

ISSN 1993-3916

Том 30 Номер 3 (100) Сентябрь 2024

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
2024

© Журнал основан в 1995 г.
Издается при поддержке
Дагестанского федерального исследовательского 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.
Подписка на русскую версию журнала осуществляется только по электронному интернет
каталогу «Урал-Пресс» <https://www.ural-press.ru/catalog>

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, ВИНИТИ, Google Scholar, AGRICOLA, EBSCO Discovery Service, OCLC, Summon by ProQuest, 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
ДАГЕСТАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР РАН

ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН

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

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 30, № 3 (100), 2024, сентябрь

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. Факс: (499) 135-54-15

E-mail: arid.journal@yandex.ru

**Россия, 367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45, ДФИЦ РАН

Телефон: (872-2) 67-09-83

E-mail: arid_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК

2024

СОДЕРЖАНИЕ

Том 30, номер 3 (100), 2024 сентябрь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- Изменение влагообеспеченности степной зоны юга Западной Сибири
в 1980-2050 годы по данным сценарных прогнозов
на основе глобальных моделей СМIP6
Е.Ю. Мордвин, Н.М. Почемин, Н.В. Волков, А.А. Бондарович, А.А. Лагутин 4-15
- Тенденции минимального зимнего речного стока на территории
бассейна озера Севан
В.Г. Маргарян, Е.В. Гайдукова, Г.Д. Аветисян 16-27
- Математические модели и прогноз деградации аридных
почвенно-растительных систем
А.Н. Салугин, К.Н. Кулик 28-36
- Системный анализ функционирования засоленных почв
и особенности их использования в аридных условиях
З.Г. Залибеков, С.А. Мамаев, М.Е. Котенко, П.Д. Мусалаева 37-48
- Сохранение почвенного покрова степей на федеральных
особо охраняемых природных территориях
О.В. Чернова, А.А. Присяжная 49-59
- Растительность песчаных массивов Северной Гоби
Д. Мягмарсурэн, Е.В. Данжалова, Д. Баясгалан 60-70
- Современное состояние ценопопуляций *Cynoglossum viridiflorum* Pall. ex Lehm.
в Каракалпакской части плато Устюрт (Узбекистан)
Т. Рахимова, Х.Ф. Шомуродов, Б.А. Адиллов, Н.К. Рахимова, В.К. Шарипова 71-79
- Место зоологических кадастрово-справочных карт в биомной концепции
Л.Г. Емельянова, А.С. Оботуров 80-89
- Состояние популяций реинтродуцированных сурков
в двух лесостепных заповедниках европейской России
И.В. Жигарев, В.Ю. Румянцев 90-98
- Популяции некоторых видов птиц семейства Чайковые (*Laridae*)
на искусственных водоемах Республики Калмыкии
при усилении антропогенной нагрузки
И.Б. Шаповалова 99-116
-

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Лесная мелиорация и пастбищное природопользование в прикаспии <i>А.С. Манаенков, Л.П. Рыбашлыкова</i>	117-124
Разработка элементов технологии выращивания посадочного материала джузгуна безлистного в Астраханской области <i>Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина, Ю.Н. Подопрigorov</i>	125-131
Проблемы опустынивания и запыленности атмосферного воздуха аридных городов Приаралья <i>И.С. Шукуров, Л.И. Шукурова, С.П. Маракулина</i>	132-139

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Пространственно-временные закономерности фонового содержания биогенных веществ в речных водах в степной и лесостепной зонах Русской равнины <i>С.В. Долгов, Н.И. Коронкевич, В.О. Швыдкий, Ю.Ю. Алентьев, Е.В. Штамм</i>	140-146
Характеристика состояния популяции южного инвазивного вида <i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas) в Ивановском водохранилище <i>Л.П. Федорова, Д.А. Гвоздарев, В.О. Полянин</i>	147-154
Оценка состояния озер Юго-восточного Забайкалья по содержанию хлорофилла <i>a</i> <i>Г.Ц. Цыбекмитова, Н.А. Ташлыкова</i>	155-165

УДК 551.583

**ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
В 1980-2050 ГОДЫ ПО ДАННЫМ СЦЕНАРНЫХ ПРОГНОЗОВ
НА ОСНОВЕ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ СМIP6**

© 2024 г. Е.Ю. Мордвин, Н.М. Почемин, Н.В. Волков, А.А. Бондарович, А.А. Лагутин

*Алтайский государственный университет
Россия, 656049, г. Барнаул, просп. Ленина, д. 61
E-mail: zion0210@gmail.com, a9130262571@gmail.com*

Поступила в редакцию 20.03.2024. После доработки 09.04.2024. Принята к публикации 10.04.2024.

Проведены исследования изменений влагообеспеченности территории в подзоне сухой степи юга Западной Сибири (географические координаты: 50.5°-54.5° с.ш., 77.5°-83.0° в.д.) для периода 1980-2050 гг. В качестве основного показателя уровня влагообеспеченности региона используется гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова. Информационной основой исследований являются результаты шести климатических моделей семейства СМIP6, полученные для современного периода 1980-2015 гг., а также в рамках сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5 возможной эволюции глобальной климатической системы для 2015-2050 гг. Установлена многолетняя динамика, границы вариаций и тренды гидротермического коэффициента для юга Западной Сибири. Проведен анализ влияния суммарного количества осадков и приземной температуры воздуха на характер и скорость изменения уровня влагообеспеченности региона. Установлено пространственное распределение влагообеспеченности региона и скорость его изменения для исследуемого периода.

Ключевые слова: Западная Сибирь, подзона сухой степи, гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова, влагообеспеченность региона, климатические модели СМIP6, агроклимат.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-4-15

EDN: FIIEPV

Ускоренный характер глобальных климатических изменений, наблюдаемый с конца 70-х годов XX века, стимулировал разработку климатических моделей для описания возможной эволюции глобальной климатической системы. В 1995 году по инициативе Рабочей группы по объединенным моделям (англ. «Working Group on Coupled Modelling», WGCM) был создан Проект сравнения объединенных моделей (англ. «Coupled Model Intercomparison Project», СМIP). По замыслу WGCM, участники этого проекта разрабатывают и реализуют совместную стратегию проведения исследований для понимания прошлых, настоящих и будущих изменений климата с использованием глобальных климатических моделей. В настоящее время реализуется шестая фаза проекта (The IPCC ..., 2021). Отметим, что сегодня СМIP6 и связанная с ним инфраструктура данных являются основными источниками информации для Межправительственной группы экспертов по изменению климата (англ. «Intergovernmental Panel on Climate Change», IPCC) и других международных и национальных центров. Помимо описания исторических и современных изменений климата модели СМIP6 дают климатические проекции в рамках возможных сценариев, учитывающих широкий спектр изменений в землепользовании и выбросах парниковых газов, обусловленных вариациями социально-экономических траекторий развития общества (англ. «Shared Socioeconomic Pathways», SSP; O'Neill et al., 2016; Eyring et al., 2016; Семенов, Гладильщикова, 2022).

В исследованиях поведения глобальной климатической системы отдельное место занимает проблема установления поведения ключевых климатических показателей в отдельных регионах. Особое внимание уделяется территориям интенсивного землепользования (FAO, 2021). Согласно Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. (Распоряжение Правительства РФ от 10.08.2019 г. № 1796-р), Южная Сибирь выделена как регион с благоприятными агроклиматическими условиями для ведения сельского хозяйства. Отметим,

что предварительные результаты исследования климатической системы Западной Сибири для периода 1970-2050 гг. получены в наших работах (Лагутин и др., 2012, 2013, 2018; Lagutin et al., 2016, 2017) с использованием региональной климатической модели RegCM4 (Giorgi et al., 2012).

Очевидно, что в условиях меняющегося глобального климата неизбежно возникают агроклиматические риски, обусловленные повышением среднегодовых температур и снижением запасов влаги в почве в ранние сроки вегетации, расширением ареалов вредителей, продолжительностью осадков в поздние сроки вегетации, дефицитом водных ресурсов для орошения. Меры, способствующие сохранению продовольственного потенциала, в первую очередь должны быть основаны на результатах комплексных научных исследований, учитывающих не только приведенные выше факторы, но и возможные смещения границ агроклиматических зон на фоне глобального потепления (Khan и др., 2023).

В качестве одного из основных агроклиматических показателей признания территории в качестве благоприятной для ведения сельского хозяйства в Стратегии принят гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (англ. «Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov», НТС; далее – ГТК Селянинова), характеризующий уровень влагообеспеченности региона. Согласно определению, регионы с ГТК < 0.6 относятся к территориям сухого земледелия, требующим проведения мероприятий по ирригации. Отметим, что подход к исследованиям уровня влагообеспеченности регионов с использованием ГТК Селянинова распространен в России и странах СНГ (WMO, GWP, 2016; Лемешко и др., 2021). В зарубежных исследованиях (Gebrechorkos et al., 2022; Essa et al., 2023) принято использовать индекс SPEI (англ. «Standardized Precipitation Evapotranspiration Index»).

Целью работы является исследование изменений влагообеспеченности территории в подзоне сухой степи юга Западной Сибири для периода 1980-2050 гг. с использованием результатов шести климатических моделей семейства CMIP6, полученных для современного периода 1980-2015 гг., а также в рамках сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5 возможной эволюции глобальной климатической системы для 2015-2050 гг.

Материалы и методы

Исследуемая область. Зона сухой степи юга Западной Сибири (географические координаты: 50.5°-54.5° с.ш., 77.5°-83.0° в.д.) включает южную часть Барабинской низменности и всю Кулундинскую равнину. На ее территории расположены западная часть Алтайского края, юг Новосибирской области и часть северо-восточного Казахстана (рис. 1). Согласно классификации климатов Кёппена-Гейгера (Beck et al., 2018; Веше и др., 2021), восточная часть исследуемой области относится к категории Dfb или умеренный континентальный климат, а западная часть – к типу BSk или холодный степной климат. Для климата данной территории характерны продолжительная холодная малоснежная зима и короткое, но жаркое лето. Безморозный период длится 112-120 дней в году с 15-25 мая по 10-15 сентября. Годовое количество осадков – около 250-450 мм, а в апреле-октябре – около 200 мм. В северной части расположены луговые степи на хорошо развитых черноземных почвах. При продвижении на юг и юго-запад появляются типичные степи с более засухоустойчивыми дерновинными злаками. При движении к границе Республики Казахстан получают распространение сухие степи – разнотравно-дерновинно-злаковые степи на каштаноземах (Веше и др., 2021). За более чем 200-летнюю историю развития сельского хозяйства на месте прежних природных экосистем сформировались экосистемы нового типа – агроэкосистемы. Агрофитоценозы данной территории по большей части монокультурны. На территории выращивается небольшое количество высокопродуктивных видов и сортов, прежде всего зерновых культур, которые занимают обширные однотипные сельскохозяйственные площади. К наиболее распространенным выращиваемым культурам относятся пшеница, подсолнечник, кукуруза, кормовые травы, в лесостепных районах – гречиха, рожь, сахарная свекла, лен, рапс, соя (Силантьева и др., 2021).

На рисунке 1 показана классификация типов подстилающей поверхности по данным за 2019 год продукта MCD12Q1 (Friedl, Sulla-Menashe, 2019) радиометра MODIS спутников Terra и Aqua, полученного для территории юга Западной Сибири (Сервис ..., 2023).

Материалы и методы. Для получения количественных оценок влагообеспеченности территорий используются комплексные показатели – гидротермические коэффициенты, в основе которых лежат математические соотношения между климатическими характеристиками, такими как: температура

воздуха, интенсивность осадков, эвапотранспирация и др. В России и странах СНГ для оценок уровня влагообеспеченности территории принято использовать ГТК Селянинова (WMO, GWP, 2016). Коэффициент Селянинова чувствителен к засушливым условиям. Вместе с тем он обладает гибкостью и может применяться на различных временных масштабах от многолетнего до месячного и декадного (Селянинов, 1928). Согласно Л.С. Кельчевской (1971), ГТК Селянинова определяется по формуле:

$$ГТК = \frac{10 \sum_n^{T > T_k} R}{\sum_n^{T > T_k} T} \quad (1),$$

где R – суммарное суточное количество осадков (мм), T – среднесуточная температура приземного слоя воздуха ($^{\circ}C$), T_k – пороговое значение температуры, определяющее количество слагаемых в числителе и знаменателе (зависит от с/х культуры, общепринятым значением является $T_k = +10^{\circ}C$), n – количество дней с температурами выше T_k .

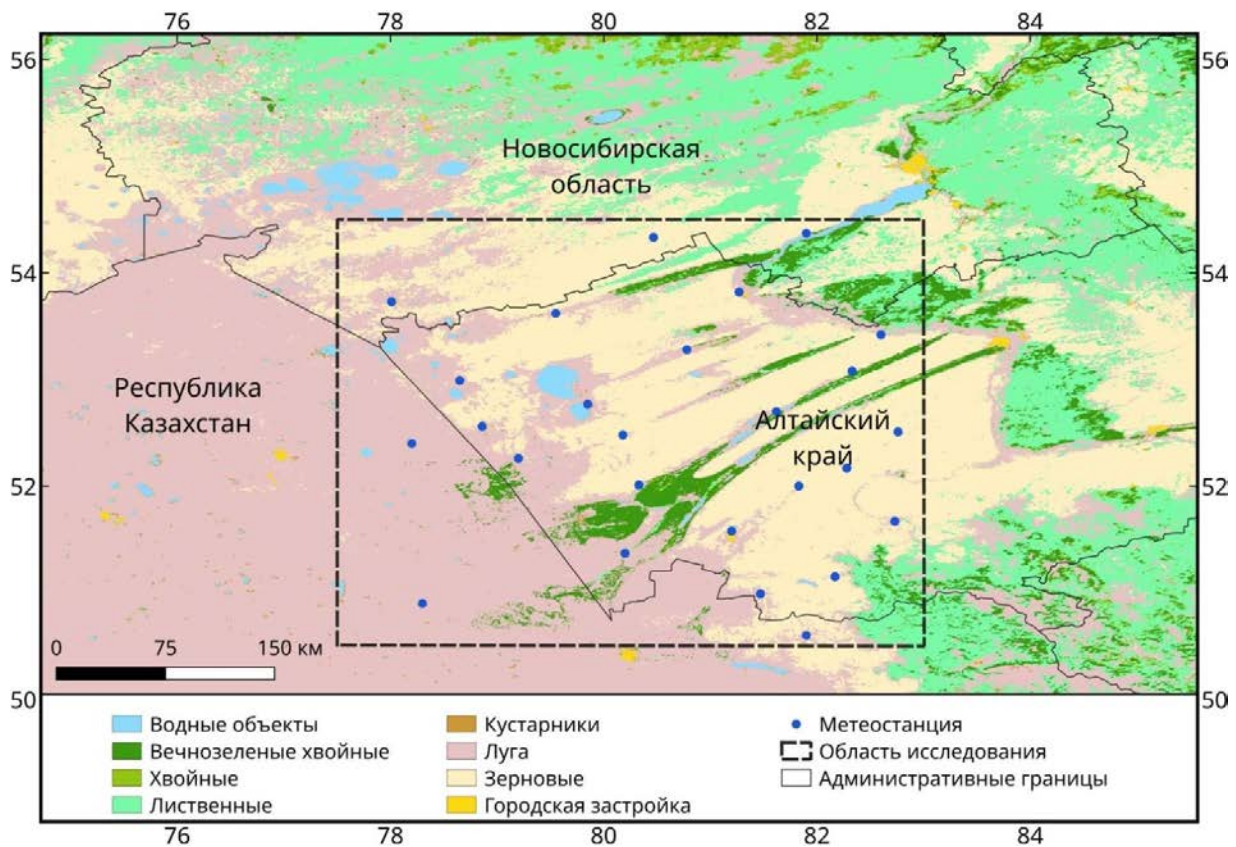


Рис. 1. Классификация типов подстилающей поверхности по данным продукта MCD12Q1 за 2019 год для территории юга Западной Сибири. Условные обозначения: пунктирный прямоугольник – область исследования (географические координаты: 50.5°-54.5° с.ш., 77.5°-83.0° в.д.), темные точки – метеостанции.

Требуемые для расчетов ГТК по формуле (1) суточные значения температуры и интенсивности осадков были получены из продуктов моделирования глобальных климатических моделей проекта CMIP6. Данные для всех моделей и сценариев доступны для скачивания на официальном портале проекта (Официальный ..., 2023). Копия архива этих данных размещена на портале Службы мониторинга атмосферы Copernicus Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF; Портал ..., 2023).

