм). Полученный материал фиксировали 4%-м раствором формальдегида и просматривали под микроскопами МБС-9 (98×) и Альтами БИО 8 (1000×). Обработку проб вели в соответствии со стандартной количественно-весовой методикой (Киселев, 1969). Идентификацию видов животных проводили по работам (Кутикова, 1970; Определитель …, 1995).

Синхронно с отбором планктонных проб с помощью многопараметрического портативного анализатора качества вод GPS-AQVAMETER (Aquaread, Великобритания) проводили измерения абиотических параметров среды (минерализация (TDS), содержание кислорода (O_2), активный водородный показатель (pH), температура воды (T)). В обоих водоемах глубину (H) измеряли с помощью лота, прозрачность воды (TR) определяли стандартным диском Секки.

Данные по гидрохимическим показателям в летний период 2018 года приведены по материалам работ М.О. Матвеева с соавторами (2018), Г.Ц. Цыбекмитовой с соавторами (2019), Н.А. Ташлыковой с соавторами (2020).

Анализ данных. Полученные данные были подвергнуты статистической и математической обработке с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010 и надстройки для программы Microsoft Excel XLSTAT (Addinsoft, США). Для изучения взаимосвязей структурных характеристик планктона и абиотических факторов среды применяли метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA). В качестве переменных моделей взяты по 33 параметра для двух разных типов литоралей (результаты однократных измерений): 13 абиотических (глубина (H), температура воды (T), pH, содержание растворенного кислорода ([O]), соленость (Sat), минерализация (TDS), содержание нитритов (NO_2^-), нитратов (NO_3^-), аммония (NH_4^+), общего фосфора (P_{tot}), минерального фосфора (PO_4^{3-})) и 23 биотических (число видов фито- (n_{ph}) и зоопланктона (n_z), общая численность и общая биомасса ($B_{общ}$) фито- (N_{ph}, B_{ph}) и зоопланктона (N_z, B_z), численность и биомасса основных таксономических групп водорослей (Cyanobacteria (N_{cya}, B_{cya}), Bacillariophyta (N_{bac}, B_{bac}), Cryptophyta (N_{cry}, B_{cry}), Chlorophyta (N_{chl}, B_{chl})) и беспозвоночных (Rotifera (N_{rot}, B_{rot}), Cladocera (N_{clad}, B_{clad}), Copepoda (N_{cop}, B_{cop})). Нормализацию исходных данных проводили путем приведения к стандартной шкале с нулевыми средними значениями и единичными среднеквадратичными отклонениями (Шипунов и др., 2014). Абсолютное значение нагрузки выше 0.80 принимали за существенную связь.

Результаты и их обсуждение

Абиотические параметры. Собранные материалы по морфометрическим параметрам озер показали, что на момент обследования большая часть водоемов (до глубины 1.5 м) представлена мелководной литоральной зоной (40-50%).

Форма оз. Цаган-Нор близка к эллипсоидной, так как полностью высох узкий залив с северо-западной части озера. Водоем вытянут с северо-востока на юго-запад. Южное побережье пологое, на северном побережье высокий береговой вал. С южной стороны в озеро впадает небольшой ручей, сформированный в результате разгрузки ключа. Максимальная глубина в центральной части озера

составляла 2.7 м, при прозрачности воды 1.5 м. Грунты озера – песчаные отложения с илом. Пояс растительности, представленный, преимущественно, рдестами, простирается от зоны уреза до глубины 1.0 м.

Контуры оз. Баин-Цаган близки к эллипсоидальной форме. Водоем вытянут с севера на юг. Береговая линия хорошо выположена, по всему периметру – каменистые береговые склоны. В юго-восточной части водоема в месте впадения ручья имеется небольшая заболоченная низина. Подстилающие днища грунты мелко-гравийные. Максимальная глубина в центральной части озера – 5.5 м, при прозрачности воды 1.3 м. В оз. Баин-Цаган высшая водная растительность в озере и ее литоральной части не развита.

Состав воды в озерах относится к гидрокарбонатному классу, группе натрия (Содовые …, 1991).

Изменения основных физическо-химических параметров в литоральной зоне озер представлены в таблице 2.

Таблица 2. Физико-химические параметры литоральных станций озер Баин-Цаган (1) и Цаган-Нор (2).

Глубина, в м	T		pH		TDS		O_2		Sat	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0.05-0.1	26.2	27.2	8.96	9.12	6.23	11.71	6.19	11.03	76.5	140.7
0.5	26.9	27.8	8.94	9.08	6.22	11.70	3.57	9.32	45.4	118.6
1.0	26.7	26.4	8.93	9.10	6.29	11.72	5.08	8.88	60.9	106.7
1.5	26.5	26.1	8.90	9.06	6.3	11.73	4.7	7.88	57.8	97.7
Mean	26.57	26.88	8.93	9.09	6.26	11.72	4.89	9.28	60.15	115.93
SD	0.29	0.77	0.02	0.03	0.04	0.01	1.08	1.32	12.79	18.61

Примечание к таблице 2: T – температура, в ºC; TDS – общее количество растворенного вещества, в мг/л; pH – активный водородный показатель; O_2 – содержание кислорода (O_2, в мг/л), Sat – насыщение кислородом (в %); Mean – среднее; SD – Standard deviation – стандартное отклонение.

В период проводимых исследований воды озер имели минерализацию 6.22-6.30 г/л (оз. Баин-Цаган) и 11.70-11.73 г/л (оз. Цаган-Нор) и относились к мезогалинному типу. Данный показатель в озерах определяется климатическими условиями (аридизация или увлажнение; Содовые …, 1991).

Величина активного водородного показателя (pH) была смещена в сторону щелочной реакции (табл. 2). Ее среднее значение в озере Баин-Булак составляло 8.93±0.02 (при максимальном 8.96), в озере Цаган-Нор – 9.09±0.03 (при максимальном 9.12). Более высокое значения pH в озере Цаган-Нор, по сравнению с озером Баин-Булак, обусловлено наличием в водоеме пояса высшей водной растительности, так как при интенсивном фотосинтезе, вследствие почти полного потребления растениями растворенного CO_2 и происходит подщелачивание воды гидрокарбонатами и pH повышается (Ермолаева и др., 2016). Отметим также, что значение активного водородного показателя в обследованных озерах соответствовали данным полученным в 2011 году (Куклин и др., 2013).

Кислородный режим являлся благоприятным для функционирования гидробионтов. Как в зарастающей, так и в незарастающей литорали концентрация растворенного в воде кислорода в период наблюдений была высокой и колебалась в пределах 4.7-6.19 мг/л (в незарастающей литорали) и 7.88-11.03 мг/л (в зарастающей литорали; табл. 2). Литоральные зоны озер хорошо аэрированы, насыщение кислородом составило 57.8-76.4% (в незарастающей литорали) и 97.7-140.7% (в зарастающей литорали). При этом, в литоральных биотопах обоих типов, по направлению от уреза к участкам с глубиной 1.5 м, отмечалось падение концентрации кислорода в воде.

Термический режим обследованных озер определяется климатическими особенностями региона, их небольшими глубинами и соленостью воды. На момент исследований температура приземного слоя воздуха составляла +22 до +29°C. При этом температура воды в литоральной зоне, зарегистрированная в даты отбора проб, варьировала в пределах: от +26.2 до +26.9°C – в озере Баин-

Цаган и от +26.1 до +27.8°С – в озере Цаган-Нор (табл. 2). Заросших участков меньше открытых и они прогреваются медленнее, так как проникновению солнечных лучей вглубь зарослей мешает масса листьев и побегов растений (Распопов, 2002). Однако в период наших наблюдений максимальные значения температуры воды в зарастающей литорали были выше, чем в незарастающей литорали. В прибрежной полосе температура воды на 1.3-2.4°С выше по сравнению с центральной станцией, где средняя температура воды составляла +26±0.5°С для озера Цаган-Нор и +25.6±0.38°С для озера Баин-Булак.

Исследованные литоральные зоны озер характеризуются невысоким содержанием биогенных веществ (Матвеева и др., 2018; Цыбекмитова и др., 2019; Ташлыкова и др., 2020).

Содержание преобладающих форм азота – нитритов и нитратов – в прибрежье озер колебалось от 0.02 до 1.56 мг/л (N) – для нитритов и от 0.03 до 3.28 мг/л (N) – для нитратов. Концентрация аммонийного азота была низкой и изменялось в пределах от 0.007 до 0.016 мг/л (N). Содержание общего фосфора и фосфатов варьировало в пределах $P_{общ.}$ – 0.44-0.74 мг/л, $P_{фосфаты}$ – 0.34-0.66 мг/л (Матвеева и др., 2018; Ташлыкова и др., 2020).

Сравнение данных по содержанию биогенных веществ в незарастающей литорали озера Баин-Цаган и зарастающей литорали озера Цаган-Нор, показало, что концентрация нитритов (N – 0.3-1.56 мг/л), нитратов (N – 1.4-3.28 мг/л) и общего фосфора (P – 0.69-0.72 мг/л) в прибрежье озера Баин-Цаган выше, чем в прибрежье озера Цаган-Нор (N – 0.02-0.84 мг/л (нитриты), N – 0.03-0.045 мг/л (нитраты) и P – 0.44-0.45 мг/л (общий фосфор)). Низкое содержание в литоральной зоне озера Цаган-Нор таких биогенных элементов, как нитриты, нитраты и фосфаты, связано с большим количеством макрофитов, которые в зарастающих водоемах почти полностью используют биогенные элементы. Концентрация аммонийного азота, напротив, в зарастающем прибрежье была выше (N – 0.008-0.016 мг/л), чем в незарастающем (N – 0.007-0.008 мг/л; Матвеева и др., 2018; Ташлыкова и др., 2020).

Планктон обследованных озер. Фитопланктон. Планктонная флора литорали озера Цаган-Нор в период исследования была представлена крайне бедно. В составе водорослей планктона озера было идентифицировано 6 таксонов рангом ниже рода (Cyanobacteria – 1 (*Anabaena* sp.), Bacillariophyta – 1 (*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère in Jahn et al.), Cryptophyta – 2 (*Cryptomonas erosa* Ehrenberg, *Komma caudata* (L.Geitler) D.R.A.Hill), Chlorophyta – 2 (*Ankyra ancora* (G.M. Smith) Fott, *Chlamydomonas* sp.).

Количественное развитие водорослей в период исследования было низким. Средняя численность составляла 2.24±1.09 тыс. кл./л, биомасса – 3.01±2.45 мг/м^3. Структуру альгоценоза определяли криптофитовые и хлорококковые водоросли. На долю криптофитовых приходилось 67% от общей численности и до 89% от общей биомассы. Доля зеленых водорослей в планктоне доходила до 50%. В составе водорослей планктона доминировала криптофитовая водоросль *C. erosa* (38-89% от общей численности и 48-89% от общей биомассы).

Литоральный фитопланктон озера Баин-Цаган был несколько разнообразнее – 14 таксонов. Среднее число таксонов фитопланктона, в литорали составило 9±2 таксона. Основу таксономического разнообразия фитопланктона составляли диатомовые и зеленые водоросли. К часто встречаемым видам отнесены 6 видов, разновидностей и форм водорослей (*Lindavia comta, Gomphonema* sp., *Cryptomonas* sp., *Chlamydomonas* sp., *Ankyra ancora, Coelastrum microporum*). Количественное развитие водорослей в период исследования было невысоким (численность изменялась от 10.53 до 82.40 тыс. кл./л, биомасса – от 5.76 до 188.17 мг/м^3) и создавалось в литоральной зоне зелеными и диатомовыми водорослями, в центральной – криптофитовыми водорослями.

Зоопланктон. Видовое разнообразие планктонной фауны озера Цаган-Нор слагалось из 8 видов (Rotifera – 3 (*Brachionus plicatilis* Müller, *B. urceus* (Linnaeus), *Hexarthra mira* (Hudson)), Cladocera – 2 (*Daphnia magna* Straus, *Moina brachiata* (Jurine)), Copepoda – 3 (*Arctodiaptomus bacillifer* (Koelbel), *A. dahuricus* Borutzky, *Thermocyclops dybowskii* (Lande)).

Для беспозвоночных планктона были характерны высокие количественные показатели. Средняя численность определялась в 354.84±49.3 тыс. экз./м^3, биомасса – в 17.56±4.74 г/м^3. Основу численности и биомассы формировали ракообразные *Arctodiaptomus bacillifer+A. dahuricus*, *Thermocyclops dybowskii* и *Moina brachiata*. Популяция ветвистоусых состояла из половозрелых особей, веслоногих – младшевозрастных стадий.

В литоральной зоне оз. Баин-Цаган отмечено 8 видов зоопланктона, из которых 2 – Rotifera (*Keratella quadrata* (Müller), *Hexarthra mira* (Hudson)), 3 – Cladocera (*Daphnia magna* Straus, *Moina*

brachiata (Jurine), *Coronatella rectangula* (Sars)) и 3 – Copepoda (*Arctodiaptomus niethammeri* (Mann), *Eucyclops serrulatus* (Fischer), *Cyclops strenuus* Fischer).

Общая численность изменялась от 50.55 до 334.09 тыс. экз./м^3, общая биомасса – от 0.90 до 20.54 г/м^3. Основу численности и биомассы формировал веслоногий рачок *Arctodiaptomus niethammeri*.

Сравнение полученных материалов с более ранними исследованиями планктона, проведенными в летний период 1983, 1986, 1999, 2003, 2007, 2011 и 2014 годов (Содовые …, 1991; Ташлыкова, 2008; Ташлыкова и др., 2010; Afonina, Tashlykova, 2019), выявило тенденцию к снижению и упрощению состава летнего планктона изученных озер и преобладанию в озере монодоминантных сообществ. Такое направление отмечено и для других озер Улдза-Торейского бессточного бассейна (Afonina, Tashlykova, 2019).

Видовое разнообразие фитопланктона и его количественные показатели в заросшей литорали озера Цаган-Нор были несколько ниже, чем в открытой литорали озера Баин-Цаган. Как отмечает ряд авторов (Золотухин и др., 1995; Nakai et al., 2000; Nakai et al., 2005), макрофиты препятствуют развитию «цветения» воды, так как являются конкурентами за биогенные элементы и микроэлементы. Кроме того, метаболиты высших водных растений, проявляющие фитонцидные свойства, угнетают развитие водорослей. Для зоопланктона, напротив, отмечены более высокие значения численности и биомассы беспозвоночных в заросшей литорали. Это связано с множественностью экологических ниш в системе «вода – макрофиты – донные отложения», которые обусловливают более высокие показатели численности и биомассы зоопланктона и большее видовое разнообразие структурообразующих видов в заросшей литорали по сравнению с открытыми участками (Ермолаева и др., 2019).

Факторы, определяющие развитие планктона в литоральных биотопах разного типа. Для выявления влияния ведущих факторов, определяющих изменение структурных показателей планктона (фито- и зоо-) был проведен факторный анализ методом главных компонент.

При рассмотрении результатов в заросшей литорали были отобраны первые две компоненты, объясняющие в сумме 82.52% дисперсии. В открытой литорали компонентный анализ переменных позволил выделить две компоненты, определяющие 83.77% дисперсии фактических данных (рис. 2).

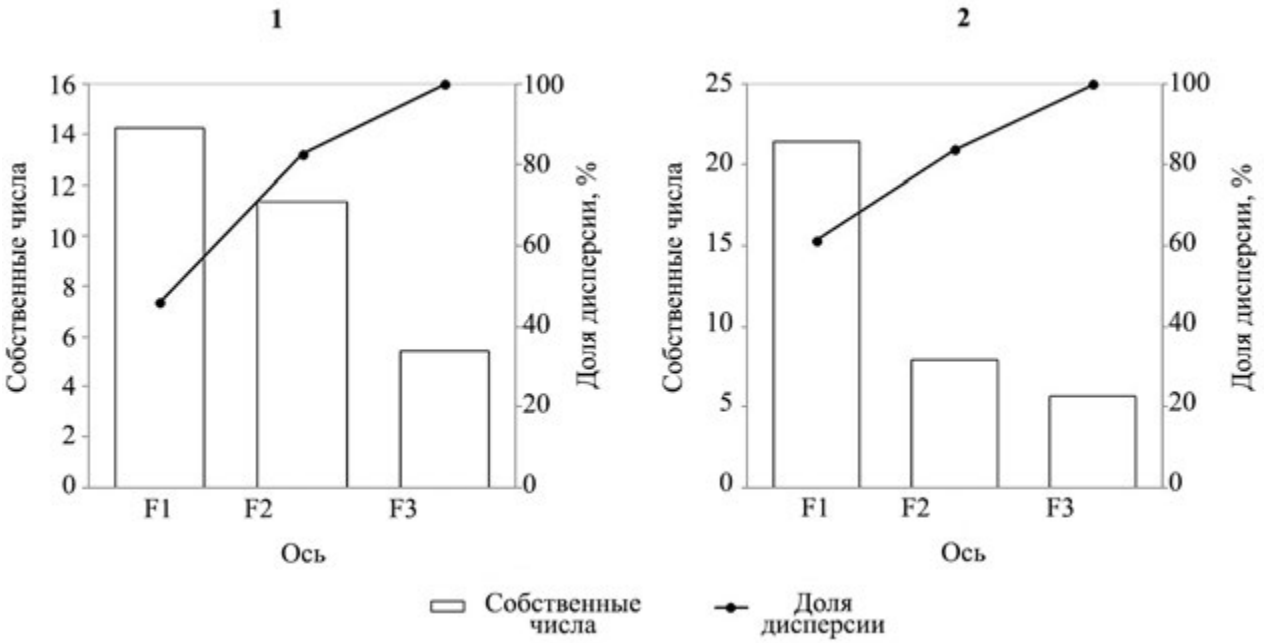

Рис. 2. Величина собственных значений (столбцы) и график накопления доли объясненной дисперсии по результатам анализа главных компонент для заросшей (1) и открытой (2) литорали.