Шестая фаза проекта CMIP включает данные 37 моделей, описывающих проекции развития глобальной климатической системы в рамках 5 сценариев. В отличие от моделей предыдущих фаз проекта CMIP, модели шестой фазы учитывают различные вариации социально-экономических

траекторий развития общества и различный характер этих влияний на землепользование и выбросы парниковых газов.

Следует отметить, что для территории России имеется ограниченное количество исследований по верификации моделей проекта CMIP6 (Володин, 2022; Володин, Грицун, 2020; Володин и др., 2017). Отдельно можно выделить работы, посвященные анализу данных CMIP6 при прогнозировании агроклиматических характеристик (Лемешко и др., 2021, Khan et al., 2023). В частности, в работе Н.А. Лемешко с соавторами (2021) приведен рейтинг моделей по качеству описания климатических данных, полученных в инструментальных наблюдениях для европейской части территории России. Принимая во внимание результаты Н.А. Лемешко, для анализа ГТК Селянинова были выбраны данные шести моделей проекта CMIP6 для сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5, которые наилучшим образом описывают современное состояние климата европейской части территории России. Названия моделей и краткие сведения о них приведены в таблице 1.

Таблица 1. Модели проекта CMIP6, используемые в работе.

Название модели	Центр разработки, страна	Год создания	Пространственное разрешение
INM-CM5-0	INM, Россия	2016	2.0° x 1.5°
CESM2	NCAR, США	2018	1.25° x 0.94°
EC-Earth3-CC	EC-Earth-Consortium, EC	2019	0.7° x 0.7°
GFDL-ESM4	NOAA-GFDL, США	2018	1.25° x 1.00°
CNRM-CM6-1	CNRM-CERFACS, Франция	2017	1.4° x 1.4°
NorESM2-MH	NCC, Норвегия	2017	1.25° x 0.94°

В завершении параграфа приведем краткое описание характера климатических изменений, прогнозируемых в рамках сценариев SSP2 и SSP5.

SSP2 (англ. «Steady Policies») представляет собой группу сценариев, в рамках которых предполагается умеренное изменение климата. Считается, что в будущем будут приниматься меры для сокращения выбросов парниковых газов, а увеличение влияния социально-экономических факторов останется на уровне 2015 года. Выбросы CO₂ к 2100 году в рамках сценариев SSP2 достигнут постоянного уровня, превышающего уровень 2015 года на ~200 млн⁻¹. Согласно сценарию SSP2-4.5, радиационный форсинг стабилизируется к 2100 году на уровне 4.5 Вт/м², что приведет к увеличению глобальной температуры на 2.4°C (O'Neill et al., 2016).

SSP5 (англ. «Fossil-Fueled Development») – группа сценариев, учитывающих высокий уровень экономического роста, при котором будет использоваться больше ископаемого топлива. Согласно этой группе сценариев, в период 2015-2100 гг. следует ожидать ускоренное увеличение выбросов парниковых газов. В рамках сценария SSP5-8.5 прогнозируется стремительный рост концентрации CO₂ в атмосфере, превышающий уровень 2015 года на ~750 млн⁻¹. Уровень радиационного форсинга к 2100 году составит ~8.5 Вт/м², что приведет к повышению температуры приземного слоя воздуха на ~4.4°C по сравнению с 2015 г. (O'Neill et al., 2016).

Результаты и обсуждение

Верификация моделей. На первом этапе исследований проведено сопоставление результатов моделей проекта CMIP6 для современного периода 1980-2015 гг. с данными наземных наблюдений, полученными на метеостанциях (Специализированные ..., 2022). Суточные значения приземной температуры воздуха и интенсивности осадков по данным шести моделей CMIP6 были интерполированы в точках расположения 26 метеостанций. Пространственное расположение метеостанций в области исследования показано на рисунке 1. По полученным данным с использованием формулы (1) вычислены годовые значения ГТК Селянинова для периода 1980-2015 гг. Далее проведен корреляционный анализ модельных значений ГТК и ГТК по данным метеостанций. В таблице 2 приведены статистические метрики проведенного анализа: коэффициент линейной корреляции по Пирсону (англ. «Pearson correlation coefficient», PCC), средняя абсолютная ошибка (англ. «mean absolute error», MAE), среднеквадратичная ошибка (англ. «mean squared error», MSE) и коэффициента детерминации R².

Таблица 2. Статистические метрики PCC, MAE, MSE, R², полученные в результате сопоставления модельных значений ГТК и ГТК по данным метеостанций.

Модель	Коэффициент корреляции (PCC)	Средняя абсолютная ошибка (MAE)	Среднеквадратичная ошибка (MSE)	Коэффициент детерминации (R ²)
INM-CM5-0	-0.005	0.42	0.31	-2.73
CESM2	0.115	0.35	0.23	-1.84
EC-Earth3-CC	0.154	0.50	0.38	-3.91
GFDL-ESM4	-0.085	0.52	0.41	-4.27
CNRM-CM6-1	-0.104	0.52	0.41	-4.02
NorESM2-MM	-0.046	0.45	0.34	-2.81

Видно, что для территории юга Западной Сибири для современного периода 1980-2015 гг. результаты модели CESM2 лучше согласуются с данными наземных метеостанций.

В результате индивидуального корреляционного анализа для каждой из 26 метеостанций установлено, что для пунктов Щербакты, Змеиногорск, Шемонаиха (ID 36012, 36038, 36186) инструментальные значения ГТК Селянинова завышены по сравнению с результатами модели CESM2, в то же время для станций Карасук и Семиарка (ID 29814, 36152) значения ГТК систематически занижены. Лучшее согласие данных модели и наблюдений установлено для метеостанций Камень-на-Оби, Шелаболиха, Славгород, Благовещенка, Родино, Ключи, Кулунда, Угловское (ID 29822, 29915, 29916, 36020, 36021, 36024, 36028).

Прогностические оценки ГТК. На втором этапе исследований по данным 6-ти моделей проекта CMIP6 в рамках двух групп сценариев SSP2 и SSP5 получены оценки ГТК Селянинова для периода 2015-2050 гг.

На рисунке 2 показан многолетний ход и межгодовая изменчивость усредненных по области исследования годовых значений показателя ГТК, которые ранее были получены для каждого пространственного узла всех используемых климатических моделей. Результаты для современного периода 1980-2015 гг. также отображены на рисунке 2. Линиями показана скорость изменения ГТК Селянинова (Δ ГТК) для периода 1980-2050 гг. Видно, что в исследуемый период данные моделей CESM2 и INM-CM5-0 демонстрируют уменьшение средних значений ГТК со скоростью $\sim 0.03/(10$ лет). Для моделей GFDL-ESM4, CNRM-CM6-1 и NorESM2-MM тренд нейтральный. Слабый положительный тренд Δ ГТК, равный $\sim 0.01/(10$ лет) установлен только по результатам модели EC-Earth3 в рамках сценария SSP5-8.5.

Для установления влияния приземной температуры воздуха и интенсивности осадков на значения ГТК Селянинова в регионе были проведены исследования вариаций этих климатических переменных для периода 1980-2050 гг. для шести моделей CMIP6. В силу установленной выше слабой зависимости результатов расчетов ГТК от выбранного семейства сценариев, на этом этапе использовались данные только для сценария SSP2-4.5. На рисунке 3 показаны суммарные годовые значения температуры воздуха для дней, в которые средняя суточная температура превышала пороговые значения $+10^{\circ}\text{C}$, а также значения суммарной годовой интенсивности осадков в эти дни (умноженные на 10 согласно определению ГТК). Видно, что для всех моделей кроме EC-Earth3, установлен практически нейтральный тренд изменения суммарной интенсивности осадков. Для модели EC-Earth3 тренд составляет ~ 9 мм/год. Вместе с тем, все модели указывают на рост приземной температуры воздуха со скоростями в интервале от $+7.7^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в модели CNRM-CM6-1 до $+14.1^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в модели CESM2.

Отметим, что показанные на рисунках 2 и 3 результаты для юга Западной Сибири в целом соответствуют результатам и выводам, полученным авторами ранее в исследованиях характеристик климатической системы Западной Сибири, проведенных с использованием региональной климатической модели RegCM4, данных глобальных моделей предыдущей фазы проекта CMIP5, реанализов и данных дистанционного зондирования Земли (Лагутин и др., 2012, 2013, 2018; Lagutin et al., 2016, 2017). Новые результаты также хорошо согласуются с данными климатических изменений, полученными в (Бондарович и др., 2019) по инструментальным наблюдениям за 1960-

2016 гг. В работе (Бондарович и др., 2019) авторами так же установлено слабое влияние скорости изменения осадков на уровень влагообеспеченности степной зоны юга Западной Сибири. Вместе с тем эти результаты противоречат прогностическим оценкам по осадкам, полученным для исследуемой зоны в работе (Харламова, Фрюауф, 2021).

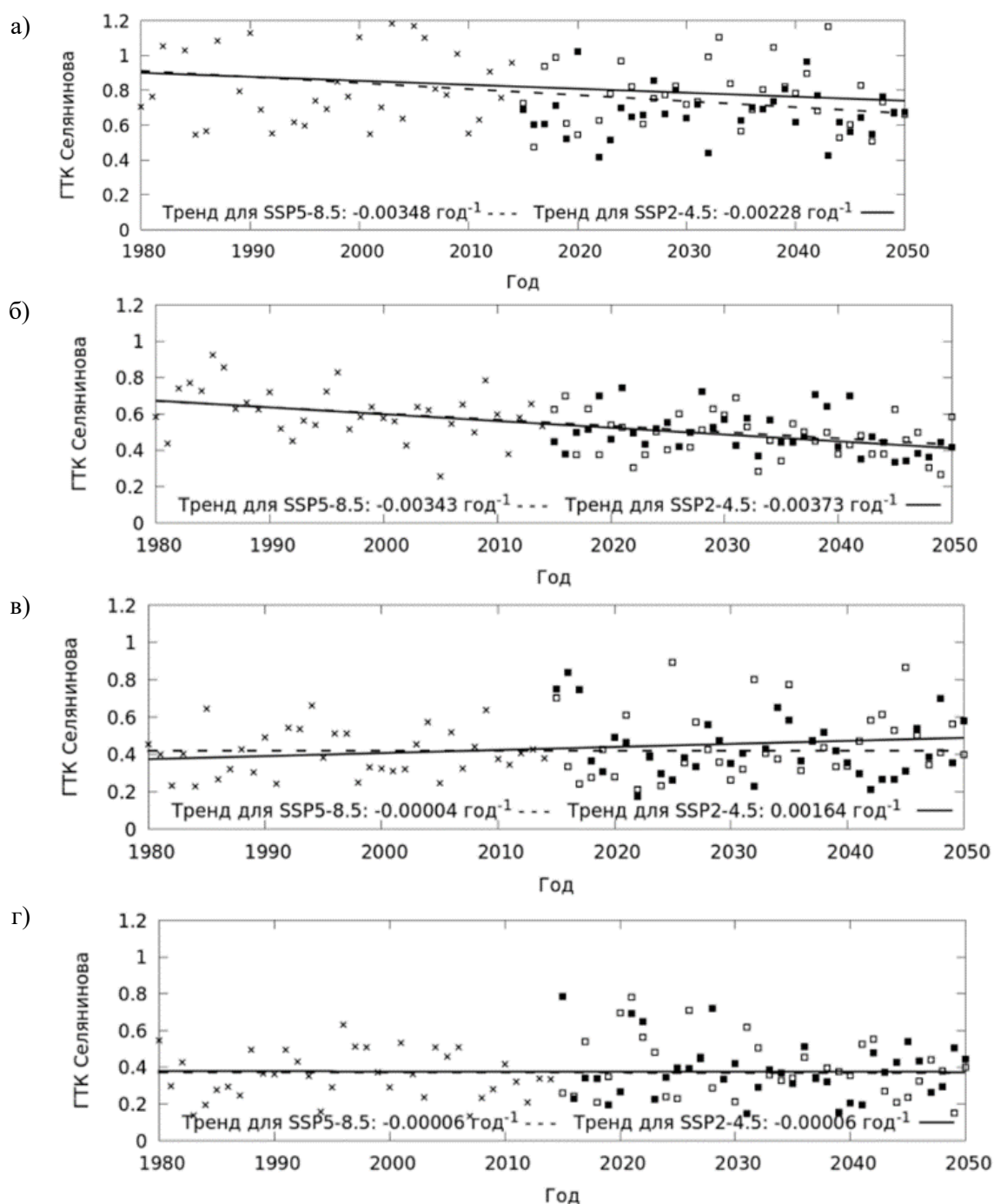


Рис. 2а-г. Многолетний ход и межгодовая изменчивость средних по области исследования значений показателя ГТК для шести моделей CMIP6: а) модель INM-CM5-0, б) модель CESM2, в) модель EC-Earth3-CC, г) модель GDFL-ESM4. Условные обозначения: × – данные для современного периода 1980-2015 гг., □ – данные для сценария SSP2-4.5, ■ – для сценария SSP5-8.5 возможной эволюции глобальной климатической системы, линии на графике – результат аппроксимации данных.

Продолжение рисунка 2.

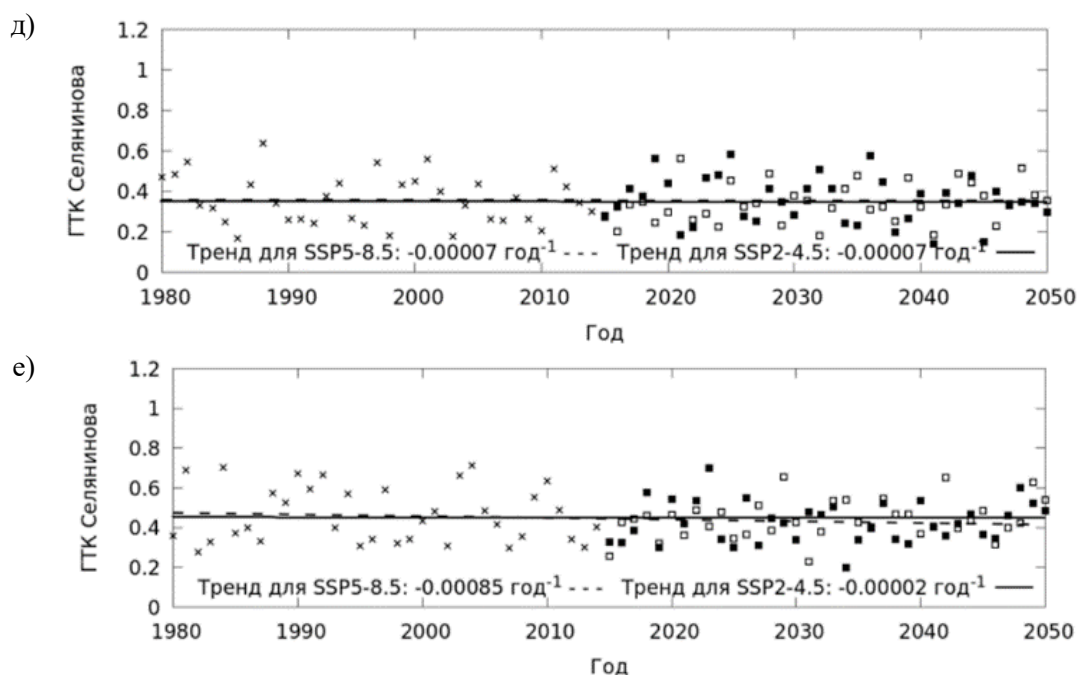


Рис. 2д-е. Многолетний ход и межгодовая изменчивость средних по области исследования значений показателя ГТК для шести моделей CMIP6: д) модель CNRM-CM6-1, е) модель NorESM2-MM. Условные обозначения: \times – данные для современного периода 1980-2015 гг., \square – данные для сценария SSP2-4.5, \blacksquare – для сценария SSP5-8.5 возможной эволюции глобальной климатической системы, линии на графике – результат аппроксимации данных.

Сложившаяся система атмосферной циркуляции в исследуемом регионе определяет более засушливые условия на юго-западе Западной Сибири с постепенным возрастанием уровня влагообеспеченности в направлении на северо-восток (Веше и др., 2021). Для проверки качества воспроизведения моделями CMIP6 локальных региональных закономерностей проведено исследование пространственных распределений среднего значения ГТК для каждого пиксела выбранного региона для шести моделей в рамках сценария SSP2-4.5.

На рисунке 4 показаны пространственные распределения средних многолетних значений ГТК, полученных для периода 1980-2050 гг. в рамках сценария SSP2-4.5 для шести исследуемых моделей CMIP6. Несмотря на разное пространственное разрешение моделей (табл. 1), видно, что все они качественно одинаково описывают распределение влагообеспеченности исследуемого региона. Максимально засушливые условия с ГТК = 0.2-0.5 для периода 1980-2050 гг. установлены в юго-западной части Алтайского края и приграничной степной зоне Республики Казахстан для моделей CNRM-CM6-1 и EC-Earth3-CC. Согласно классификации ГТК, в регионах с такими показателями для ведения сельскохозяйственной деятельности требуется реализация специальных мер по проведению ирригационных работ. Для моделей CESM2, GDFL-ESM4 и NorESM2-MM установлены большие значения ГТК = 0.3-0.7, но не смотря на это, согласно классификации ГТК, такие территории относятся к засушливым регионам и регионам сухого земледелия. Для модели INM-CM5-0 установлены самые высокие значения ГТК = 0.7-1.0, соответствующие территориям обеспеченного увлажнения. Однако низкое пространственное разрешение модели, по мнению авторов, требует проверки данного результата.

Для принятия административных решений по адаптации с/х комплекса региона к изменениям климата важно знать не только пространственное распределение увлажненности территории, но и скорость ее изменения. На рисунке 5 показано пространственное распределение скорости изменения Δ ГТК Селянинова $\times 10^2$ (год⁻¹) для периода 1980-2050 гг. для шести моделей CMIP6 в рамках сценария SSP2-4.5.

Видно, что полученные пространственные распределения соответствуют средним оценкам, показанным на рисунке 2. В моделях GDFL-ESM4, CNRM-CM6-1 и NorESM2-MM установлен практически нейтральный тренд Δ ГТК во всех пикселях исследуемой области равный $\sim 10^{-3}$ /год. Данные моделей INM-CM5-0 и CESM2 указывают на небольшой отрицательный тренд в центральной и северо-восточной части области исследования.

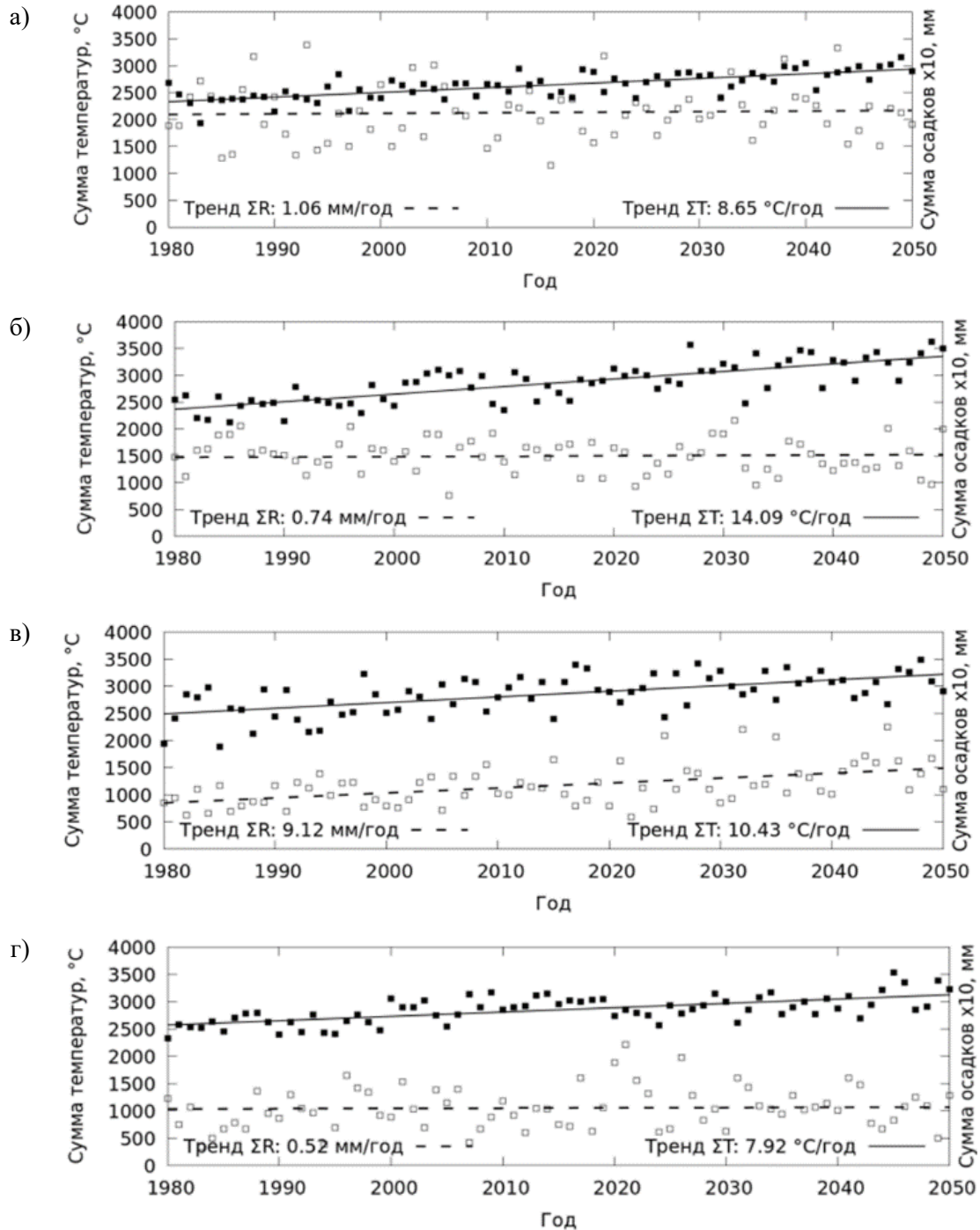


Рис. 3а-г. Суммарные годовые значения температуры воздуха для дней, в которые средняя суточная температура превышала пороговые значения +10°C (■) и суммарная годовая интенсивность осадков в эти дни, умноженная на 10, согласно определению ГТК (□), для шести моделей СМIP6 в рамках сценария SSP2-4.5: а) модель INM-CM5-0, б) модель CESM2, в) модель EC-Earth3-CC, г) модель GDFL-ESM4. Линии на графике – результат аппроксимации данных.

Продолжение рисунка 3.

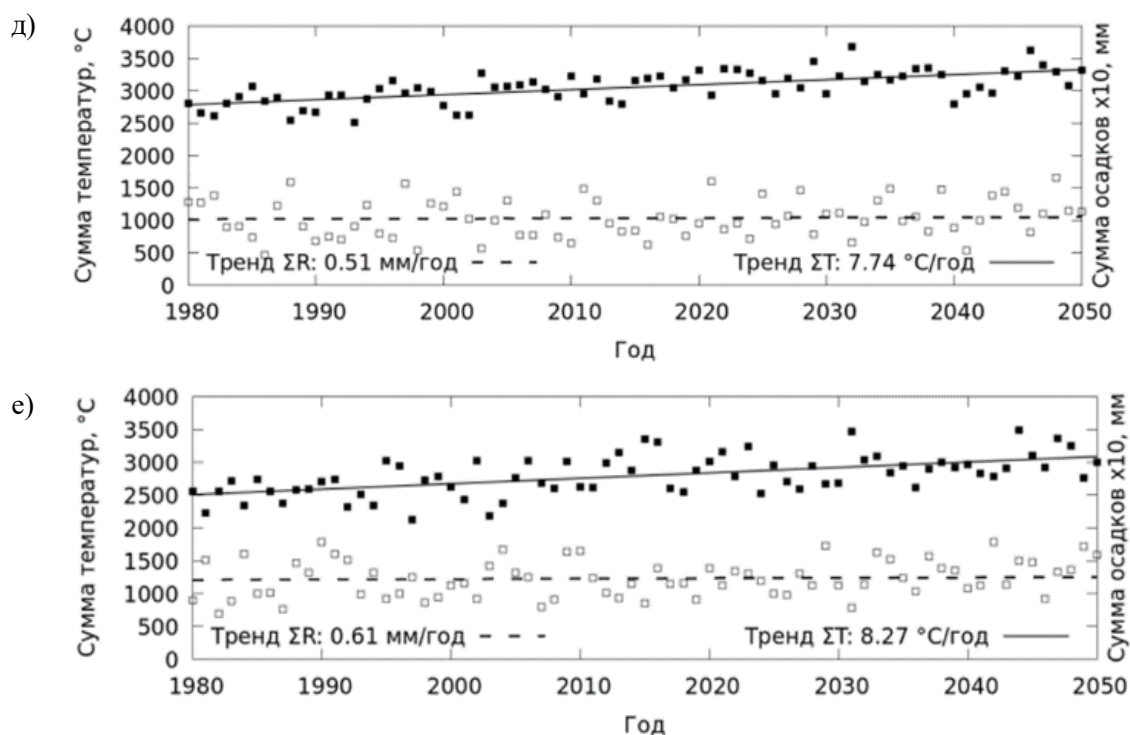


Рис. 3д-е. Суммарные годовые значения температуры воздуха для дней, в которые средняя суточная температура превышала пороговые значения $+10^{\circ}\text{C}$ (■) и суммарная годовая интенсивность осадков в эти дни, умноженная на 10, согласно определению ГТК (□), для шести моделей СМIP6 в рамках сценария SSP2-4.5: д) модель CNRM-CM6-1; е) модель NorESM2-MM. Линии на графике – результат аппроксимации данных.

Результаты модели EC-Earth3-CC указывают на противоположный модели CESM2 положительный тренд в северо-восточной части области исследования. Таким образом, можно сделать вывод, что в первой половине XXI века темпы изменения влагообеспеченности региона изменятся незначительно и останутся на уровне 2015 года.

Выводы

В работе проведены исследования изменений влагообеспеченности почвы в подзоне сухой степи юга Западной Сибири (50.5° - 54.5° с.ш. 77.5° - 83.0° в.д.) для периода 1980-2050 гг. В качестве основного показателя уровня влагообеспеченности региона используется ГТК Селянинова, расчеты которого проведены по данным о приземной температуре воздуха и суммарной суточной интенсивности осадков, полученным из продуктов шести климатических моделей семейства СМIP6. Выполнен анализ ГТК для современного периода 1980-2015 гг., а также в рамках сценариев SSP2-4.5 и SSP5-8.5 возможной эволюции глобальной климатической системы для 2015-2050 гг.

Показано, что полученные в работе результаты и выводы по многолетней динамике и трендам гидротермического коэффициента для юга Западной Сибири соответствуют результатам, полученным авторами ранее в исследованиях характеристик климатической системы Западной Сибири, проведенных с использованием региональной климатической модели RegCM4, данных глобальных моделей предыдущей фазы проекта СМIP5, реанализов, данных дистанционного зондирования Земли и наземных наблюдений сети гидрометеорологических станций (Лагутин и др., 2012, 2013, 2018; Lagutin et al., 2016, 2017; Бондарович et al., 2019).

Анализ пространственного распределения ГТК Селянинова и скорости его изменения для исследуемого периода показал, что, несмотря на разное пространственное разрешение используемых в работе моделей, все они качественно одинаково описывают распределение влагообеспеченности на

юге Западной Сибири. Полученные количественные оценки указывают, на то, что в первой половине XXI века такие территории следует относить к засушливым регионам и регионам сухого земледелия. Для ведения сельскохозяйственной деятельности на этих территориях в условиях повышенных агроклиматических рисков со стороны органов местной и региональной власти требуется принятие управленческих решений, направленных на выработку и реализацию специальных мер по проведению ирригационных работ.

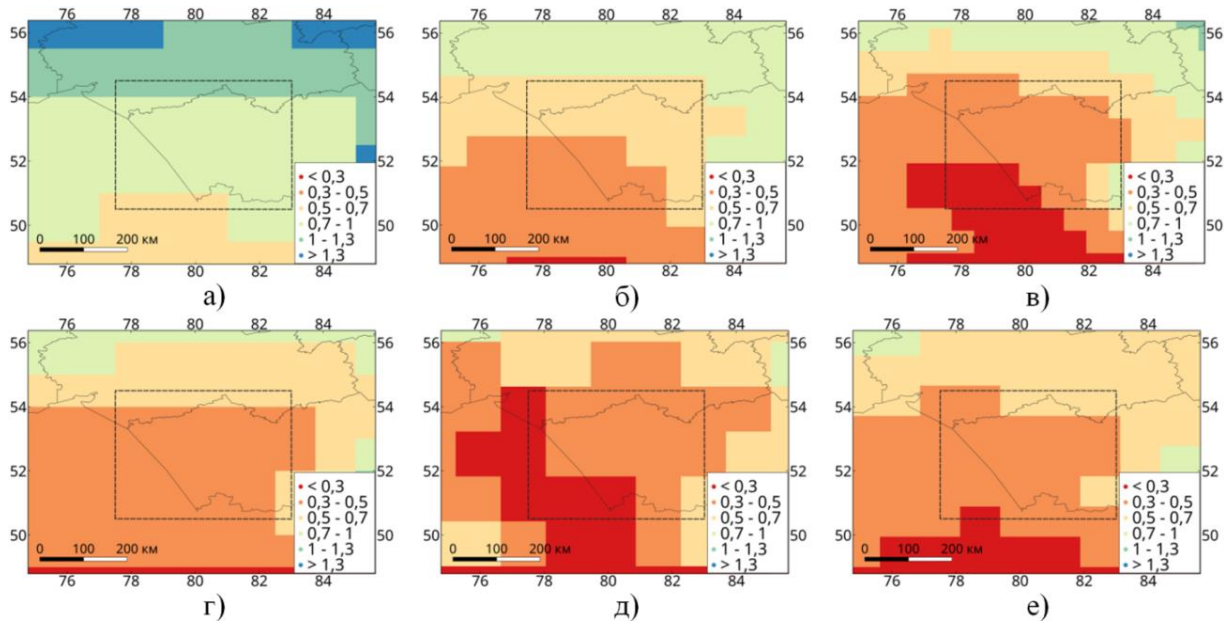


Рис. 4. Пространственные распределения средних многолетних значений ГТК, полученных для периода 1980-2050 гг. для шести моделей CMIP6 в рамках сценария SSP2-4.5: а) модель INM-CM5-0; б) модель CESM2; в) модель EC-Earth3-CC; г) модель GDFL-ESM4; д) модель CNRM-CM6-1; е) модель NorESM2-MM.