Величины факторных нагрузок представляют собой коэффициенты корреляции исходных параметров с выделенными главными компонентами (табл. 3).

Для заросшей литорали озера Цаган-Нор первая компонента характеризуется существенной

положительной связью с глубиной, минерализацией и отрицательной связью содержанием кислорода и нитратов (табл. 3), определяя структурные характеристики зоопланктона (в большей степени коловраток и веслоногих ракообразных; рис. 3).

Вторая компонента характеризуется существенной положительной связью с содержанием фосфатов и общего фосфора (табл. 3). Отрицательные факторные нагрузки определяются количественными показателями Cyanobacteria и Cladocera, положительные – общей численностью и биомассой фитопланктона и криптофитовых водорослей (рис. 3).

Для открытой литорали озера Баин-Цаган первая компонента тесно связана с кислородным режимом (положительная связь), а также некоторыми морфометрическими параметрами (отрицательная связь). Они определяют структурные характеристики фитопланктона и зоопланктона (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. Факторные нагрузки абиотических параметров для выделенных главных компонент в заросшей литорали озера Цаган-Нор и открытой литорали озера Баин-Цаган.

Параметр	Заросшая литораль			Открытая литораль		
	Факторы			Факторы		
	1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
	45.89%	**36.63%**	**16.38%**	**61.21%**	**22.56%**	**16.23%**
H	0.988	-0.140	-0.064	-0.785	-0.609	0.117
T	-0.788	-0.581	0.204	-0.822	0.485	-0.297
pH	-0.691	0.715	-0.106	0.762	0.545	-0.350
[O]	-0.924	0.365	0.114	0.807	-0.574	-0.136
Sat	-0.950	0.247	0.191	0.852	-0.518	-0.082
TDS	0.880	0.340	0.331	-0.468	-0.882	-0.059
NO_2^-	-0.584	-0.793	-0.174	-0.582	0.473	0.661
NO_3^-	-0.869	0.352	0.346	-0.743	0.662	0.099
NH_4^+	0.299	-0.609	0.735	-0.397	-0.577	0.713
P_{tot}	-0.296	0.939	-0.177	-0.754	-0.638	-0.157
PO_4^{3-}	-0.296	0.939	-0.177	0.751	0.641	0.158
ПОК	0.167	-0.356	0.919	-0.749	0.657	0.086
ХПК	0.819	-0.507	-0.268	-0.392	0.917	0.078

Примечание к таблице 3 (здесь и далее): H – глубина; T – температура воды; pH – активный водородный показатель; [O] – концентрация кислорода; TDS – общая минерализация; $NH_4^+/NO_3^-/NO_2^-/PO_4^{3-}/P_{tot}$ – содержание аммония/нитратов/нитритов/фосфатов/общего фосфора; ПОК – перманганатное окисление; ХПК – химическое потребление кислорода.

Вторая главная компонента характеризуется высокой отрицательной связью с минерализацией, определяя биомассу ветвистоусых ракообразных (табл. 3, рис. 3).

По сравнению с количеством исследований, связанных с изучением пресноводного литорального планктона, насчитываются единичные работы, в которых обсуждаются факторы, обуславливающих развитие планктона в заросшей и открытой литорали минеральных озер. Основными факторами динамики сообщества планктона в минеральных озерах являются соленость и pH (Williams, 1991; Иванова, Казанцева, 2006), которые могут напрямую или косвенно регулировать планктонные сообщества (Williams et al., 1990; Boronat et al., 2001; Frisch et al., 2006). Видовое богатство и численность организмов планктона в соленых озерах также регулируются температурой воды и глубиной озера (Echaniz et al., 2013; Nédli et al., 2014).

Выводы

Проведенные исследования заросшей и открытой литорали содовых озер выявили сходство некоторых физико-химических параметров исследуемых биотопов. Воды озер относились к мезогалинному типу, величина активного водородного показателя была смещена в сторону щелочной реакции, кислородный режим являлся благоприятным для функционирования гидробионтов. Исследованные литоральные зоны озер характеризовались невысоким содержанием биогенных веществ. При этом, концентрация нитритов, нитратов и общего фосфора в прибрежье озера Баин-Цаган была выше, чем в прибрежье озера Цаган-Нор, что обусловлено зарастанием последнего макрофитами, которые полностью используют биогенные элементы.

Для литоральных биотопов отмечено сравнительно низкое видовое разнообразие, преобладание монодоминантных комплексов в структуре фито- и зоопланктонных сообществ. Наибольшая численность, биомасса и видовое разнообразие водорослей планктона выявлены в открытой литорали, беспозвоночных – в заросшей литорали. Максимальная плотность водорослей и беспозвоночных наблюдалась в зоне уреза воды.

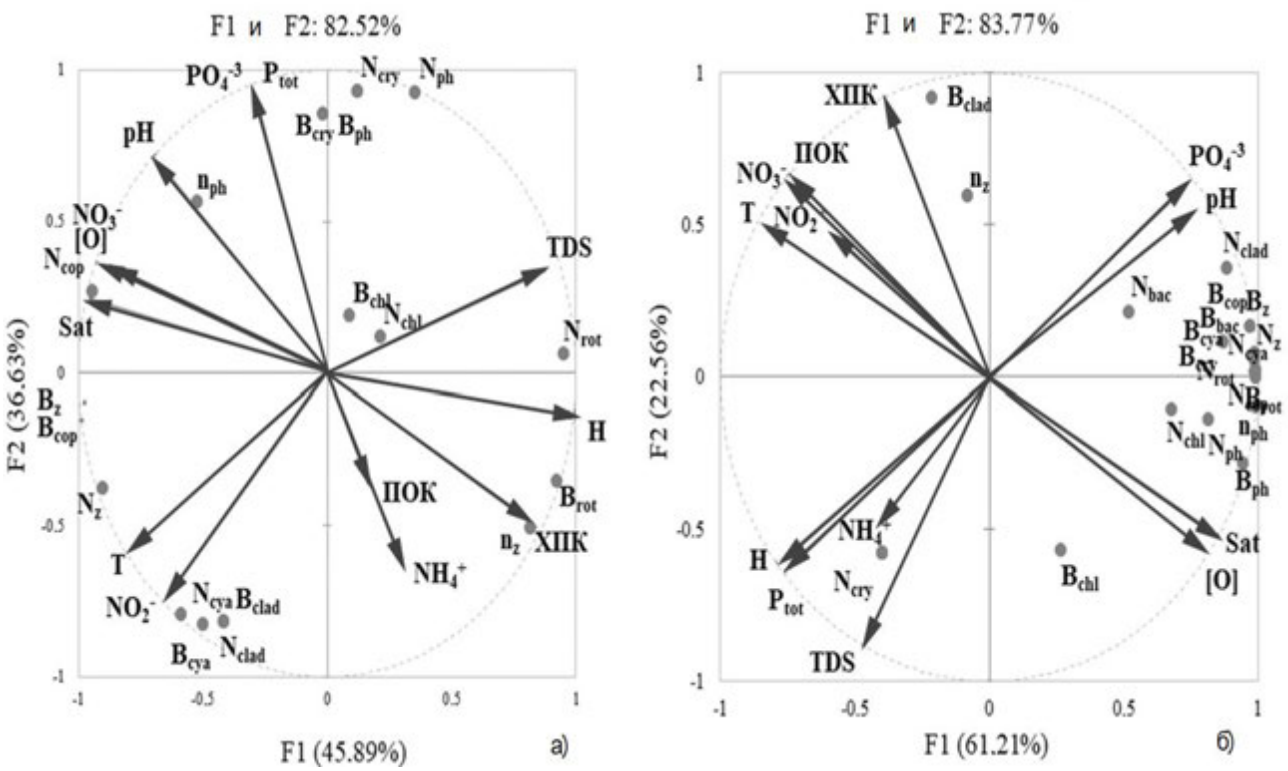

Рис. 3. Расположение гидрохимических, гидрофизических показателей и основных характеристик планктона в пространстве двух компонент заросшей литорали озера Цаган-Нор (а) и открытой литорали озера Баин-Цаган (б). *Условные обозначения*: N – численность, B – биомасса, n – число видов, ph – фитопланктон, z – зоопланктон, cya – Cyanobacteria, bac – Bacillariophyta, cry – Cryptophyta, chl – Chlorophyta, rot – Rotifera, cop – Copepoda, clad – Cladocera.