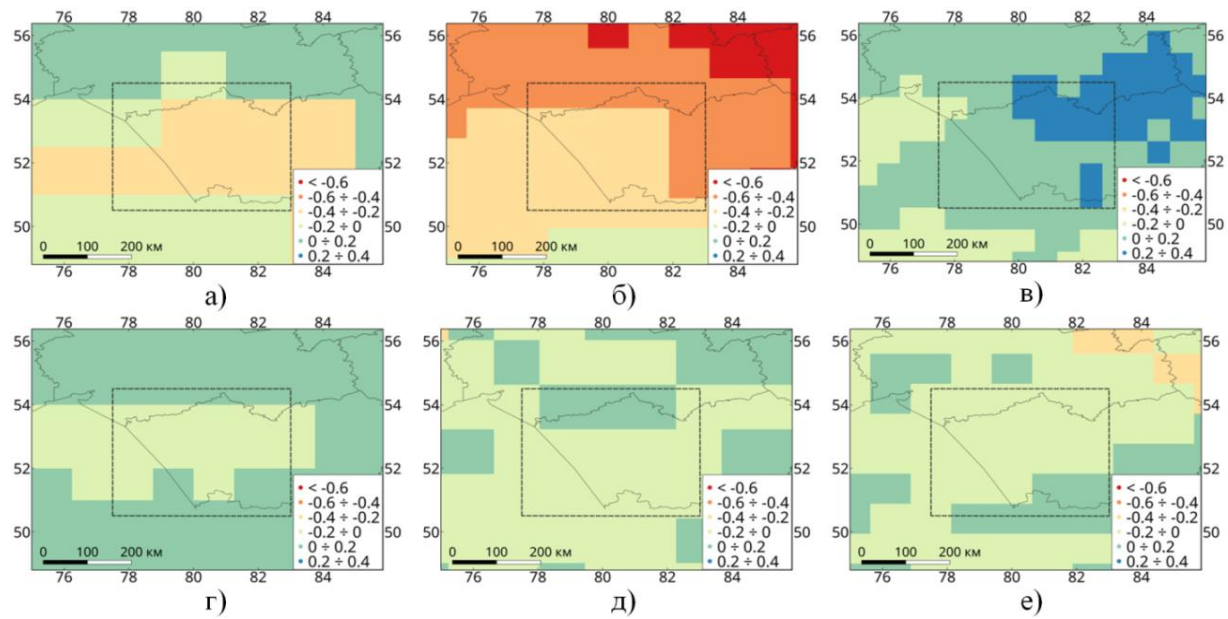


Рис. 5. Пространственное распределение скорости изменения $\Delta ГТК$ Селянинова $\times 10^2$ (год⁻¹) для периода 1980-2050 гг. для шести моделей CMIP6 в рамках сценария SSP2-4.5: а) модель INM-CM5-0; б) модель CESM2; в) модель EC-Earth3-CC; г) модель GDFL-ESM4; д) модель CNRM-CM6-1; е) модель NorESM2-MM.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, госзадание на проведение научных исследований, выполняемых в Алтайском государственном университете, проект № FZMW-2023-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарович А.А., Понькина Е.В., Шмидт Г., Илигер П., Рудев Н.В., Быков Н.И.* 2019. Анализ хода метеорологических элементов, определяющих условия возделывания теплолюбивых культур в агроклиматических зонах Алтайского края, по данным за 1960–2016 годы // *Агрофизика*. № 1. С. 26–37. [Электронный ресурс <https://www.agrophys.ru/Media/Default/JournalAgrophysica/Agrophysika1-2019/Fulltxt/Bondarovitch.pdf> (дата обращения 12.02.2024)].
- Веше К., Королюк А., Лащинский Н., Силантьева М. М., Роше Х, Хенсен И.* 2021. Глава 2. Кулундинская степь как часть евразийской степной зоны / *Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования: коллективная монография* / Ред. В.И. Беляев, М.М. Силантьева, А.М. Никулин, А.А. Бондарович. Барнаул: Изд-во Алтайского университета. С. 13–46
- Володин Е.М.* 2022. Вероятные изменения климата России в XXI веке по данным модели климата INM-CM5-0 // *Метеорология и гидрология*. № 5. С. 5–13.
- Володин Е.М., Грищун А.С.* 2020. Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5 // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. Т. 56. № 3. С. 255–266.
- Володин Е.М., Мортиков Е.В., Кострыкин С.В., Галин В.Я., Лыкосов В.Н., Грищун А.С., Дианский Н.А., Гусев А.В., Яковлев Н.Г.* 2017. Воспроизведение современного климата в новой версии климатической модели ИВМ РАН // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. Т. 53. № 2. С. 164–178.
- Кельчевская Л.С.* 1971. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии Л.: Гидрометеидат. 215 с.
- Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю.* 2018. Влияние глобальных климатических изменений на климат Западной Сибири в первой половине XXI века // *Вычислительные технологии*. Т. 23. № 4. С. 83–94.
- Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю.* 2013. Моделирование климата Сибирского региона: результаты модели RegCM4/CLM для 1970–2029 гг. // *Вестник алтайской науки*. № 1. С. 191–197.
- Лагутин А.А., Волков Н.В., Мордвин Е.Ю., Резников А.Н.* 2012. Моделирование климата Западной Сибири: результаты модели RegCM4 // *Известия АлтГУ*. № 1 (73). С. 181–189.
- Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Морозов А.П., Русаков В.А.* 2021. Применимость данных МОЦАО для оценки агроклиматических условий отдельных территорий // *Системы контроля окружающей среды*. Вып. 3 (45). С. 23–30.
- Официальный электронный каталог моделей CMIP6. 2023 [Электронный ресурс <https://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/> (дата обращения 12.02.2024)].
- Портал европейского метеорологического агентства Copernicus. 2023 [Электронный ресурс <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=overview> (дата обращения 12.02.2024)].
- Селянинов Г.Т.* 1928. О сельскохозяйственной оценке климата // *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. Вып. 20. С. 165–177.
- Семенов С.М., Гладилицыкова А.А.* 2022. Сценарии антропогенных изменений климатической системы в XXI веке // *Фундаментальная и прикладная климатология*. Т. 8. № 1. С. 75–106.
- Сервис загрузки данных дистанционного зондирования Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA). 2023 [Электронный ресурс <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=MCD12Q1> (дата обращения 12.02.2024)].
- Силантьева М.М., Елесова Н.В., Терехина Т.А., Гребенникова А.Ю., Овчарова Н.В., Сперанская Н.Ю., Хензен И.* 2021. Гл. 10: Влияние сельскохозяйственного освоения степной и лесостепной зоны Кулунды на распределение растительного покрова и биоразнообразия // *Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования: коллективная монография* / Ред. В.И. Беляев, М.М. Силантьева, А.М. Никулин, А.А. Бондарович. Барнаул: Изд-во Алтайского университета. С. 177–188.
- Специализированные массивы для климатических исследований. 2022 [Электронный ресурс <http://aisori-meteo.ru/waisori/index0.xhtml> (дата обращения 12.02.2024)].
- Харламова Н.Ф., Фроуаф М.* 2021. Гл. 3: Изменчивость климата Кулундинской степи // *Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования: коллективная монография* / Ред. В.И. Беляев, М.М. Силантьева, А.М. Никулин, А.А. Бондарович. Барнаул: Изд-во Алтайского университета. С. 27–41.
- Beck H., Zimmermann N., McVicar T., Vergopolan N., Berg A., Wood E.* 2018. Present and Future Köppen-Geiger Climate Classification Maps at 1-km Resolution // *Scientific Data*. Vol. 5. P. 180214 [Электронный ресурс

- <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214> (дата обращения 12.02.2024)].
- Essa Y.H., Hirschi M., Thiery W., El-Kenawy A.M., Yang Ch.* 2023. Drought Characteristics in Mediterranean under Future Climate Change // *npj Climate and Atmospheric Science*. Vol. 6 [Электронный ресурс <https://www.nature.com/articles/s41612-023-00458-4> (дата обращения 12.02.2024)].
- Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C.A., Stevens B., Stouffer R.J., Taylor K.E.* 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) Experimental Design and Organization // *Geoscientific Model Development*. Vol. 9. P. 1937-1958.
- FAO. 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at Breaking Point. Synthesis Report 2021. Rome [Электронный ресурс <https://www.fao.org/land-water/solaw2021/en/> (дата обращения 12.02.2024)].
- Friedl M., Sulla-Menashe D.* 2019. MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center [Электронный ресурс <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v006> (дата обращения 13.01.2024)].
- Gebrechorkos S.H., Peng J., Dyer E., Miralles D.G., Vicente-Serrano S.M., Funk C., Beck H.E., Asfaw D.T., Singer M.B., Dadson S.J.* 2023. Global High-Resolution Drought Indices for 1981-2022 // *Earth System Science Data*. Vol. 15. P. 5449-5466.
- Giorgi F., Coppola E., Solmon F., Mariotti L., Sylla M.B., Bi X., Elguindi N., Diro G.T., Nair V., Giuliani G., Turuncoglu U.U., Cozzini S., Güttler I., O'Brien T.A., Tawfik A.B., Shalaby A., Zakey A.S., Steiner A.L., Stordal F., Sloan L.C., Brankovic C.* 2012. RegCM4: Model Description and Preliminary Tests over Multiple CORDEX Domains // *Climate Research*. Vol. 52. P. 7-29.
- Khan V.M., Vil'fand R.M., Tishchenko V.A., Emelina S.V., Gritsun A.S., Volodin E.M., Vorobyeva V.V., Tarasevich M.A.* 2023. Assessment of Changes in the Temperature Regime of Northern Eurasia for the Next Five Years According to the INM RAS Earth System Model Forecasts and Their Possible Consequences for Agriculture // *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 48. P. 745-754.
- Lagutin A.A., Volkov N.V., Makushev K.M., Mordvin E.Yu.* 2017. The Global Climate Change Effect on the Altai Region's Climate in the First Half of XXI Century // *Proceedings of SPIE, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. Vol. 10466. No. 104666R.
- Lagutin A.A., Volkov N.V., Makushev K.M., Mordvin E.Yu.* 2016. Validation of the RegCM4/CLM4.5 Regional Climate Modeling System over the Western Siberia // *Proceedings of SPIE, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. Vol. 10035. No. 100356P.
- O'Neill B.C., Tebaldi C., van Vuuren D.P., Eyring V., Friedlingstein P., Hurtt G., Knutti R., Kriegler E., Lamarque J.-F., Lowe J., Meehl G.A., Moss R., Riahi K., Sanderson B.M.* 2016. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6 // *Geoscientific Model Development*. Vol. 9. P. 3461-3482.
- The IPCC Finalized the First Part of the Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis, the Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report on 6 August 2021 during the 14th Session of Working Group I and 54th Session of the IPCC [Электронный ресурс https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf (дата обращения 21.02.2024)].
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices // *Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2*. Geneva.) / Eds. M. Svoboda, B.A. Fuchs [Электронный ресурс https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf (дата обращения 12.02.2024)].

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 504.453; 556.18; 911.2

ТЕНДЕНЦИИ МИНИМАЛЬНОГО ЗИМНЕГО РЕЧНОГО СТОКА
НА ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН

© 2024 г. В.Г. Маргарян*, Е.В. Гайдукова**, Г.Д. Аветисян***

**Ереванский государственный университет*

Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Алека Манукяна, д. 1. Email: vmargaryan@ysu.am

***Российский государственный гидрометеорологический университет*

Россия, 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский просп., д. 98. Email: oderiut@mail.ru

****Институт геологии НАН Армении, ГИС лаборатория*

Республика Армения, 0019, г. Ереван, пр. Маршала Баграмяна, д. 24А

Email: avetisyangorik@gmail.com

Поступила в редакцию 05.03.2023. После доработки 11.04.2024. Принята к публикации 12.04.2024.

Работа посвящена оценке особенностей распределения пространственно-временных изменений характеристик минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна озера Севан. Проблема пространственно-временных изменений речного минимального стока особенно актуальна для регионов с недостаточным и неустойчивым увлажнением, таких как бассейн оз. Севан, большая часть которого расположена в пределах степной зоны.

Цель настоящей работы – обобщить современные представления о влиянии изменения климата на характеристики минимального 30-суточного зимнего стока рек на основе собственных исследований авторов, проанализировать и оценить пространственно-временную изменчивость многолетних колебаний и выявить нестационарность в рядах минимального зимнего стока.

Определены характеристики минимального стока, изучены их пространственно-временные изменения, обнаружены даты нарушений однородности в рядах многолетних наблюдений за стоком. С помощью статистических параметров и разностных интегральных кривых произведена оценка репрезентативности временных рядов минимальных 30-суточных зимних расходов воды по 12 створам за период инструментальных наблюдений. Выявлена нестационарность в рядах минимального зимнего стока Севанского бассейна, определены даты смены стационарных режимов. Для большинства проанализированных водосборов изменения имеют статистически значимый характер.

Приведены карты даты нарушения стационарности рассматриваемых рядов на основе информации до 2021 г., карта распределения модуля минимального 30-суточного стока за зимний период, карты о характере изменения минимального 30-суточного зимнего стока.

Показано, что изменения минимального 30-суточного зимнего стока имеют разнонаправленный характер, но в основном для минимального 30-суточного зимнего стока в среднем по территории бассейна оз. Севан в последние десятилетия проявляется тенденция к увеличению, связанная с ростом температуры воздуха и поверхности почвы. Для некоторых проанализированных водосборов изменения имеют статистически незначимый характер. На территории бассейнов р. Варденис, Личк и Бахтак в среднем на 20-30% уменьшается минимальный 30-суточный зимний сток, что приведет к росту экологического риска, требующего принятия соответствующих мер.

Полученные статистические материалы послужат основой для научных обобщений исследований по рассматриваемой территории, а также могут быть использованы для практических целей при гидротехническом проектировании, оценке природных угроз и при принятии соответствующих превентивных решений.

Ключевые слова: бассейн озера Севан, зимняя межень, минимальный 30-суточный расход воды, интегральные и разностно-интегральные кривые, даты нарушения стационарности, нестационарность рядов, климатические изменения.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-16-27

EDN: ANCXOW

Многочисленные исследования (Маргарян, 2020; Маргарян, Фролова, 2021; Margaryan, 2021; Abbas et al., 2022) свидетельствуют о современных изменениях климата и влиянии их на сток рек, в т.ч. на зимний минимальный сток, а также на водный режим зимнего меженного периода. В настоящее время концепция стационарности многолетних колебаний стока подвергается сомнениям в связи с усилившимися в последние десятилетия процессами глобального потепления (Фролова и др., 2022). Потепление вызвало изменение механизма формирования минимального стока за счет перераспределения стока из поверхностного в подземный: интенсивное снеготаяние в период половодья замещается медленной отдачей воды из снега в периоды зимней оттепели, что сокращает сток половодья, увеличивает питание подземных вод и тем самым увеличивает как базовый сток, так, соответственно, и сток зимней и летней межени (Болгов и др., 2014б; Джамалов и др., 2017а, б).

Поэтому разработка и принятие решений по адаптации водохозяйственного комплекса к изменению климата должны быть обеспечены надежной информацией о влиянии происходящих и прогнозируемых изменений климата на водные ресурсы и минимальный сток речных бассейнов Армении.

Характеристики минимального стока используются в разных секторах экономики: гидроэнергетике, биотехнологии, водном транспорте, строительном проектировании, сельском хозяйстве, мелиорации и рыбном хозяйстве. В связи с происходящими климатическими изменениями становится актуальной проблема оценки последствий этих изменений для водозависимых отраслей экономики (Гайдукова, 2015). Минимальный речной сток является наиболее чувствительной характеристикой водных объектов к изменению внешних воздействий (Сенцова, 2011). В настоящее время становится очевидным, что происходящие изменения климата в ряде регионов привели к существенным колебаниям водного режима рек зимнего меженного периода и характеристик минимального стока. Для современного водного режима характерна тенденция сокращения доли весеннего стока и увеличения доли стока маловодных периодов, которая приводит к выравниванию годового гидрографа (Болгов и др., 2014а; Георгиади и др., 2016; Джамалов и др., 2015; Дмитриева, Нефедова, 2018; Магрицкий и др., 2018; Сивохиц и др., 2018, 2019, 2021; Фролова и др., 2010; Sivokhip et al., 2017). Основной чертой современных изменений является увеличение водности в меженные периоды, особенно в зимние месяцы (Сивохиц, Павлейчик, 2020; Дмитриева, Маскайкина, 2013; Титкова, 2019; Титкова и др., 2023; Фролова и др., 2020; Dzhamalov et al., 2015; Kalugin, 2022). Аналогичная ситуация наблюдается и для зимнего минимального стока (Джамалов и др., 2017а, б; Коробкина и др., 2020; Лешан, 2020; Сивохиц и др., 2021; Сивохиц, Павлейчик, 2020, Kireeva et al., 2016; Smith et al., 2007).

Изучение режима рек зимнего меженного периода и определение научно обоснованных расчетных характеристик минимального стока имеет большое значение для правильного и наиболее эффективного использования вод в ряде отраслей хозяйства (Попенко, 1958). В зависимости от целей водохозяйственных расчетов применяются также величины 7 и 10-дневных минимальных расходов воды (Волчек, Грядунова, 2010).

Выявление особенностей происходящих пространственно-временных колебаний характеристик минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна оз. Севан является целью данной статьи.

Основу актуальности данной работы составляет проведение уточнения гидрологических характеристик минимального стока основных рек, как одного из лимитирующих факторов при использовании воды оз. Севан. Бассейн озера выделяется в Армении своей экологической, экономической, социальной и стратегической важностью с интенсивным водопользованием. Незакономерное и неосторожное использование озера Севан привело к значительному сокращению водных ресурсов. Годовой сток из озера в р. Раздан сейчас составляет около 414 млн. м³. Оценка перспектив использования водных ресурсов в таких районах – сложная комплексная задача, связанная как со сценариями развития водопотребляющих отраслей экономики, так и с необходимостью учета изменений, происходящих в гидрологическом климатической системе. Подобные изменения, сказывающиеся на условиях формирования стока, способны приводить к существенной трансформации водного режима.

Минимальный сток как наименьший по величине сток, наблюдающийся в межень, является важнейшим показателем гидрологического режима в теории формирования и использования водных ресурсов, т.е. относится к категории основных расчетных гидрологических параметров.

Материалы и методы

В исследовании использованы имеющиеся материалы, полученные в государственной наблюдательной гидрологической сети «Центра гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения по 2021 г. включительно, а также материалы исследований научных организаций и другие источники информации, находящиеся в открытом доступе.

Использовались данные многолетних наблюдений за стоком на 12 гидрологических постах рек бассейна озера Севан с продолжительностью наблюдений более 40 лет (до 2021 г.) и минимальным числом пропусков в наблюдениях, посты замыкают площади водосбора от 20.4 до 673 км².

Для расчетов используют минимальные среднесуточные, среднемесячные или 30-суточные (не календарные) расходы воды, наблюдавшиеся в зимний и/или летне-осенний сезоны. Среднемесячные минимальные расходы используют, если они не превышают 30-суточные более чем на 10%, в противном случае применяют средние расходы воды за 30 непрерывных суток с наименьшим стоком в рассматриваемом сезоне. При частых паводках и коротких межпаводочных периодах 30-суточный период допускается сокращать до 24 суток, чтобы максимально избежать включения паводковых вод в период минимального стока. Минимальный суточный расход воды обычно совпадает с 30-суточным (среднемесячным) периодом минимального стока. Однако на реках с частыми паводками их сроки могут значительно различаться (СП 33-101-2003, 2004).

Минимальный 30-суточный (некалендарный) сток определяется следующим образом. За каждый год по гидрографу стока или по таблице ежедневных расходов воды определяется участок с наименьшими расходами воды продолжительностью 30 суток и подсчитывается средний расход за выбранный период. Минимальные 30-суточные расходы меньше или равны средним месячным календарным расходам (Владимиров, 1984; Пособие ..., 1984).

Определение характеристик наиболее маловодного 30-суточного периода выполнено по гидрографам, построенным по средним суточным расходам воды. Минимальный 30-суточный (некалендарный) сток определялся следующим образом. За каждый год по гидрографу или по таблице ежедневных расходов воды определялся участок с наименьшими значениями продолжительностью 30 суток и подсчитывался средний расход за выбранный период. Этот 30-суточный период являлся непрерывным.

Отрезок времени от 1 до 30 суток внутри межлетнего периода, когда наблюдаются наименьшие расходы воды, называют периодом минимального стока (Волчек, Грядунцова, 2010).

Для оценки происходящих изменений водного режима рек по данным наблюдений использовано два основных подхода: сравнение средних значений или показателей изменчивости характеристик стока за современный период с соответствующими величинами предшествующего (базового) периода и выявление линейного тренда в данных наблюдений рассматриваемой характеристики стока. В основе обоих подходов лежит допущение о происходящем однонаправленном изменении характеристик стока под влиянием глобального потепления (Фролова и др., 2022).

Все имеющиеся ряды проанализированы на однородность и стационарность. Статистическая однородность рядов наблюдений относительно базового периода оценивается параметрическими тестами (Фишера, Стьюдента и др.) или непараметрическими тестами (Манна-Уитни и др.). Для оценки значимости трендов используются стандартные статистические тесты, основанные на оценке значимости коэффициента корреляции Пирсона или коэффициентов ранговой корреляции.

Для визуального анализа однородности и стационарности ряда также строились хронологические графики многолетних колебаний исследуемой характеристики. Хронологические графики, интегральные (суммарные) и разностные интегральные кривые (РИК) в совокупности со статистическим анализом рядов дают возможность проанализировать изменения в рядах наблюдаемых величин стока рек бассейна оз. Севан и определить даты перехода к новым условно стационарным состояниям.

Результаты территориального обобщения изменений 30-суточных минимальных расходов воды зимней межени представлены в виде тематических цифровых карт, подготовленных в ArcGIS.

Применялись методы статистического анализа данных, гидрологических расчетов, а также методы обработки и дешифрирования спутниковой информации.

Результаты и обсуждение

Определены количественные характеристики 30-суточных минимальных расходов воды зимней межени в среднем за многолетний период исследуемого района (табл. 1). Определение этих характеристик имеет большое значение при назначении минимально допустимых расходов воды, оставляемых в реках при осуществлении водозабора и эксплуатации водохранилищ, при расчете предельных величин сбросных расходов воды.

Таблица 1. Характеристики минимального 30-суточного расхода воды зимней межени за весь период наблюдений.

Река	Наблюдательный пункт	Период наблюдений	Наименьший за 30 сут.			Наименьший за сутки	
			начало	окончание	средний расход, м ³ /с	дата	средний расход, м ³ /с
Дзыкнагет	Цовагюх	1936-39, 1941-45, 1947-2021	03/01	01/02	0.17	17/01	0.15
Драхтик	Драхтик	1958-63, 1972-92, 1998-2021	02/01	01/02	0.065	17/01	0.056
Памбак	Памбак	1947-50, 1952-53, 1955-68, 1970-89, 1998-2021	10/01	08/02	0.075	20/01	0.067
Масрик	Цовак	1953-2021	05/01	03/02	2.36	16/01	2.15
Карчахпюр	Карчахпюр	1952-63, 1965-95, 1998-2021	04/01	02/02	0.90	13/01	0.84
Ваденис	Варденик	1935-38, 1940-43, 1945-46, 1949-95, 1998-2021	10/01	08/02	0.54	21/01	0.45
Мартуни	Геховит	1963-2021	09/01	06/02	0.66	19/01	0.57
Аргичи	Геташен	1935-2021	04/01	02/02	2.20	14/01	1.95
Цахкашен	Вагашен	1971-99, 2005-2021	09/12	07/01	0.49	17/12	0.45
Личк	Личк	1960-62, 1976-95, 1998-2021	21/01	19/02	1.58	02/02	1.48
Бахтак	Цаккар	1951-2021	20/12	18/01	0.16	01/01	0.11
Гаварагет	Норатус	1936-42, 1944, 1947-48, 1950, 1952-92, 1998-2021	04/01	02/02	2.77	15/01	2.63

Как видно из таблицы 1, исходя из физико-географических локальных особенностей, минимальные 30-суточные зимние расходы воды рек бассейна оз. Севан выделяются по бассейну неравномерным пространственным распределением. На изучаемой территории минимальные 30-суточные зимние расходы колеблются в пределах от 0.065 м³/сек (р. Драхтик – п. Драхтик) до 2.77 м³/сек (р. Гаварагет – п. Норатус). На отдельных реках бассейна озера (имеющие сравнительно маленький водосборный бассейн и большую среднюю уравнивающую высоту) из-за незначительного грунтового стока и низких зимних температура вода иногда замерзает и сток отсутствует.

Минимальный 30-суточный зимний сток устанавливается преимущественно в первой половине января и заканчивается в первой половине февраля. Наименьшие расходы за сутки в зимний период наблюдаются в январе-феврале. С высотой наблюдается сдвиг периодов установления и окончания в сторону более ранних периодов. Так, у р. Цахкашен – п. Вагашен (средняя высота водосбора – 2570 м н.у.м. БС) минимальные 30-суточные зимние стоки в среднем регистрируются с 9 декабря и заканчиваются 7 января.

Для визуализации и анализа распределения полученных величин минимальных 30-суточных расходов воды построены карты с использованием ГИС-технологий (рис. 1). С высотой обычно растет модуль минимального 30-суточного зимнего стока. Однако в бассейне озера некоторые отклонения от этих закономерностей наблюдаются на посту Личк р. Личк – 45.7 л/(сек·км²). Полученную карту можно использовать для предварительных расчетов минимального 30-суточного зимнего стока неизученных рек рассматриваемой территории.

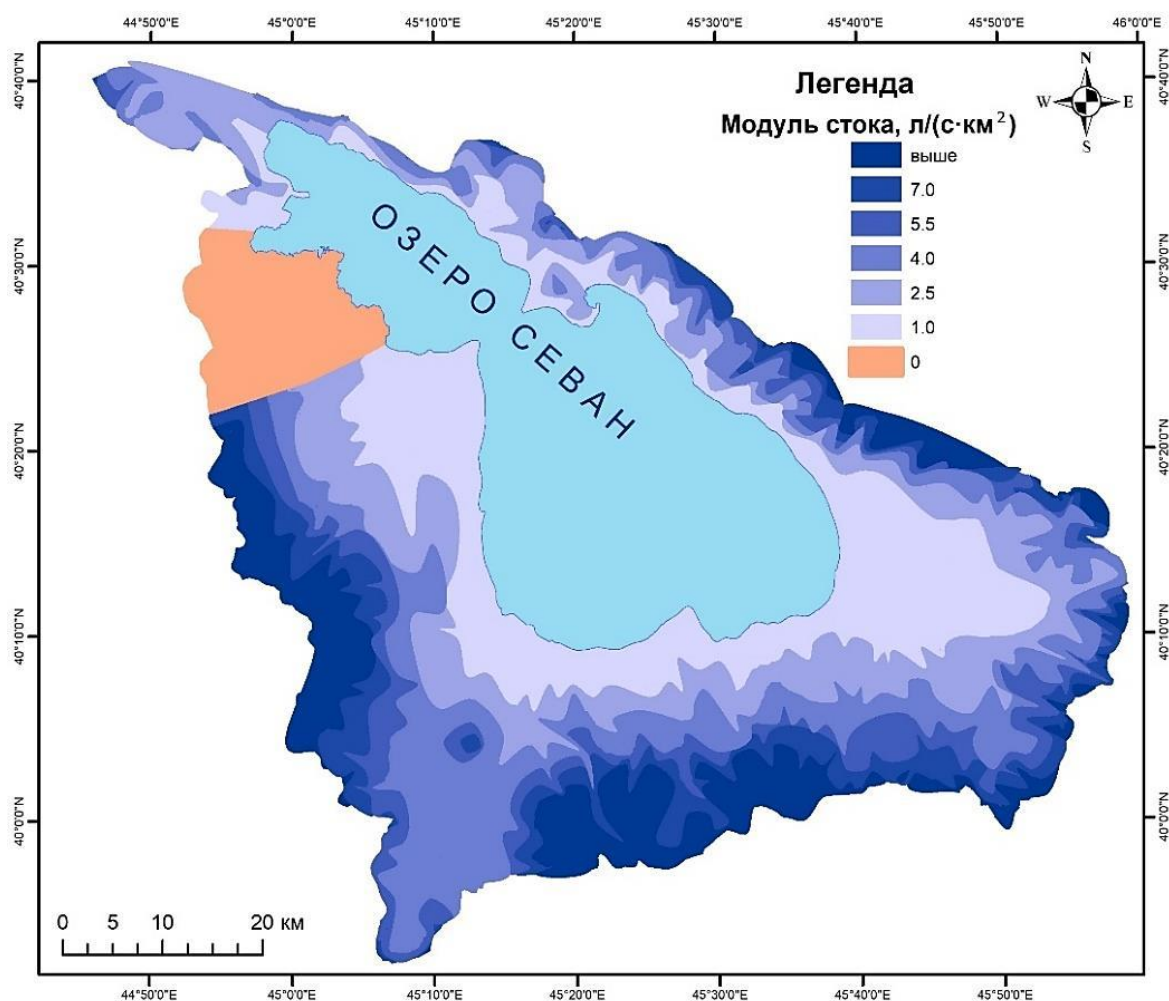


Рис. 1. Пространственное распределение среднемноголетнего модуля минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна оз. Севан.

Минимальные 30-суточные расходы меньше или равны средним месячным расходам воды. На рисунке 2 на примере р. Аргичи, замыкающей створ Геташен, графически представлены тесные линейные регрессионные связи между характеристиками минимального стока за период осенне-зимней межени: взаимосвязи наименьших за 30 суток расходов воды со средними месячными расходами воды (рис. 2а), с минимальными средними месячными расходами воды (рис. 2б) и с минимальными средними декадными (10-суточными) расходами воды (рис. 2г); взаимосвязь наименьших за сутки расходов воды и минимальных средних месячных расходов воды (рис. 2в). Полученный результат в данном случае можно использовать для прогнозирования минимального 30-суточного стока р. Аргичи.

Получены минимальные 30-суточные расходы воды зимней межени различной обеспеченности (табл. 2).

Основное применение в практике водохозяйственного и строительного проектирования находят величины минимального стока большой обеспеченности в диапазоне от 75 до 97%, характеризующие годы с маловодной меженью сравнительно редкой повторяемости (Волчек, Грядунова, 2010; Георгиевский, 2015). По величине минимального 30-суточного стока 80% обеспеченности анализируются оценки степени опасности маловодий. При оценке наихудших условий для формирования качества воды обычно используется минимальный сток 95% обеспеченности (средняя повторяемость 1 раз в 20 лет), что является достаточно произвольным условием, требующим дифференциации в зависимости от тяжести негативных экологических и санитарно-технических последствий. При изучении минимальных суточных расходов воды за зимний период различной

обеспеченности в рассматриваемых реках закономерно подтверждается уменьшение расхода при увеличении процента обеспеченности. Так, для р. Гаварагет – п. Норатус при 75% обеспеченности значение расхода составляет 2.51 м³/с, а при 99% – 1.95 м³/с.

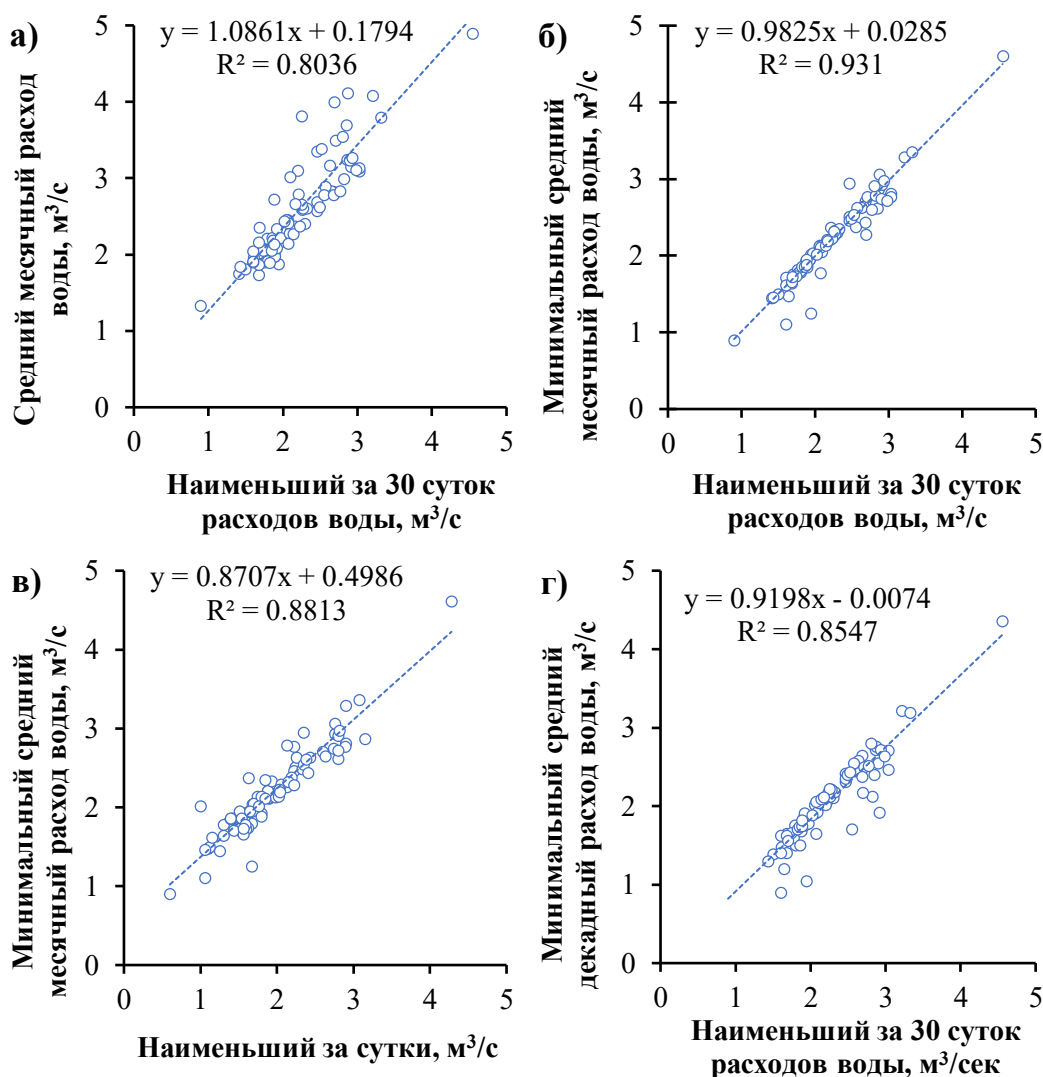


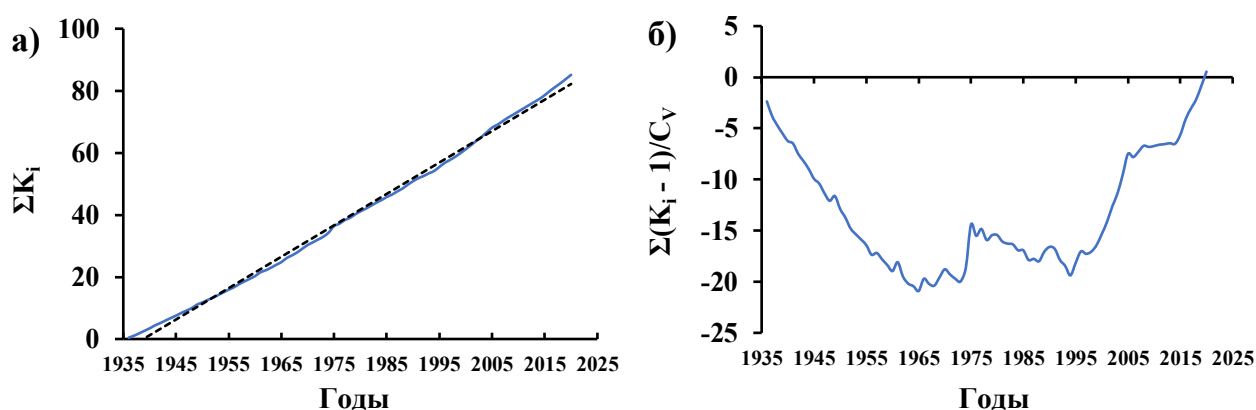
Рис. 2. Регрессионная связь между характеристиками минимального стока за период зимней межени, р. Аргичи – п. Геташен.