Метод главных компонент показал, что глубина, кислородный режим и минерализация являются основными факторами, определяющими развитие зоопланктона в заросшей литоральной зоне. Вегетация фитопланктона контролируется содержанием фосфатов и общего фосфора. В открытой литорали – температура воды и кислородный режим обуславливают структурные характеристики планктона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Баженова О.П., Двуреченская С.Я., Михайлов В.В. 2019. Влияние абиотических и трофических факторов на суточную горизонтальную миграцию зоопланктона в литоральной зоне Новосибирского водохранилища // Биология внутренних вод. №. 4-1. С. 50-59.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. 2010. Разнообразие и структура сообществ макрозообентоса высокоминерализованной р. Хара (Приэльтонье) // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 14-30.

Золотухин И.А., Никулина С.Н., Федосеева Л.А. 1995. Снижение концентрации микроэлементов в водной среде под воздействием корневых систем // Экология. № 3. С. 248-249.

Иванова М.Б., Казанцева Т.И. 2006. Влияние активной реакции и общей минерализации воды на видовое разнообразие пелагического зоопланктона в озерах (статистический анализ) // Экология. № 4. С. 294-300.

Кожова О.М. 1970. Формирование фитопланктона Братского водохранилища // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М.: Наука. С. 26-160.

Киселев И.А. 1969. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука. Т. 1. 658 с.

Куклин А.П., Цыбекмитова Г.Ц., Горлачева Е.П. 2013. Состояние водных экосистем озер Онон-Торейской равнины за 1983-2011 годы (Восточное Забайкалье) // Аридные экосистемы. Т. 19. №. 3 (56). С. 16-26.

Кутикова Л.А. 1970. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л.: Наука. 744 с.

Матвеева М.О., Цыбекмитова Г.Ц., Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю. 2018. Современное экологическое состояние литоральной зоны озера Баин-Цаган // Аспирант. № 2 (12). С. 56-60.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий 1995. Т. 2. / Ред. С.Я. Цалолихина. СПб.: Наука. С. 34-128.

Распопов И.М. 2002. Высшие водные растения как структурообразующий фактор в развитии гидробиоценозов //Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее. СПб.: Наука. С-Петерб. отд-ние. С. 242-245.

Семенченко В.П. 2006. Роль макрофитов в изменчивости структуры сообщества зоопланктона в литоральной зоне мелководных озер // Сибирский экологический журнал. Т. 13. №. 1. С. 89-96.

Содовые озера Забайкалья: экология и продуктивность. 1991 / Ред. А.Ф. Алимов Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние. 216 с.

Ташлыкова Н.А. 2008. Некоторые материалы по летнему фитопланктону Онон-Торейских озер // Изменение климата Центральной Азии: социально-экономические и экологические последствия. Чита: ЗабГГПУ. С. 131-134.

Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю., Итигилова М.Ц. 2010. К изучению летнего планктона Торейских озер // Природоохранное сотрудничество в трансграничных экологических районах: Россия–Китай–Монголия (Чита, 21–23 сент. 2009 г.). Чита: Экспресс-издательство. С. 280-285.

Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю., Цыбекмитова Г.Ц., Матвеева М.О. 2020. Современное состояние планктонных гидробиоценозов литоральной зоны озера Цаган-Нор (Онон-Борзинская система озер Забайкалья) // Экосистемы. № 22. С. 5-14. DOI: 10.18411/2414-4738-2020-22-5-14

Цыбекмитова Г.Ц., Белозерцева И.А. 2014. Гидрохимия соленых озер Онон-Борзинского междуречья (Забайкальский край) // Вода: химия и экология. №. 2. С. 3-8.

Цыбекмитова Г.Ц., Матвеева М.О. 2019. Содержание биогенных элементов в озерах Онон-Торейской котловины в период климатических флуктуаций // Водное хозяйство России. № 3. С. 94-108.

Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А., Коробейников А.И., Назарова С.А., Петров С.В., Суфиянов В.Г. 2014. Наглядная статистика, используем R! . М.: ДМК Пресс. 298 с.

Afonina E.Yu., Tashlykova N.A. 2019. Plankton of Saline Lakes in Southeastern Transbaikalia: Transormation and Environmenral Factors // Contemparary Problems of Ecology. Vol. 12. № 2. P. 155-170.

Boronat L., Miracle M.R., Armengol X. 2001. Cladoceran assemblages in a mineralization gradient // Hydrobiologia. Vol. 442. P. 75-88.

Echaniz S.A., Vignatti A.M. 2011. Seasonal variation and influence of turbidity and salinity on the zooplankton of a saline lake in central Argentina // LAJAR. Vol. 39. N 2. P. 306-315.

Frisch D., Moreno-Ostos E., Green A. 2006. Species richness and distribution of copepods and cladocerans and their relation to hydroperiod and other environmental variables in Doñana, south-west Spain // Hydrobiologia. Vol. 556. P. 327-340.

Guiry M.D., Guiry G.M. 2018. Algaebase. World-wide electronic publication (Galway: National University of Ireland). [Электронный ресурс http://www.algaebase.org/ (дата обращения 01.09.2018)].

Liken G.E. 2010. Lake ecosystem ecology: a global perspective. Amsterdam, Netherlands, Elsevier Inc. 463 p.

Nakai S., Inoue Y., Masaaki H., Murakami A. 2000. *Myriophyllum spicatum* – released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa* // Water Research. Vol. 34. P. 3026-3032.

Nakai S., Yamada S., Hosomi M. 2005. Anti-cyanobacterial fatty acids released from *Myriophyllum spicatum* // Hydrobiologia. Vol. 543. P. 71-78.

Nédli J., De Meester L., Major Á., Schwenk K., Szivák I., Forró L. 2014. Salinity and depth as structuring factors of cryptic divergence in *Moina brachiata* (Crustacea: Cladocera) // Fundamental and Applied Limnology. Bd. 184. No. 1. P. 69-85.

Tashlykova N.A, Afonina E.Y, Kuklin A.P, Bazarova B.B., Matafonov P.V., Tsybekmitova G.Ts., Gorlacheva E.P, Itigilova M.Ts, Butenko M.N. 2018. Ecological features of the hydrobiocenoses of some lakes of the Onon-Torey plain in different hydrological periods // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. Vol. 9. № 5. P. 734-752.

Wetzel R.G. 1990. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators // Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. Vol. 24. P. 519-590.

Williams W.D. 1991. Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview // Hydrobiologia. Vol. 210. P. 39-66.

Williams W.D., Boulton A.J., Taffee R.G. 1990. Salinity as a determinant of salt lake fauna: a question of scale // Hydrobiologia. Vol. 197. P. 257-266.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 4 (89), с. 133-142

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 628.19(285.32)(477.75)

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕЖГОДОВУЮ И СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОЛЕНОГО ОЗЕРА АДЖИ-БАЙЧИ (КРЫМ)[1]

© 2021 г. И.И. Руднева, В.Г. Шайда, А.В. Щерба, А.В. Завьялов

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН
Россия, 229011, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2. E-mail: svg-41@mail.ru

Поступила в редакцию 15.04.2021. После доработки 30.06.2021. Принята к публикации 01.07.2021

Экологическое состояние внутренних водоемов, в том числе гипергалинных озер, определяется совокупным влиянием природных и антропогенных факторов. С целью проведения межгодового и сезонного мониторинга гиперсоленого озера Аджи-Байчи, расположенного на западном побережье Крымского полуострова в зоне засушливого климата, изучали изменение температуры воздуха и воды, а также гидрохимические показатели рапы и динамику популяции артемии *Artemia salina* в 2017-2020 гг. Установлены общие тенденции, выражающиеся в увеличении температуры воздуха и воды в летний период с достижением максимальных значений в июле-сентябре (выше +30°С), что сопровождалось ростом солености в водоеме и снижением содержания кислорода. Колебания pH и значений окислительно-восстановительного потенциала Eh были выражены в меньшей степени. Максимальная соленость рапы (более 350‰) была отмечена в 2017 г., минимальное содержание кислорода (0.7-1.0 мг/л) в 2020 г., самые низкие показатели Eh (–78.5 мВ) выявлены в 2019 г. Цисты рачка встречались во все исследуемые периоды в течение года, науплии появлялись в марте-апреле при температуре воды +3+7°С, взрослые особи найдены в летние месяцы и в начале осени. Летом при высокой температуре воды и солености, но низком содержании кислорода происходила массовая гибель рачков. Полученные результаты отражают особенности влияния климатических и антропогенных факторов на экосистему гиперсоленого озера и могут служить моделью для прогнозирования возможных сценариев влияния изменения климата на внутренние водоемы и быть полезны для понимания процессов трансформации водных экосистем в аридных регионах, расположенных в зоне интенсивного антропогенного влияния, а также при разработке мероприятий по их охране и рациональному использованию ресурсов.