Все полученные ряды минимальных или 30-суточных зимних расходов воды оценивались на репрезентативность. Для этой цели производился анализ разностных интегральных кривых модульных коэффициентов минимальных суточных расходов периода зимней межени в расчетных створах. Резкое изменение угла наклона интегральных кривых характеризует начало изменения водного режима. Результаты графического анализа подтверждаются информацией об изменении условий формирования водного режима на водосборе и в русле.

Анализ рядов среднего минимального 30-суточного стока за зимний период рек бассейна показал, что в рядах имеется статистически подтвержденное нарушение стационарности. Это наглядно видно на временных графиках – суммарных (интегральных) и РИК зимнего минимального 30-суточного стока (рис. 3). Разностные интегральные кривые наглядно демонстрируют смену периодов пониженного и повышенного стока, которые могут происходить и вследствие климатических изменений, приводящих к нарушению стационарности в рядах (Коробкина и др., 2020; Волчек, Грядунова, 2010; Сивохиц и др., 2019).

Таблица 2. Минимальные 30-суточные расходы воды рек бассейна оз. Севан различной обеспеченности.

Река – пункт	Расход воды обеспеченностью %, м ³ /сек				
	75	80	90	95	99
Р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	0.123	0.118	0.111	0.108	0.106
Р. Драхтик – п. Драхтик	0.040	0.037	0.030	0.025	0.018
Р. Памбак – п. Памбак	0.061	0.058	0.052	0.047	0.040
Р. Масрик – п. Цовак	2.08	2.00	1.801	1.64	1.33
Р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	0.843	0.819	0.754	0.705	0.615
Р. Ваденис – п. Варденик	0.467	0.439	0.366	0.305	0.191
Р. Мартуни – п. Геховит	0.527	0.499	0.423	0.365	0.262
Р. Аргичи – п. Геташен	1.82	1.75	1.60	1.49	1.32
Р. Цахкашен – п. Вагашен	0.412	0.394	0.345	0.305	0.229
Р. Личк – п. Личк	1.19	1.12	0.971	0.866	0.712
Р. Бахтак – п. Цаккар	0.083	0.070	0.043	0.027	0.009
Р. Гаварагет – п. Норатус	2.52	2.46	2.28	2.12	1.83

**Рис. 3.** Интегральные и разностно-интегральные кривые зимнего минимального 30-суточного стока, р. Аргичи – п. Геташен.

При обработке полученных результатов отмечено, несмотря на визуальное совпадение хода РИК, для большинства анализируемых рек дата перелома варьирует в пределах 5-6 лет вокруг некоторых условно средних дат – 1980 и 1990 года (рис. 4). Это говорит о том, что при наблюдающейся в целом синхронности многолетних колебаний минимального стока мы имеем дело с неодинаковым откликом водосборов на изменения климатических характеристик.

За базовый период принимался период до года нарушения рядов наблюдений. Например, согласно рисунку 4, базовым периодом в бассейне р. Дзорагет считаются 1936-1995 годы. И поэтому изменения минимального 30-суточного зимнего стока относительно базового периода означают отношение 1936-1995 и 1996-2021 гг. периода 30-суточного зимнего стока.

Анализируя результаты определения года перелома в рядах минимального 30-суточного стока отметим, что доля постов, для которых это произошло при вероятности ошибки при отвержении нулевой гипотезы $p < 10\%$, для региона составляет 85%. Таким образом, нарушение стационарности для значительной части постов статистически достоверно.

В целом для минимального 30-суточного зимнего стока наблюдается постепенная тенденция к увеличению его значений. Но изменения этого вида стока имеют разнонаправленный характер. Это отмечается во всех наших работах, посвященных данному региону (Маргарян и др., 2020а, 2020б; Маргарян, Фролова, 2021; Margaryan et al., 2020).

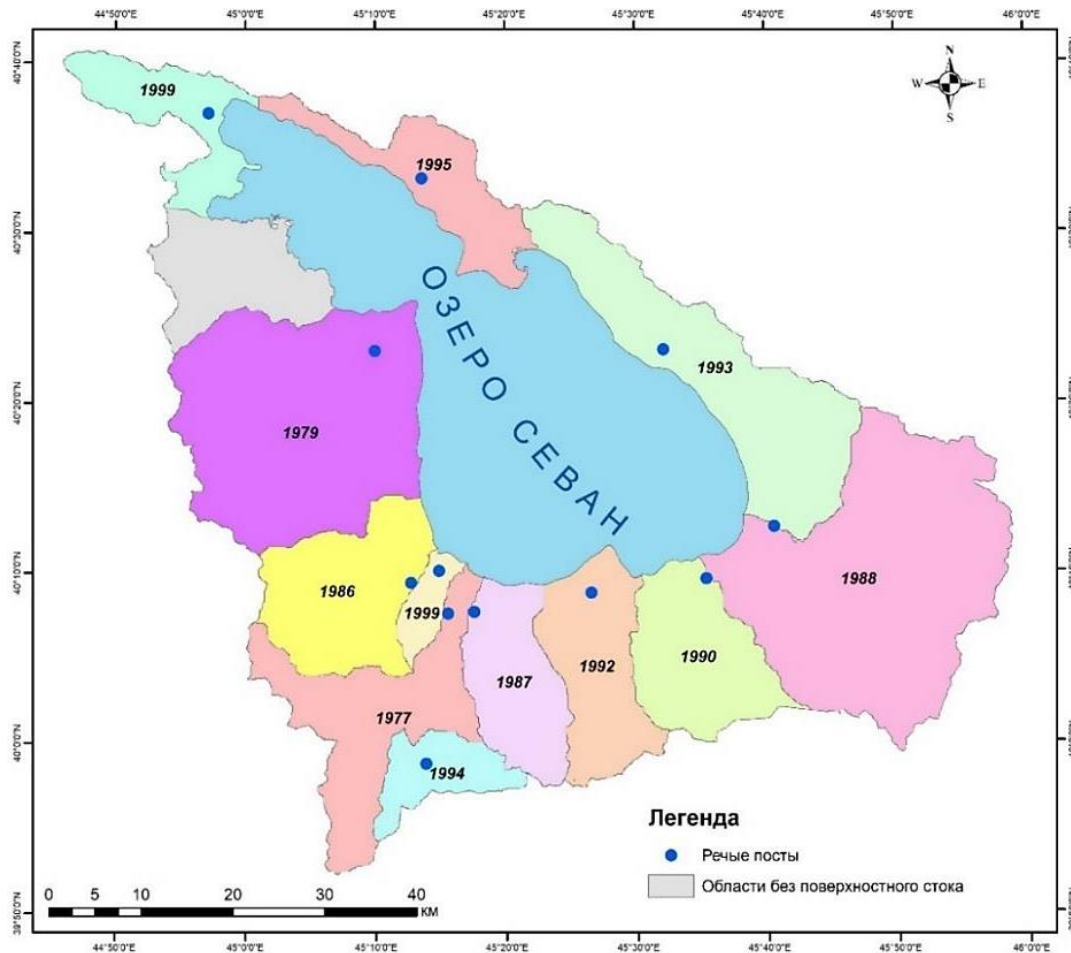


Рис. 4. Распределение даты нарушения стационарности в рядах минимального 30-суточного стока по территории бассейна оз. Севан за зимний период.

Изменения минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна оз. Севан представлены картой, которая дает визуальное представление о его увеличении на всей исследуемой территории (рис. 5а). Наибольшее увеличение стока (45.4%) отмечается у р. Драхтик. Для большинства анализируемых рек бассейна оз. Севан наблюдается ярко выраженное увеличение минимального 30-суточного зимнего стока на 20-50% относительно базисного периода. На р. Масрик, Мартуни, Цахкашен и Гаварагет увеличение минимального 30-суточного зимнего стока рек достигает 10% относительно базисного периода. На водосборе р. Карчакпюр эти изменения составляют 10-20%. Тенденция увеличения минимальных 30-суточных расходов воды меженного периода является благоприятным явлением, в первую очередь это связано с тем, что минимальные расходы необходимы для обеспечения водой промышленных предприятий, для водоснабжения и увеличения самоочищающей способности рек.

На территориях бассейнов р. Варденис, Личк и Бахтак в среднем на 20-30% уменьшается минимальный сток 30-суточного зимнего стока. К рекам, где наблюдается тенденция уменьшения минимального стока, должно быть особое внимание, так как это приведет к росту экологического риска, и необходимо предпринять соответствующие мероприятия, чтобы сохранился экологический сток рек.

К основной причине данной трансформации можно отнести существенный многолетний рост значений приземной температуры воздуха в холодный сезон с закономерным увеличением частоты оттепелей и расходов воды зимней межени (Джамалов и др., 2017б; Закономерности ..., 2012). Наблюдаемые гидрофизические процессы приводят к увеличению естественных (возобновляемых) ресурсов подземных вод (Джамалов и др., 2017а), росту потерь талого стока на инфильтрацию по сравнению с предыдущими десятилетиями (Джамалов и др., 2016).

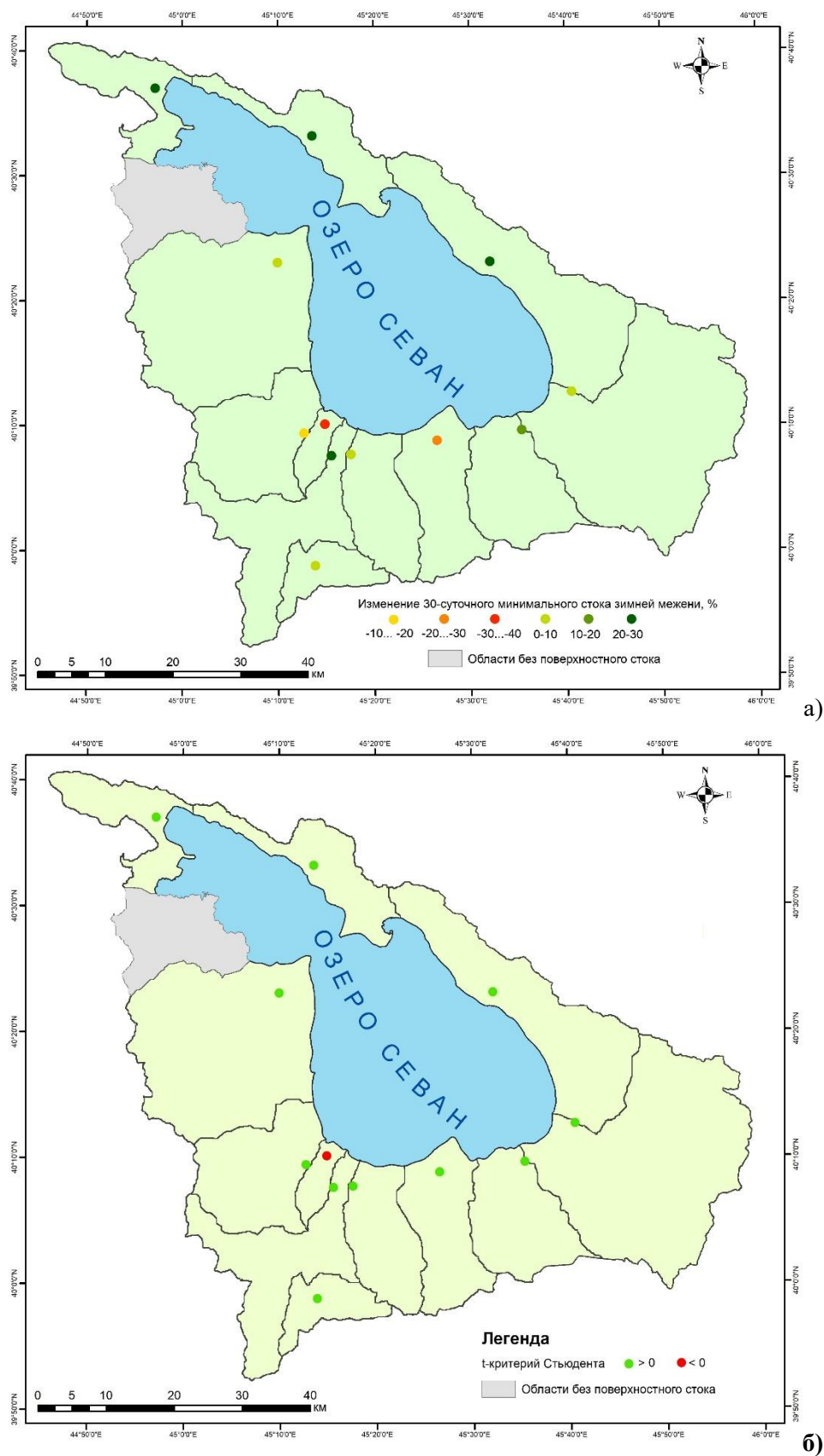


Рис. 5. Изменения минимального 30-суточного зимнего стока относительно базисного периода (а) и оценка его статистической значимости по критерию Стьюдента для p -value < 5% (б), бассейн оз. Севан.

Таким образом, повышение минимальных 30-суточных зимних расходов воды обусловлен возрастающим питанием грунтовых вод за счет роста частоты и продолжительности оттепелей, смягчением температурного режима зим (рис. 6). Тем самым создаются благоприятные условия для повышения запасов грунтовых вод и прироста доли подземного стока в питании рек (Георгиевский, Шалыгин, 2012), уменьшению глубины промерзания зоны аэрации и сокращению запасов воды в снежном покрове (Титкова, 2019), снижению интенсивности сезонного промерзания почвы (Smith et al., 2007).

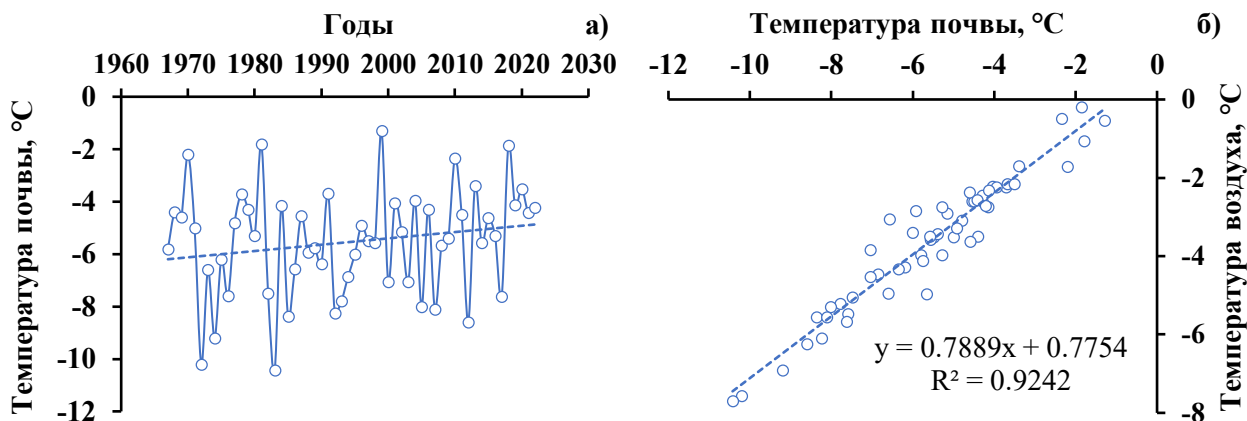


Рис. 6. Изменения среднемесячных температур почвы (а), связь между величинами среднемесячных температур почвы и воздуха (б) за зимний период на метеостанция Гавар.

Выводы

В процессе выполнения настоящей работы были получены основные результаты.

- Создана информационная база характеристик минимального стока рек, среднемесячных температур почвы и воздуха за зимний период. Составленная информационная база содержит максимум накопленной информации, позволяющий даже в условиях недостаточной гидрологической изученности территории выполнить задачи по исследованию основных гидрологических характеристик.

- Дана количественная оценка минимальных 30-суточных зимних расходов воды рек, среднемесячных зимних температур почвы и воздуха по метеостанциям бассейна оз. Севан в современных условиях. Для большинства исследуемых рек отмечается стабильная тенденция увеличения минимальных зимних расходов воды относительно базисного периода. Наибольшие изменения произошли на территории бассейна р. Драхтик, наименьшие – в бассейне р. Карчахпюр. Это необходимо учитывать при разработке схем управления водными ресурсами.

- Установлено нарушение стационарности рядов среднего минимального 30-суточного стока за зимний период рек бассейна оз. Севан. Анализ показал, что в рядах имеется статистическая нестационарность – дата перелома варьирует в пределах 5-6 лет вокруг некоторых условных средних дат – 1980 и 1990 года.

- При наблюдающейся в целом синхронности многолетних колебаний минимального стока заметен неодинаковый отклик водосборов на изменения климатических характеристик. Выявлено, что для большинства анализируемых рек бассейна оз. Севан наблюдается ярко выраженное увеличение минимального 30-суточного зимнего стока. На р. Масрик, Мартуни, Цахкашен и Гаварагет минимальный 30-суточный зимний сток увеличился в пределах 0-10% относительно базисного периода, на р. Карчахпюр – на 10-20%, на реках Дзыкнагет, Драхтик, Памбак, Аргичи – на 20-50%. На остальных р. Варденис, Бахтак, Личк наблюдается в среднем уменьшение минимального 30-суточного зимнего стока на 19-32% относительно базисного периода. Нарушение стационарности в рядах происходит вследствие климатических изменений.

- Полученные статистические материалы характеристики среднемноголетних значений минимальных 30-суточных расходов воды зимней межени и значения минимальных 30-суточных расходов воды различной обеспеченности за период инструментальных наблюдений послужат

основой для научных обобщений исследований по рассматриваемой территории, могут быть использованы для водохозяйственного проектирования и при разработке водоохранных мероприятий, при оценке природных угроз и при принятии соответствующих превентивных решений.

- Факт нарушения стационарности для большинства рядов минимального 30-суточного стока рек на территории изучаемого бассейна оз. Севан, относящийся к разным годам, имеет генетическое обоснование. Существенные изменения минимального 30-суточного зимнего стока рек бассейна оз. Севан охватывают значительные территории. Смена фазы пониженной водности фазой повышенной водности на реках бассейна оз. Севан произошла ориентировочно в 1980 и 1990 гг. в разных частях бассейна с разными физико-географическими условиями.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке Республики Армения в рамках научного проекта 21Т-1Е215 «Гидроэкологическая оценка характеристик зимнего меженного стока рек, впадающих в озеро Севан».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А.* 2014а. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология. № 3. С. 75-85.
- Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А.* 2014б. Современные изменения климатических характеристик и вероятностная оценка изменений минимального стока в бассейне реки Волги // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. № 3. С. 83-99.
- Владимиров А.М.* 1984. Минимальный сток СССР. Л.: Гидрометеиздат. 215 с.
- Волчек А.А., Грядунова О.И.* 2010. Минимальный сток рек Беларуси. Монография. Брест: Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина. 169 с.
- Гайдукова Е.В.* 2015. Влияние сценарных климатических факторов на минимальный сток // Universum: Технические науки: электронный научный журнал. № 11 (22). 13 с. [Электронный ресурс <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2774> (дата обращения 03.02.2024)].
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Каишутина Е.А., Барабанова Е.А.* 2016. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона // Фундаментальная и прикладная климатология. № 2. С. 55-78.
- Георгиевский В.Ю.* 2015. Научно-прикладной справочник основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В. 236 с.
- Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л.* 2012. Гидрологический режим и водные ресурсы // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет. С. 53-85.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л.* 2017а. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС. 205 с.
- Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А.* 2017б. Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // Водные ресурсы. Т. 44. № 6. С. 603-611.
- Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Бугров А.А., Григорьев В.Ю., Киреева М.Б., Рец Е.П., Сафронова Т.И., Телегина А.А., Телегина Е.А.* 2016. Оценка возобновляемых водных ресурсов Европейской части России и пространственно-временной анализ их распределения // Водное хозяйство России. № 4. С. 18-31.
- Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А.* 2015. Изменение зимнего стока рек Европейской части России // Водные ресурсы. Т. 42. № 6. С. 581-588
- Дмитриева В.А., Маскайкина С.В.* 2013. Изменчивость водного режима в верховьях Донского бассейна в современный климатический период // Вестник ВГУ. Серия «География. Геоэкология». № 1. С. 17-21.
- Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г.* 2018. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона // Вопросы географии. Сб. 145: Гидрологические изменения. С. 285-297.
- Закономерности гидрологических процессов. 2012 / Ред. Н.И. Алексеевский. М.: ГЕОС. 736 с.
- Коробкина Е.А., Филиппова И.А., Харламов М.А.* 2020. Оценка стока в бассейне р. Дон: необходимость смены парадигмы гидрологических расчетов // Водные ресурсы. Т. 47. № 6. С. 663-673.
- Лешан И.Ю.* 2020. Изучение минимального стока малых и средних рек как значимого гидрологического показателя (на примере р. Чермасан) // «CHRONOS» Естественные и технические науки. № 5 (33). С. 10-13.
- Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С.* 2018. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 1. С. 90-101.
- Маргарян В.Г.* 2020. Временные изменения зимнего минимального декадного стока рек бассейна озера Севан // Украинский географический журнал. № 3(111). С. 20-29.
- Маргарян В.Г., Аветисян Г.Д., Поляков А.В.* 2020а. Закономерности пространственно-временного распределения зимнего минимального декадного стока рек бассейна озера Севан // Известия ТулГУ. Науки

о Земле. Вып. 1. С. 92-108.

- Маргарян В., Клименко К., Ткаченко Т.* 2020б. Пространственно-временная изменчивость зимнего минимального месячного стока в реках бассейна озера Севан (Армения) // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Серия «Геология. География. Экология». № 52. С. 182-192.
- Маргарян В.Г., Фролова Н.Л.* 2021. Оценка пространственно-временной изменчивости зимнего минимального декадного стока рек бассейна озера Севан в условиях современного изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 1. С. 97-108.
- Попенко Л.К.* 1958. К вопросу о минимальном стоке рек Карелии // Известия Карельского и Кольского филиалов АН СССР. № 3. С. 46-56.
- Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. 1984. Л.: Гидрометеиздат. 444 с.
- Сенцова И.И.* 2011. Оценка минимального речного стока в бассейне верхней Волги в условиях изменения климата // Природообустройство. № 5. С. 76-80.
- Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М.* 2020. Современные тенденции внутригодового распределения речного стока в бассейне реки Урал // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». Т. 33. С. 112-123.
- Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М., Падалко Ю.А.* 2021. Изменение минимального стока в бассейне реки Урал // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 85 (6). С. 900-913.
- Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилев А.А.* 2019. Изменения водного режима рек бассейна реки Урал // Доклады Академии наук. Т. 488. № 5. С. 545-549.
- Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилев А.А., Падалко Ю.А.* 2018. Современные изменения водного режима рек бассейна р. Урал // Вопросы географии. Сб. 145: Гидрологические изменения. С. 298-313.
- СП 33-101-2003. 2004. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. 75 с. [Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/1200035578> (дата обращения 03.02.2024)].
- Титкова Т.Б.* 2019. Изменение климатических условий формирования зимнего стока в бассейне верхнего Дона по спутниковым и наземным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16. № 1. С. 147-157.
- Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А.* 2023. Современные климатические тенденции изменений испарения и влажности почвы на юге европейской России // Аридные экосистемы. Т. 29. № 3 (96). С. 4-14. [Titkova T.B., Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. 2023. Current Climatic Trends in Evaporation and Soil Moisture Changes in the South of European Russia // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 3. P. 239-247.]
- Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Харламов М.А., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Лурье И.К.* 2020. Картографирование современного состояния и трансформации водного режима рек Европейской территории России // Геодезия и картография. Т. 81. № 7. С. 14-26.
- Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И.* 2022. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых Изменениях климата: обзор публикаций. 1: Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. Т. 49. № 3. С. 251-269.
- Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В.* 2010. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 6. С. 8-16.
- Abbas M., Zhao L., Wang Y.* 2022. Perspective Impact on Water Environment and Hydrological Regime Owing to Climate Change: A Review // Hydrology. No. 9 (11). P. 203.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Telegina E.A.* 2015. Winter Runoff Variations in European Russia // Water Resources. Vol. 42. No. 6. P. 758-765.
- Kalugin A.* 2022. Hydrological and Meteorological Variability in the Volga River Basin under Global Warming by 1.5 and 2 Degrees // Climate. Vol. 10 (7). P. 107.
- Kireeva M.B., Frolova N.L., Winde F., Dzhamalov R.G., Rets E.P., Povalishnikova E.S., Pahomova O.M.* 2016. Low Flow on the Rivers of the European part of Russia and Its Hazards // Geography, Environment, Sustainability. No. 9 (4). P. 33-47.
- Margaryan V.G.* 2021. Long-term Fluctuations in the Annual Runoff of Rivers Flowing into Lake Sevan under the Current Climate Change // Ukrainian Geographical Journal. No. 4. P. 30-38.
- Margaryan V., Tsibul'skii G., Raevich K.* 2020. Dynamics of Changes in Long-term Average Annual River Runoff in the Lake Sevan Basin // E3S Web of Conferences. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019). Vol. 149. ID 03009.
- Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A.* 2017. Problems of Dependable Water Use in the Transboundary Ural River Basin // Water Resources. Vol. 44. No. 4. Iss. 4. P. 673-684.
- Smith L.C., Pavelsky T.M., MacDonald G.M., Shiklomanov A.I., Lammers R.B.* 2007. Rising Minimum Daily Flows in Northern Eurasian Rivers: A Growing Influence of Groundwater in the High-latitude Hydrologic Cycle // Journal of Geophysical Research. Vol. 112. P. G04S47.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 632.125:910.1:531.3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОГНОЗ ДЕГРАДАЦИИ
АРИДНЫХ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

© 2024 г. А.Н. Салугин, К.Н. Кулик

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН*

Россия, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97. E-mail: saluginan@mail.ru

Поступила в редакцию 17.11.2023. После доработки 01.02.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Математическое моделирование рассмотрено как метод изучения динамики пастбищных почвенно-растительных систем засушливых зон России. Эволюционное развитие пастбищных фитоценозов моделировалось с использованием принципов неравновесной термодинамики на основе непрерывных и дискретных математических формализмов. Приведены примеры и обсуждаются проблемы устойчивого развития таких систем в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата. Демонстрируются новые методологические возможности математических моделей разных типов: в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и дискретных – марковских цепей. Прогнозирование протекающих на пастбищах деградационных процессов с помощью этих моделей изучено в сравнительном аспекте. Дифференциальные модели с постоянными и переменными коэффициентами показали различные результаты из-за нелинейности динамики сукцессий. Модель с постоянными коэффициентами уточнялась введением коэффициентов, зависящих от времени. Устойчивость функционирования пастбищных экосистем обсуждается с точки зрения формальной параметрической устойчивости решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Дискретное моделирование с применением методики марковских цепей показало, что деградация почвенно-растительных систем при превышении животной нагрузки описывается неоднородным Марковским процессом. Однородные марковские цепи дают адекватные прогнозы на одном временном интервале наблюдений. Прогнозирование финальных состояний в однородном приближении выявило, что наблюдаемая нелинейность динамики фитоценозов вызвана изменением темпов развития, приводящих в итоге к неоднородности цепи Маркова. Обсуждены вопросы моделирования нелинейных процессов в экологии пастбищных почвенно-растительных систем в контексте неоднородных марковских процессов.

Ключевые слова: математическое моделирование, дифференциальные уравнения, устойчивость, почвенно-растительные системы, марковские процессы, нелинейность, прогнозирование.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-28-36

EDN: ANZYSB

Сложные по своему строению агроэкосистемы трудно поддаются прямым методам исследования. Для их изучения эффективно используются математические модели. Математическое моделирование в агроэкологии является научно обоснованным методом адекватного описания функционирования почвенно-растительных систем и их прогнозов. Эти модели разделяют на континуальные (непрерывные) и дискретные с использованием аналитических, численных и имитационных способов реализации (Бахвалов, 2003; Викторов, 1985; Виноградов, 1998; Виноградов и др., 1989, 1990, 1993; Виноградов, Шитов, 1994; Гусев, 2009; Кулик, Салугин, 2003, 2017; Кулик и др., 2012; Куст и др., 2020; Логофет, 1999, 2010; Логофет и др., 1997, 2014; Логофет, Денисенко, 1999; Робертс, 1986; Салугин, 2005, 2006, 2007; Салугин, Кулик, 2001; Самарский, 2004). Аналитические модели с применением алгебраических и дифференциальных уравнений позволяют выявлять закономерности поведения почвенно-растительных систем (ПРС). Следует отметить, что моделирование с использованием систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которые допускают

аналитические решения, осложнено, что приводит, как правило, к упрощению задачи, снижая точность моделирования (Кулик и др., 2012; Логофет, 2010; Самарский, 2004). Дискретные модели описывают поведение экологического объекта на отдельных этапах эволюции (Бахвалов, 2003; Салугин, 2007).

В настоящее время весьма актуальной является проблема устойчивости ПРС пастбищ и их способность к самовосстановлению. Задачи устойчивости ПРС решаются с помощью систем ОДУ с параметрами оптимизации. Модели этого типа использовались ранее авторами этой статьи при изучении динамики сукцессий, протекающих в пастбищных ПРС Черных земель Калмыкии в процессе опустынивания (Виноградов, 1990; Салугин, 2007; Салугин, Кулик, 2001; Кулик, Салугин, 2003, 2017; Кулик и др., 2012). Дискретные модели решают задачи динамики ПРС в точках, разделённых временными интервалами. Подобные задачи решаются статистическим методом в виде марковских цепей (МЦ; Кемени, Снелл, 1970; Робертс, 1986; Logofet, Korotkov, 2002; Jorgensen, Vendoricchio, 2001; Salguero-Gomez, Casper, 2010; Salguero-Gomez, de Kroon, 2010). Марковские модели – это эффективный метод изучения экологии ПРС (Виноградов и др., 1989; Логофет, 2010; Логофет и др., 1999, 2005, 2014; Логофет, Денисенко, 1999; Логофет, Маслов, 2018; Маслов, Логофет, 2020). В настоящей статье результаты дискретного моделирования в виде МЦ сравниваются с результатами непрерывного в виде систем ОДУ.