Ключевые слова: гиперсоленые озера, Крым, сезонные флуктуации, температура, гидрохимические параметры, артемия, пересыхание.

DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-133-142

Экологическое состояние внутренних водоемов, в том числе гипергалинных озер, определяется совокупным влиянием природных и антропогенных факторов. Исследование характеристик этих водных объектов представляет несомненный интерес как с точки зрения эффектов взаимодействия водоема и прилегающих к нему территорий, так и дает возможность составить прогноз дальнейшей трансформации экосистемы в условиях изменения климата и хозяйственной деятельности человека (Моисеенко, Гашкина, 2010). Соленые озера являются удобными моделями для изучения последствий изменения климата, поскольку большая их часть располагается в аридных и субаридных районах (Jellison et al., 2008; Wooldridge et al., 2016). Сезонная динамика изменений экологического состояния соленых озер может отражать процессы, обусловленные климатическими флуктуациями и хозяйственной деятельностью, что было отмечено нами ранее (Руднева, Шайда, 2020).

[1] Работа выполнена по теме государственного задания Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ АААА-А18-118021490093-4).

Озеро Аджи-Байчи (45° 25′ 58″ с.ш., 33° 09′ 59″ в.д.) расположено на западном побережье Крымского полуострова в зоне выраженного очень засушливого, умеренно жаркого с мягкой зимой климата, относится к Евпаторийской группе соляных озер (рис. 1, 2; Ежов, Тарасенко, 2002). Озеро лиманного происхождения, бессточное. Площадь его составляет 0.75-1.2 км^2, глубина – до 0.2 м, наибольшая 0.65 м, длина 1.5 км, наибольшая ширина 0.7 км. Площадь водосборного бассейна 41 км², разница с уровнем моря составляет 0.4 м. Рапа мутная, зелено-серого или розового цвета с неприятным запахом за счет эвтрофирования, когда развитие микроводорослей в некоторые годы придает летом озёрной рапе красноватый или зеленоватый оттенок. На дне залегает толща донных отложений: илистые чёрные в верхнем слое, затем серые и стально-серые, иногда с голубоватым оттенком. Хотя иловые отложения не отвечают требованиям кондиций для лечебных грязей, они используются туристами для этих целей и при дальнейшем более тщательном исследовании могут быть определены как ценный источник целебного сырья. Озеро отделено от Чёрного моря перешейком, по которому проходит дорога без твёрдого покрытия. На юго-востоке к озеру прилегают солончаки. Среднегодовое количество осадков составляет около 400 мм. Питание смешанное за счет поверхностных и подземных вод. По берегам озера обычно обитает большое количество водоплавающих птиц, которые находят здесь пищу в виде водных беспозвоночных и прежде всего артемии.

Рис. 1. Карта озера Аджи-Байчи (Крым)

Учитывая тот факт, что озеро располагается в зоне засушливого климата, представляло интерес исследовать межгодовую и сезонную динамику гидрохимических параметров водоема и обитающей в нем популяции артемии для выявления закономерностей влияния метеорологических факторов и антропогенной активности на экологический статус водоема.

Методы исследования

Анализ гидрохимических параметров рапы озера проводили в соответствие с методами, описанными нами ранее (Руднева и др., 2020). Пробы воды отбирали ежемесячно в течение 2017-

2020 гг., всего было исследовано 48 проб воды объемом 2 л каждая. Температуру воздуха и воды в озере измеряли с помощью электронного термометра HANNA Instruments Check Temp – 1. Соленость воды определяли рефрактометром PAL-06S LTA GO (Япония) и выражали в промилле (‰). Водородный показатель pH, окислительно-восстановительный потенциал Eh, концентрацию растворенного в воде кислорода анализировали в лабораторных условиях с помощью анализатора Expert-001 (Econix-Expert Моеха CoLtd, Москва, Россия) с использованием соответствующих селективных электродов фирмы Вольта (Санкт-Петербург, Россия).

Рис. 2. Озеро Аджи-Байчи в весенне-летний период.

Анализ жизненных стадий популяции артемии проводили путем отбора проб рапы с помощью специального устройства объемом рабочей части 5 л, всего было исследовано 48 гидробиологических проб (каждая в двух повторностях из двух постоянных мест отбора). Пробы концентрировали с использованием мелкоячеистого фильтра и подсчитывали различные жизненные стадии рачка под бинокулярным микроскопом МБС-10, показатели выражали в экземпляр/литр (экз./л; Руднева, Шайда, 2020; Van Stappen et al., 1996). Цисты артемии собирали на берегу озера, вылупление науплиев из собранных цист оценивали в соответствие с методом, изложенным M.O. El-Magsodi с соавторами (2005). Все определения проводили в трех повторностях, вычисляли средние значения, которые анализировали.

Результаты и их обсуждение

Как можно видеть на рисунке 3б максимальная температура воздуха зафиксирована в районе озера в период июнь-август, при этом наибольшее значение отмечено в августе 2018 г. (+32.3°C), после чего, начиная с октября, температура воздуха постепенно снижалась и в зимние месяцы устанавливалась в пределах от + 1 до +13°C.

Температура воды в озере также последовательно возрастала в весенне-летние месяцы (рис. 3а) и достигала максимальных значений в 2019 и 2020 гг. в июне (+32°C), а в августе 2017 и 2018 гг. доходила до +35°C. Зимой температура рапы варьировала в пределах от – 0.5 до +13°C.

Величины солености в рапе озера изменялись от 150-200‰ в зимние месяцы до 300-350‰ в летне-осенний период (рис. 4а). В то же время следует отметить некоторое снижение этого показателя в сентябре 2020 г., что было связано с выпадением незначительного количества осадков в

период исследования.

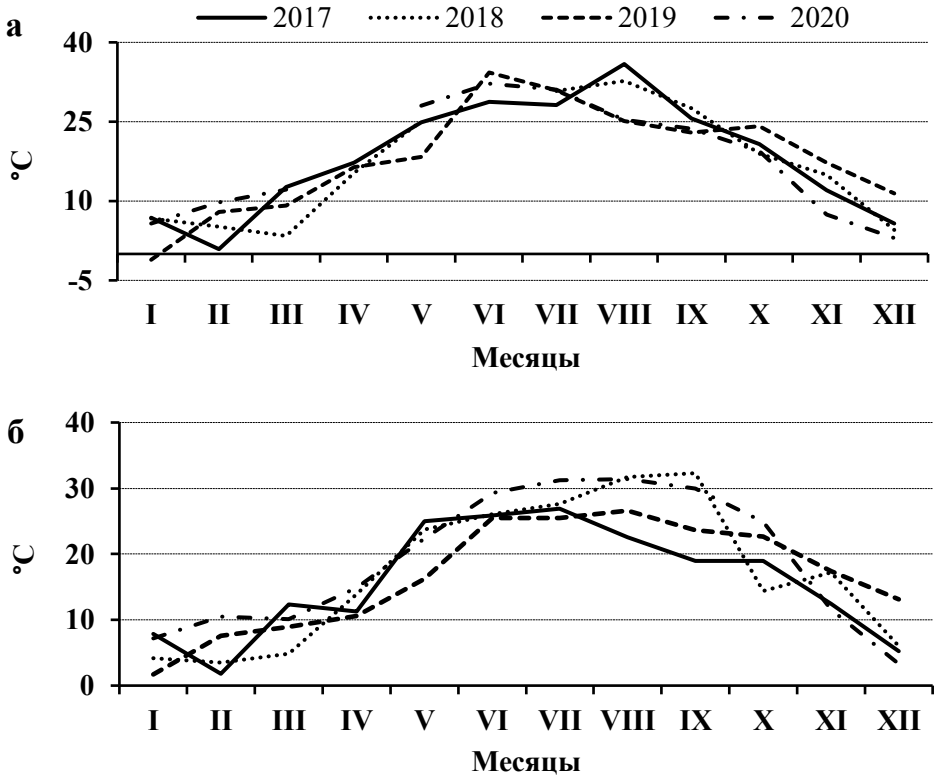

Рис. 3. Температура воды (а) и воздуха (б) в озере Аджи-Байчи в период 2017-2020 гг.

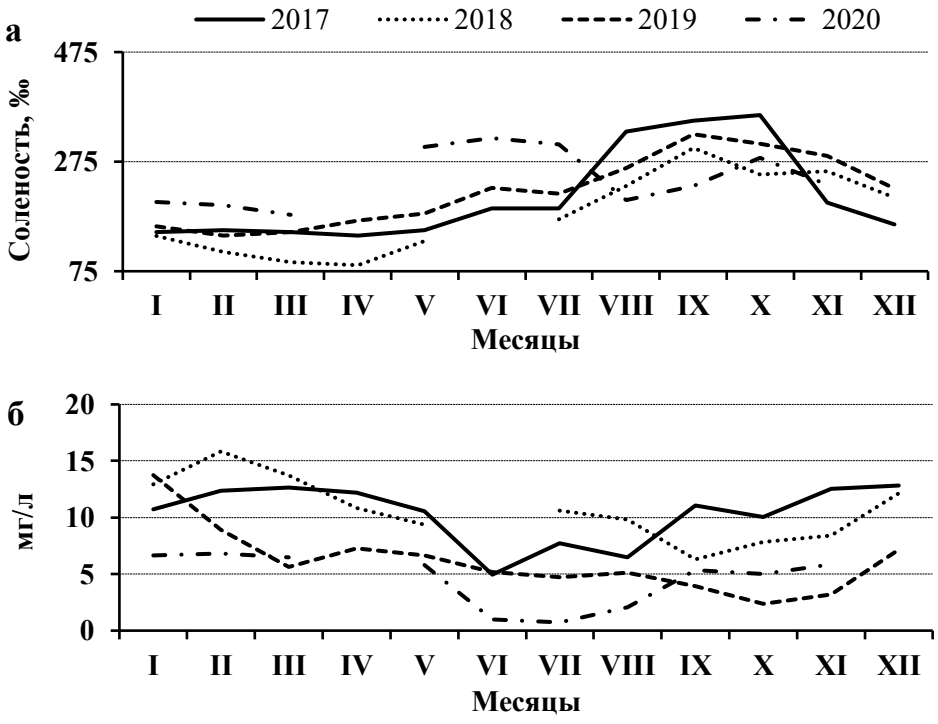

Рис. 4. Соленость воды (а) и содержание кислорода (б) в озере Аджи-Байчи в период 2017-2020 гг.

Содержание кислорода в рапе озера также изменялось, что можно видеть на рисунке 4б. В зимние месяцы концентрация кислорода в воде в различные годы колебалось в пределах 6.8-

16.0 мг/л, весной этот показатель последовательно снижался, а минимальные значения были отмечены в июне-июле. При этом самые низкие величины содержания кислорода были установлены в 2020 г., когда они достигали 0.7-1.0 мг/л, после чего повышались к концу осени. Сходная динамика была показана для значений pH рапы, хотя этот показатель варьировал в меньшей степени (рис. 5а). При этом самые низкие величины pH (6.52) были отмечены в августе 2020 г., а самые высокие (7.68) в марте 2018 г.

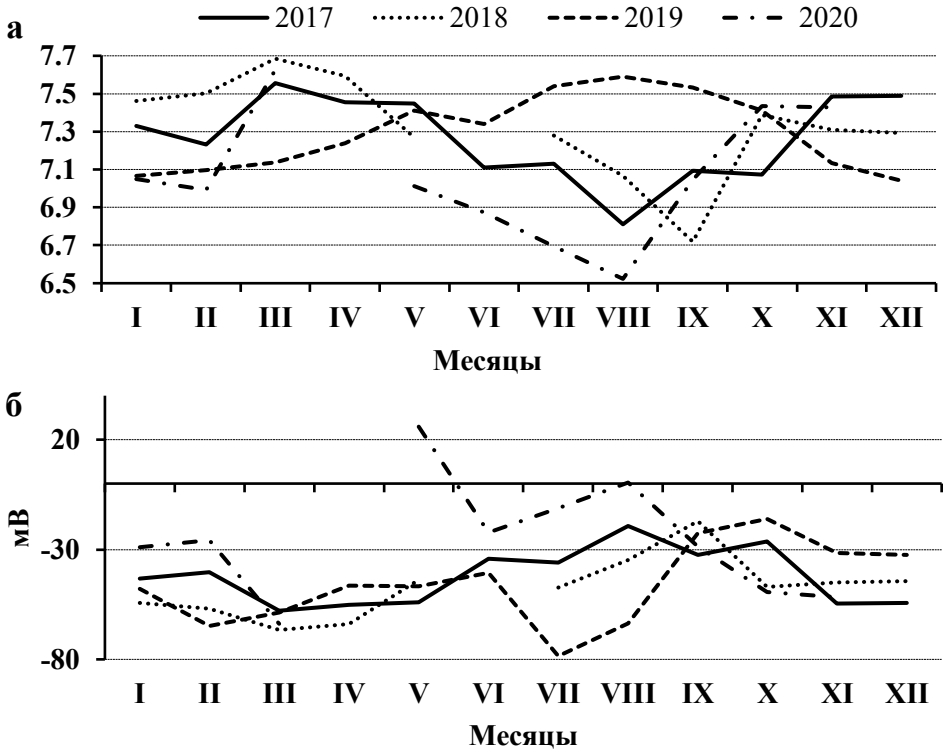

Рис. 5. pH (а) и Eh (б) воды в озере Аджи-Байчи в период 2017-2020 гг.

Изменение величин окислительно-восстановительного потенциала Eh воды было неоднозначно (рис. 5б). С января по апрель он изменялся в пределах от –35 до 65 мВ во все исследуемые годы. Однако в мае картина изменилась. В 2017, 2018 и 2020 гг. этот показатель возрастал в период июнь-сентябрь, достигая максимальных значений в июле 2020 г. (0.5 мВ), после чего снижался в осенне-зимний период. Иная динамика отмечена в 2019 году: в этом случае в июле происходило резкое падение Eh, а затем увеличение этого показателя вплоть до октября и затем небольшое снижение в осенне-зимний период.

Динамика популяции артемии в озере приведена в таблице 1, из которой видно, что цисты рачка найдены в рапе в течение всего года на протяжении 2017-2020 гг, но число их различалось в исследуемые периоды. В 2017 г. большое количество цист было обнаружено в январе (71 экз./л), в феврале-марте этот показатель существенно снижался, в апреле вновь возрастал и достигал максимальных величин в мае (100 экз./л) . В июне-июле число цист составляло в среднем 45 экз./л, затем последовательно уменьшалось к концу года (7 и 12 экз./л в ноябре и декабре соответственно). В 2018 г. в целом проявлялась такая же тенденция, но в январе количество цист было ниже, чем в аналогичный период 2017 г. (30 экз./л),а в феврале – выше (39 экз./л). В июле был установлен самый высокий показатель (82 экз./л), который снижался вплоть до ноября, когда было отмечено 54 экз./л цист в рапе. В 2019 г. сохранялась та же динамика изменения числа цист артемии в рапе, но имелись некоторые отличия. В январе, апреле, мае, сентябре и декабре число цист колебалось в пределах 1-9 экз./л, в феврале, марте, октябре и ноябре этот показатель варьировал в пределах 22-38 экз./л, в июне и августе число цист возрастало до 56-74 экз./л, а максимальная величина была отмечена в июле 390 экз./л. В 2020 г. количество цист в рапе озера было значительно ниже (в пределах 2-9 экз./л)

во все исследуемые месяцы, только в сентябре-октябре их число возросло до 25-30 экз./л.

Первые науплии в 2019 и 2020 гг. появлялись в марте, а в 2017 г. и в 2018 г. – в апреле. В 2017 г. личинки в количестве 2-12 экз./л встречались в период с апреля по август, исключая май, в 2018 г. наибольшее число личинок было отмечено в апреле (12 экз./л), в июле и августе их количество составляло 1-2 экз./л. В 2019 г. в апреле количество науплиев было 10 экз./л, в мае их число увеличилось до 25 экз./л, в июне, июле, августе и в ноябре их число колебалось в пределах 1-2 экз./л. В 2020 г. науплии были обнаружены только в марте и в сентябре в количестве 1 экз./л.

Таблица. Соотношение различных стадий артемии (среднее значения из трех определений, экз./л, в скобках – минимальное и максимальное количество) в озере Аджи-Байчи в период 2017-2020 гг.

Месяц	2017 г.			2018 г.			2019 г.			2020 г.		
	ц	н	в	ц	н	в	ц	н	в	ц	н	в
январь	71 (12-130)	0	0	30 (23-36)	0	0	3 (2-4)	0	0	3 (1-4)	0	0
февраль	5 (0-10)	0	0	39 (35-42)	0	0	34 (15-53)	0	0	6 (4-7)	0	0
март	3 (0-6)	0	0	11 (2-21)	0	0	38 (17-79)	1 (0-1)	0	5 (4-6)	1 (0-1)	0
апрель	33 (10-56)	2 (1-3)	4 (1-8)	1 (0-2)	12 (3-20)	1 (0-1)	1 (1-2)	10 (2-17)	25 (15-36)	нет данных		
май	100 (35-165)	0	1 (0-2)	нет данных			1 (1-2)	25 (9-40)	6 (2-10)	2 (0-5)	0	0
июнь	45 (40-51)	12 (1-24)	4 (1-8)	нет данных			74 (27-120)	2 (1-2)	2 (1-2)	2 (0-4)	0	0
июль	44 (30-55)	3 (1-6)	2 (1-4)	82 (55-110)	1 (0-2)	1 (0-1)	390 (85-695)	1 (1-2)	3 (0-4)	3 (1-4)	0	0
август	4 (3-6)	2 (0-3)	1 (0-2)	10 (3-16)	2 (1-3)	1 (1-2)	58 (30-85)	1 (1-2)	0	3 (1-5)	0	0
сентябрь	4 (3-5)	0	0	10 (2-17)	0	1 (0-2)	3 (1-5)	0	1 (0-1)	25 (24-26)	1 (0-1)	0
октябрь	11 (6-16)	0	0	18 (17-18)	0	1 (0-2)	23 (20-23)	0	0	30 (12-46)	0	0
ноябрь	7 (3-11)	0	0	54 (1-107)	0	2 (1-2)	22 (10-35)	1 (0-2)	0	9 (5-13)	0	0
декабрь	12 (12-13)	0	0	22 (9-36)	0	0	9 (2-15)	0	0	3 (3-4)	0	0

Примечание к таблице: ц – цисты, н – науплии, в – взрослые.

Взрослые рачки в 2017 г. в озере были найдены в апреле (4 экз./л) и в летние месяцы (1-4 экз./л). В 2018 г. в целом наблюдалась сходная картина: взрослых артемий обнаружили в апреле (1 экз./л), в том же количестве в летний и осенний периоды. В 2019 г. взрослые особи были отмечены в апреле (25 экз./л), в мае их число снизилось до 6 экз./л, в июне-июле до 2 и 3 экз./л соответственно, в августе обнаружены мертвые особи в большом количестве, а в сентябре в среднем отмечен 1 экз./л. В 2020 г. взрослые артемии не были найдены в исследуемые периоды, однако в летние и зимние месяцы в воде встречалось большое количество мертвых рачков и их фрагментов.

Таким образом, при наличии сходства сезонных изменений состояния популяции артемии в озере имелись и различия, которые, вероятно, были обусловлены гидроминералогическими условиями в озере, сложившимися в конкретные исследуемые периоды в результате сочетания климатических,

гидрохимических факторов и антропогенного влияния.

В настоящее время проблемы, порождаемые изменением климата, привлекают всеобщее внимание, поскольку приводят в ряде случаев к катастрофическим последствиям и исчезновению природных ресурсов, которые используются человеком для производственных, рекреационных, лечебных, аквакультурных и других целей. К таким объектам относятся гиперсоленые водоемы, широко распространенные по всему миру, содержащие 44% объема воды и занимающие 23% площади всех внутренних водоемов (Wurtsbaugh et al., 2017). Поскольку многие гиперсоленые водоемы располагаются в аридных и семиаридных районах, в том числе испытывающих достаточно сильную антропогенную нагрузку, их экологическое состояние зависит от совокупности этих факторов, изменение которых приводит к их трансформации и в самых крайних случаях к деградации, распреснению, пересыханию и потере тех ресурсов, которые использовались в хозяйственной деятельности людей (Jellison et al., 2008; Ali et al., 2020). Повсюду в мире проявляется тенденция пересыхания соленых озер и уничтожения их ресурсов. В частности, это установлено для некоторых водоемов Северной Америки, Аральского моря, озера Урмия в Иране, озер Казахстана и ряда других водных объектов (Tussupova et al., 2020).

Крымские озера на западном побережье полуострова находятся в зоне засушливого климата и подвержены пересыханию при высоких температурах воздуха и воды в летний период. Озеро Аджи-Байчи, расположенное в данном районе, является типичным гиперсоленым водоемом, динамика изменения экологического состояния которого может отражать процесс трансформации экосистемы при экстремальных климатических условиях и затем восстановления до нормального функционирования. Вместе с тем, согласно многолетним исследованиям Сакской гидрогеологической режимно-эксплуатационной станции (СГГРЭС), гидрологический режим озера весьма переменчив и зависит как от климатических, так и от антропогенных факторов. Последние существенно влияют на водно-солевой режим, гидроминеральные и биологические ресурсы водоема на протяжении последних 50-70 лет. За этот период в озере наблюдается интенсивное распреснение, что связано с увеличенным притоком пресной воды за счет хозяйственной деятельности, включающей земледелие, коммунальные стоки, рекреации в летний период и другие проявления антропогенной активности на прилегающих к озеру территориях. При этом значения минерализации рапы варьировали в значительных пределах (от 2.6 до 338.6 г/дм^3). В связи с этим можно заключить, что антропогенный фактор в последние 100-200 лет оказывает существенное влияние на геоэкологическое состояние водно-солевого режима и донных отложений озер Евпаторийской группы, включая озеро Аджи-Байчи (Васенко и др., 2017).

В наших исследованиях обнаружено, что в летние месяцы температура воздуха в районе озера достигает свыше +30°С, происходит сильное испарение воды, в результате чего большая часть водоема пересыхает (рис. 1). Рапа в оставшейся части озера характеризуется высокой соленостью, которая достигает 300-350‰, по берегам озера оседает соль, и жизнедеятельность гидробионтов прекращается вследствие создания в нем экстремальных условий, предшествующих пересыханию водоема.

Для гиперсоленых водоемов характерна вертикальная соленость и градиент содержания кислорода (Аладин, Плотников, 2013), в результате чего происходит развитие аноксии и гипоксии. Кроме того, на дне вследствие процессов гниения и последующей минерализации растительных и животных остатков, в том числе привнесенных с суши, образуется сероводород, создающий дополнительные условия, ухудшающие жизнедеятельность организмов в придонных слоях. Такие явления характерны и для озера Аджи-Байчи, когда в летний период при достижении высоких температур и увеличении солености содержание кислорода в рапе падает до минимальных значений, являющихся критическими для жизнедеятельности гидробионтов (0.7-1.0 мг/л), что значительно ниже ПДК, установленных для водных объектов рыбохозяйственного назначения (4.2 мг/л; Приказ Министерства…2016; Рябушко и др., 2020). Колебания pH и Eh воды выражены в меньшей степени, но и в этом случае прослеживается определенная межгодовая динамика, характеризующаяся снижением этих показателей в летний период. Особо следует отметить ситуацию, сложившуюся летом 2019 года, когда значительное выпадение атмосферных осадков в июне в количестве 115 мм (Reliable Prognosis, 2021) сменилось засухой в августе-октябре, и этот показатель колебался в пределах 3-20 мм, что затем привело к резкому обмелению водоема и повышению в нем солености.

В то же время в июле 2019 г. после обильных дождей отмечено резкое снижение окислительно-восстановительного потенциала рапы, что могло существенно повлиять на процессы жизнедеятельности в озере, поскольку от величины Eh зависят фотосинтез, дыхание и окислительно-восстановительные процессы в водоеме (Hargrave et al., 2008). Таким образом, отмеченные межгодовые и сезонные флуктуации физико-химических параметров воды изменяют ее свойства и, следовательно, условия жизни гидробионтов.

Условия в водоемах являются результатом естественных процессов и антропогенных воздействий, изменяющих гидрохимические свойства. Озеро Аджи-Байчи находится в зоне активного земледелия, рекреационной деятельности, на его берегах в летний период располагаются туристы, которые занимаются в том числе самолечением, используя для этих целей рапу озера и грязи, хотя их лечебный эффект не доказан (не изучен). Берега озера засорены пластиковым мусором, который складируется в течение длительного времени.

Помимо этого, на озере обитает большое количество водоплавающих птиц (рис. 1), продукты жизнедеятельности которых также попадают в водоем и оседают на дно, насыщая его биогенными элементами азотом и фосфором. Согласно нашим исследованиям, проведенным в 2017 г., весной содержание нитратов в рапе озера последовательно увеличивалось, достигая максимума в мае (780 мг/л). В этот же период наблюдается выраженное явление эвтрофирования, когда рапа приобретает ярко-розовый цвет за счет интенсивного развития микроводоросли *Dunaliella salina*. В июле содержание нитратов снижалось до 680 мг/л и оставалось таковым до конца года, а в январе этот показатель упал до 410 мг/л. Нитриты в рапе обнаружены в небольшом количестве (0.04-0.08 мг/л) в зимне-весенний период, в августе их концентрация составила 0.13 мг/л, затем снизилась до 0.03-0.04 мг/л осенью, а в декабре резко возросла до 0.22 мг/л. Содержание фосфатов варьировало в пределах от 0 до 0.5 мг/л, летом и осенью не превышало 0.01-0.02 мг/л. Таким образом, высокие концентрации биогенов, привнесенные в озера в результате сельскохозяйственной деятельности, попадания коммунальных стоков и жизнедеятельности морских птиц, способствовали развитию эвтрофирования в весенне-летний период и в начале осени.

Совершенно очевидно, что эти условия влияют на функционирование организмов, структуру биоты, ее жизнедеятельность и динамику популяции артемии. Биоразнообразие гиперсоленых озер вследствие экстремальных условий очень низкое. В озере Аджи-Байчи помимо артемии нами были обнаружены в прибойной зоне личинки хирономид в единичных экземплярах в весенний период, когда соленость не превышала 170‰. Изменение условий в озере повлияло на динамику популяции артемии, которая существенно различается в исследуемые годы. Особо следует отметить 2020 год, когда число науплиев значительно снизилось, а взрослые особи не были найдены во время исследования, а только были выявлены мертвые артемии и их фрагменты. Можно предположить, что резкая смена экологических условий в озере, его загрязнение в результате нарастающей антропогенной активности привели к ухудшению условий обитания артемии и, как следствие, снижению ее продуктивности. При этом нельзя исключать межгодовые естественные колебания динамики численности популяции рачка, зависящие от водности озера, что отмечают и другие авторы (Литвиненко и др., 2018) и других физико-химических условий (Gajardo, Beardmore, 2012). В весенне-летний период 2017-2019 гг. в водоеме складывались благоприятные условия для жизнедеятельности артемии (благодаря выпадению осадков сохранялась относительно невысокая соленость, содержание кислорода не опускалось ниже 5 мг/л, успешно развивалась кормовая база при наличии биогенов), тогда как весна 2020 г. была менее обильна на атмосферные осадки, соленость возросла до 300‰ и более, а содержание кислорода упало до критических величин (0.7-1.0 мг/л), что крайне отрицательно повлияло на размножение рачка и вызвало гибель науплиев и взрослых особей, не обеспечив последующее воспроизводство. Можно предположить также, что резко возросшая рекреационная нагрузка в исследуемом районе (с. Штормовое) в результате осложнения эпидемиологической ситуации и закрытия традиционных зарубежных курортов, когда количество туристов в Крыму увеличилось в несколько раз, повлекла усиление антропогенной активности и увеличение загрязнения прибрежной территории и рапы водоема, что негативно сказалось на популяции артемии.

Таким образом, климатические изменения и антропогенная деятельность влияют на биогеохимические циклы, нарушают взаимодействие между сушей, водой и биотой, обменом

веществом и энергией, потоками энергии и образованием осадков, о чем мы сообщали ранее (Руднева, Шайда, 2020; Руднева и др., 2020). Изучение динамики этих процессов в соленых озерах является удобной моделью для прогнозирования возможных сценариев последствий изменения климата для малых внутренних водоемов и прибрежных морских экосистем, что позволит разработать правильную стратегию их охраны и использования ресурсов (Bathmann et al., 2020). Комплексное исследование сезонных флуктуаций гидрохимических и гидробиологических характеристик гиперсоленых водоемов может дать существенную информацию для понимания комплексного влияния природных и антропогенных факторов применительно к конкретным географическим районам, а также определить степень экологического риска вследствие возникновения экстремальных ситуаций для этих водоемов (пересыхание) и значения для экологии человека на примыкающих территориях.

Выводы

Межгодовые изменения гидрометеорологических параметров озера Аджи-Байчи характеризовались повышением температуры воздуха и воды, снижением осадков в летний период, что приводило к резкому повышению солености до 300-350‰, снижению содержания кислорода до критических величин 0.7-1 мл/л и обмелению водоема.

Поздней осенью и зимой с выпадением осадков и понижением температуры происходило восстановление экологического состояния озера.

Цисты артемии были найдены в озере во все сезоны в течение исследуемых лет. Весной в марте-апреле появлялись первые науплии артемии и начиналось развитие рачка.

Дальнейшие комплексные исследования озера Аджи-Байчи, расположенного в зоне засушливого климата, могут быть полезны для понимания процессов трансформации водных экосистем в аридных зонах, а также разработке мероприятий по их охране и сохранению ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аладин Н.В., Плотников И.С. 2013. Концепция относительности и множественности зон солености и формы существования гидросферы // Труды Зоологического института РАН. № 3. С. 7-21

Васенко В.И., Гулов О.А., Чабан В.В. 2017. Научно-практическая работа по созданию проекта: «Кадастр прибрежных озер Республики Крым. Виды их хозяйственного использования (по состоянию на 01.01.2017)». Фонды ГУНПП РК «Крымская ГГРЭС», Саки. 36 с.

Ежов В.В., Тарасенко Д.Н. 2002. Секреты крымского здоровья, Симферополь: Бизнес-Информ. 256 с.

Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г., Куцанов К.В., Герасимов А.Г., Разова Л.Ф. 2018. Влияние изменений климата на запасы цист артемии в озерах западной Сибири // Рыбное хозяйство. № 6. С. 52-59.

Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. 2010. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука. 268 с.

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 [Электронный ресурс http:/ agroportal2.garant.ru:81/document?id=71486774&byPara=1 (дата обращения 15.01.2021)].

Руднева И.И., Шайда В.Г. 2020. Сезонная динамика гиперсоленого озера Ойбург (Крым) как модель для изучения последствий изменения климата // Водные ресурсы. Т. 47. № 4. С. 426-437.

Руднева И.И., Залевская И.Н., Шайда В.Г., Меметлаева Г.Н., Щерба А.В. 2020. Биогенная миграция азота и фосфора в соленых озерах Крыма: сезонные аспекты // Геохимия. Т. 65. № 10. С. 984-997.

Рябушко В.И., Щуров С.В., Ковригина Н.П., Лисицкая Е.В., Поспелова Н.В. 2020. Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. № 1. С. 103-118.

Ali M.F., Salman A.H., Guda M.A., Abojassim A.A., Almayabi B. 2020. The hydro climatic effects of the thermal pollution on surface waters in Iraq and its biological effects // Prensa Med Argent. Vol. 106. No. 2. P. 189-196.

Bathmann U., Schubert H., Andrén E., Tuomi L., Radziejewska T., Kulinski K., Chubarenko I. 2020. Editorial: Living along gradients: past, present, future // Frontiers in Marine Sciences. Vol. 6. Article 801.

El-Magsodi M.O., El-Ghebli H.M., Hamza M., Van Stappen G., Sorgeloos P. 2005.Characterization of Liyan *Artemia* from Abu Kammash Sabkha // Libyan Journal of Marine Science. Vol. 10. P. 19-29.

Gajardo G.M., Beardmore J.A. 2012. The brine shrimp *Artemia*: adapted to critical life conditions Frontiers in Physiology. Review Article // Frontiers in Marine Sciences. Vol. 3. Article 185.

Hargrave B.T., Holmer M., Newcombe C.P. 2008. Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biochemical indicators. //Marine Pollution Bulletin. Vol. 56. P. 810-824.

Jellison R., Williams W.D., Timms B., Aladin N.V. 2008. Salt lakes: values and future // Aquatic ecosystems: Trends and global prospects. Cambridge, UK: Cambridge University Press. P. 92-110.

Reliable Prognosis. 2021. [Электронный https://rp5.ru/ (дата обращения 15.01.2021)].

Tussupova K., Hjorth A.P., Morave M. 2020. Drying lakes: a review on the applied restoration strategies and health conditions in contiguous areas // Water. No. 12 (749). P. 1-23.

Van Stappen G.C., Merchie G., Dhont J., Lavens P., Baert P., Bosteels T. 1996. Artemia // Manual on the production and use of live food for aquaculture / Eds. P. Lavens, P. Sorgeloos. Rome, Italy: FAO Fisheries Technical Paper. No. 361. P. 79-251.

Wooldridge T.H., Adams J.B., Fernandes M. 2016. Biotic responses to extreme hypersalinity in an arid zone estuary // South Africa Journal of Botany. Vol. 107. P. 160-169.

Wurtsbaugh W.A., Miller C., Null S.E., DeRose R.J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., Moore J. 2017. Decline of the world's saline lakes // Nature Geoscience. No. 10. P. 816-821.

ISSN 1993-3916
ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2021. Т. 27. № 4 (89)

Учредители: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (ПИБР ДНЦ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Дагестанского научного центра РАН (ИГ ДНЦ РАН).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации в Роскомнадзоре (Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций) – ПИ № ФС77-56164 от 15 ноября 2013 г. Подписано в печать 30 ноября 2021 г.

ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60х 84 $^1/_8$	Объем 21 п.л.
Тираж 200 экз.	Заказ №

Тиражировано в типографии ИП Гаджиева С.С.
367025, Махачкала, ул. Юсупова, 47
RIZO-PRESS, Тел. 8(8722) 68-40-21

Распространяется
только по подписке

Индекс 39775 (каталог «Пресса России»)