Материалы и методы

Черные земли – это естественные природные пастбища площадью порядка 3.5 млн. га, расположенные на Юго-Востоке Европейской части России в пределах Прикаспийской низменности (Калмыкия, Астраханская область). В послевоенный период в этом регионе были созданы крупные коллективные овцеводческие хозяйства. Нагрузка на пастбища резко возросла и превысила более чем в 4 раза норму выпаса, что привело к их деградации. Так, в 1960 году на Черных землях поголовье овец составляло 1.8 млн., а к 1985 году – 3.7 млн. Из-за дефляции к 1980-ым годам площадь открытых песков и «скальпированных» поверхностей расширилась до 1.5 млн. га (против 20 тыс. га в 1954 г.) и процесс опустынивания достиг масштабов экологического бедствия.

Определение тренда опустынивания в регионе проводилось на полигоне площадью 100 тыс. га с использованием аэрокосмических снимков 1954-2019 гг. с обязательной полевой верификацией результатов. Данные аэрокосмического мониторинга 1954-2018 гг. служили в наших исследованиях исходным фактическим материалом. При разработке математических моделей, составлении прогнозов и управлении кормовыми ресурсами эти данные стали информационным обеспечением. В моделях учитывались четыре доминирующих типа пастбищ региона: S_1 – несбитые или слабосбитые злаково-прудняково-белополынные, S_2 – умеренно и сильносбитые злаково-белополынные и тырсовые, S_3 – сильносбитые тырсово-эбелековые и сорно-однолетниковые, S_4 – подвижные пески и «скальпированные» поверхности (конечная стадия деградации).

В таблицах 1 и 2 приведены данные мониторинга. Вектор состояний $\mathbf{S} = (S_1, S_2, S_3, S_4)$ в таблице 1 представлен для различных по длительности временных интервалов между наблюдениями. Компоненты вектора равны площадям соответствующих фитоценозов.

Процесс деградации пастбищной ПРС, состоящей из четырех фитоценозов с прямыми (разрушение) и обратными (восстановление) переходами, представлен ориентированным графом (рис. 1а), дуги на котором означают разрушение/восстановление фитоценозов. На рисунке 1б показан рост площади разбитых песков (S_4 , %) тестового участка в виде логистической функции (Виноградов, 1998). На этом рисунке кривая (1) получена с помощью линейной регрессии, а её первая (2) и вторая (3) производные отражают динамику экологического разрушения.

Моделирование с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Математическая модель вторичных сукцессий была составлена в виде двух вариантов системы ОДУ (1): с постоянными и переменными коэффициентами a_{ij} (Виноградов, 1990; Салугин, 2006, 2007; Кулик и др., 2012):

$$\frac{dS_i}{dt} = \sum a_{ij} S_j + b_i \quad (1),$$

где S_i – площадь, занятая i -м фитоценозом ($i = 1 \dots 4$), a_{ij} – интенсивность переходов между i -м и j -м фитоценозами, b_i – внешние факторы. Система (1) описывает функционирование ПРС и использовалась нами ранее при решении задач устойчивости (Салугин, Кулик, 2001; Салугин, 2006, 2007; Кулик и др., 2012). Решение, полученное в аналитическом замкнутом виде, позволяет

проследить за динамикой ПРС, что весьма существенно в случае ее нелинейного поведения с экстремальными точками. В нашем случае такое поведение наблюдается для второго и третьего типов ПРС: $S_2(t)$ и $S_3(t)$ (рис. 2а). Для определения экстремальных точек использовались кривые скорости интенсивности процессов (рис. 2б).

Таблица 1. Данные аэрокосмического мониторинга экологического состояния (тестовый участок 100 тыс. га) Черных Земель Калмыкии.

Год наблюдения	Площади фитоценозов S_i , %			
	S_1	S_2	S_3	S_4
1954	68.3	27.3	2.9	1.5
1958	50.2	41.9	5.6	2.3
1964	40.4	46.6	7.7	5.3
1970	25.6	52.8	9.2	12.4
1979	13.2	22.6	35.6	28.6
1981	5.1	20.2	41.1	33.6
1984	2.6	8.0	52.3	37.1
1986	2.2	8.1	43.4	46.3
1989	3.5	9.3	27.4	59.8
1992	5.7	10.7	17.0	66.6
1996	6.1	12.0	19.1	62.8
2000	7.0	14.1	24.5	54.4
2005	10.2	17.6	20.4	51.8
2012	11.4	13.3	39.0	36.3
2014	9.3	14.6	40.4	35.7
2015	8.7	14.5	46.2	30.6
2016	8.0	15.0	48.7	28.3
2019	6.3	12.4	50.1	31.2

Марковские цепи. Марковский процесс описывает динамику стохастических связей между фитоценозами ПРС. Их моделирование с помощью МЦ предполагает случайные взаимодействия, которые являются марковскими. Для однородных МЦ это означает, что вероятность появления перехода $i \rightarrow j$ в текущий момент определяется предыдущим. Состояние ПРС описывается вектором предыдущего наблюдения и не зависит от того, каким образом она в него попала. Если ПРС описывается вектором S в дискретные моменты времени, то получается цепь случайных марковских событий.

Наши исследования осуществлялись с использованием однородных МЦ не зависящих от времени моделей марковских процессов. Цепь Маркова считается заданной, если определен вектор состояний $S(0) = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0n})$ и вероятности возможных переходов между этими состояниями – матрица вероятностей переходов P . Если вершины орграфа (рис. 1а) – возможные состояния (S_i), а дуги – переходные вероятности, то динамику фитоценозов в нашем случае можно представить в виде МЦ (Кемени, Снелл, 1970; Робертс, 1986) с матрицей P :

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ 0 & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ 0 & 0 & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix}.$$

Элементы p_{ij} для $i < j$ (расположенные над диагональю) соответствуют разрушению. Восстановление определяется элементами под диагональю ($i > j$). При $i = j$ задается вероятность сохранения i -го состояния (на рисунке 1а они изображены в виде петель p_{ii}).

Таблица 2. Матрицы вероятностей переходов.

Тип матриц	1954-1958 гг.				1958-1964 гг.			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
S1	0.611	0.338	0.051	0.000	0.765	0.225	0.006	0.004
S2	0.311	0.652	0.037	0.000	0.357	6.196	0.081	0.043
S3	0.000	0.241	0.103	0.655	0.000	0.107	0.661	0.232
S4	0.000	0.000	0.657	0.34	0.000	0.000	0.130	0.870
	1979-1981 гг.				1981-1984 гг.			
S1	0.379	0.530	0.000	0.091	0.490	0.314	0.000	0.196
S2	0.004	0.575	0.350	0.071	0.000	0.308	0.637	0.055
S3	0.000	0.006	0.930	0.065	0.000	0.005	0.959	0.036
S4	0.000	0.000	0.003	0.997	0.000	0.000	0.003	0.997
	1964-1970 гг.				1970-1979 гг.			
S1	0.616	0.262	0.087	0.035	0.488	0.242	0.160	0.109
S2	0.015	0.895	0.032	0.058	0.013	0.303	0.561	0.123
S3	0.000	0.065	0.519	0.416	0.000	0.043	0.152	0.804
S4	0.000	0.000	0.038	0.962	0.000	0.000	0.040	0.960
	1984-1986 гг.				1986-1989 гг.			
S1	0.769	0.077	0.000	0.154	0.818	0.045	0.000	0.136
S2	0.025	0.725	0.088	0.163	0.210	0.679	0.025	0.086
S3	0.000	0.000	0.816	0.184	0.000	0.002	0.624	0.373
S4	0.000	0.054	0.003	0.943	0.000	0.000	0.009	0.991

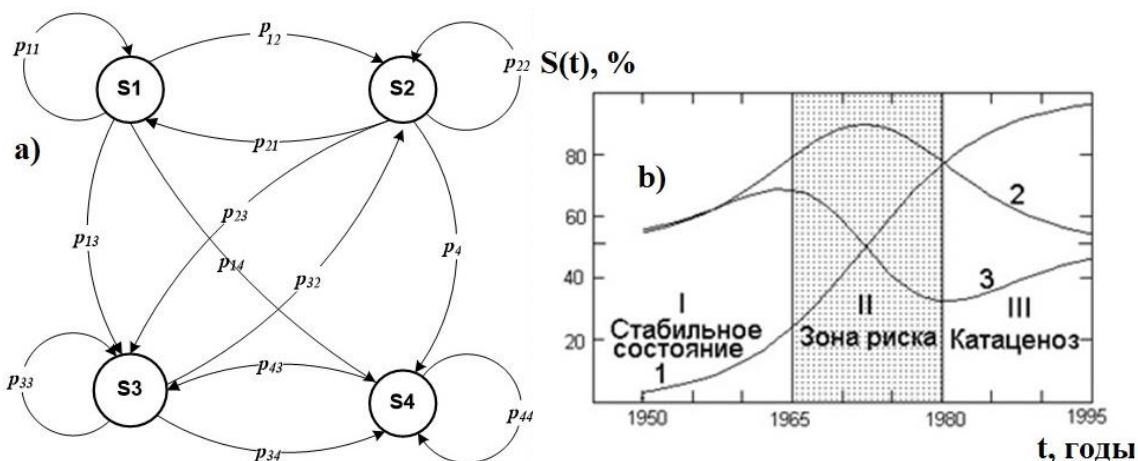


Рис. 1. Схема модели в виде ориентированного графа (а) и уровни деградации ПРС (б; пояснения даны в тексте).

Анализ данных аэрокосмических снимков (табл. 1) и количественная оценка изменения площадей фитоценозов позволяют вычислить матрицы вероятностей переходов (табл. 2). Если предположить, что процессы, протекающие внутри ПРС, не зависят от времени наблюдения, то однородные МЦ через некоторое число шагов t порождают новый вектор состояний $S(t)$, который определяется начальным $S(0)$ и матрицей P , возведенной в степень t :

$$S(t) = P^t \cdot S(0),$$

где t – число шагов (Робертс, 1986; Камени, Снелл, 1970). Длительность прогноза с однородной МЦ ограничена и задается временным интервалом между наблюдениями.

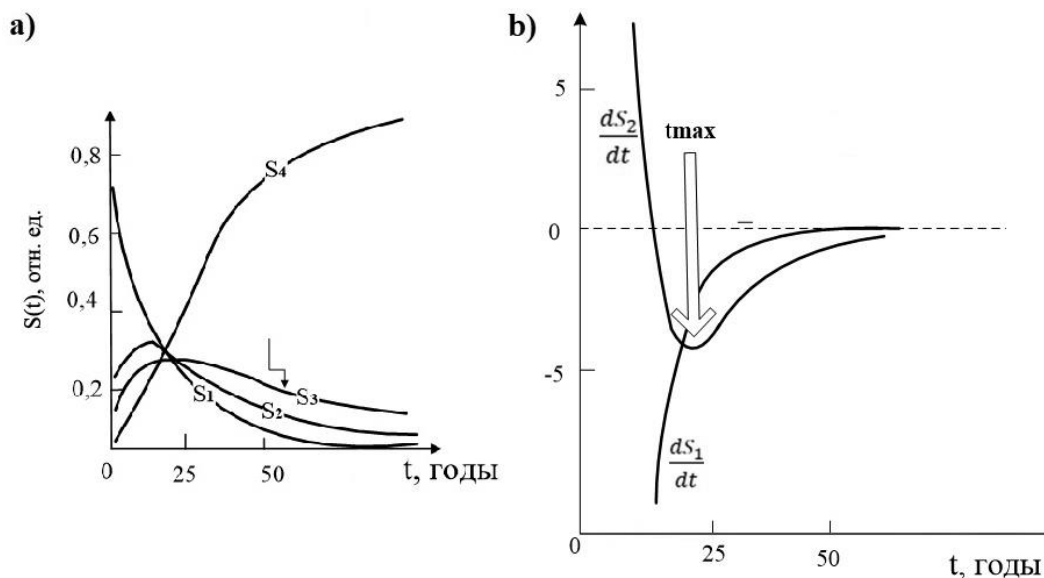


Рис. 2. Результаты моделирования с помощью системы ОДУ (1): а – изменение площадей фитоценозов тестового участка Чёрных земель Калмыкии, б – динамика S_1 и S_2 в виде производных по времени.

Обсуждение

Дифференциальные модели. Моделирование с использованием ОДУ (1) осуществлялось в двух вариантах: с постоянными и переменными коэффициентами a_{ij} . В первом случае были получены явные аналитические решения (Салугин, 2006; рис. 2а). Из рисунка 2б видно, что скорость изменения исходных пастбищ $\frac{dS_1(t)}{dt}$ монотонно возрастает, а $\frac{dS_2(t)}{dt}$ пересекает ось времени. Это означает, что в точке пересечения МЦ динамика изменяется: ускорение процесса до t_{max} заменяется замедлением после t_{max} . Производные по времени выявляют экстремальные точки эволюции ПРС. Полученные данные могут быть использованы при регрессионном анализе наблюдений за пастбищными экосистемами, содержащими четыре типа фитоценозов (Салугин, Кулик, 2001; Кулик, Салугин, 2003, 2017). Промежуточные фитоценозы с экстремумами (рис. 2а) указывают на образование новых фитоценозов, вызванных деградацией (Виноградов, 1998; Салугин, 2006, 2007). Подобные явления встречаются в природе при движении экосистем к точке устойчивости. «Бифуркационный срыв», приводящий к смене фитоценозов, является результатом синергетической самоорганизации (Пригожин, 1985; Светлосанов, 1990; Князева, Курдюмов, 2002; Салугин, 2005).

На рисунке 3 показаны результаты прогнозирования, полученные разными методами: 1 – ОДУ с постоянными коэффициентами, 2 – ОДУ с переменными коэффициентами (Кулик и др., 2012), 3 – логистическая регрессия. Из рисунка видно хорошее совпадение прогнозов, полученных моделированием ОДУ с переменными коэффициентами (Салугин, 2006, 2007). Отклонение прогнозирования методом ОДУ с постоянными коэффициентами свидетельствует о влиянии внешней среды при изменении климата, нарушающей изомерность функционирования экосистемы во времени.

Марковские процессы. Модели МЦ составлялись на основе матриц вероятностей, представленных в таблице 2 (Виноградов, 1998; Салугин, 2006, 2007). Вектор, описывающий изменение фитоценозов ПРС в марковской модели, задается формулой:

$$S(t) = P^t \cdot S(0),$$

где $S(0)$ – исходный вектор, P^t – финальная матрица вероятностей (исходная матрица P из таблицы 2 степени t). После некоторого числа шагов процесс случайных стабилизируется, определяя финальное состояние экосистемы. Для каждого интервала моделирования на одном шаге однородная МЦ приводит к векторам, которые должны совпадать с начальными для следующего интервала наблюдений. Однако этого не происходит из-за нарушения временной однородности процессов при изменении климатических условий или воздействии антропогенных факторов (Робертс, 1986, Молчанов, 1975).

Однородные МЦ способны прогнозировать динамику биоресурсов пастбищ на временной интервал, не превышающий время между наблюдениями. Нелинейное поведение открытых экосистем является в этом случае причиной, ограничивающей использование однородных МЦ в долгосрочном прогнозировании.

Отметим еще раз, что матрица вероятностей переходов однородной МЦ адекватна динамике для одного интервала повторных наблюдений. Если рассматривать соседние повторные наблюдения, то векторы состояний на их границах должны совпадать с векторами модели. Приведем некоторые примеры. Прогнозирование сукцессионной динамики в приближении однородной цепи на один шаг вперед по наблюдениям в 1954-1958 гг. со следующей матрицей (табл. 2):

$$P = \begin{bmatrix} 0,611 & 0,338 & 0,051 & 0,000 \\ 0,311 & 0,652 & 0,037 & 0,000 \\ 0,000 & 0,241 & 0,103 & 0,655 \\ 0,000 & 0,000 & 0,667 & 0,333 \end{bmatrix}$$

и с исходным вектором $S_{54}(0) = (68.3 \ 27.3 \ 2.9 \ 1.5)$ по формуле $S(1) = P \cdot S(0)$, где $S(1)$ – ожидаемый вектор в конце шага (табл. 1). На начало 1958 года получаем прогнозный вектор $S_{54}(1) = (51.11 \ 39.15 \ 11.17 \ 4.09)$. По данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), состояние ПРС в 1958 году представлено вектором $S_{58}(0) = (50.2 \ 41.9 \ 5.6 \ 2.3)$; табл. 1). В приближении однородной МЦ векторы $S_{54}(1)$ и $S_{58}(0)$ должны совпадать. Расчеты показали, что такого совпадения нет: все компоненты сравниваемых векторов имеют различные значения. Степень отклонения оценим в виде поэлементной разности компонент векторов и получим вектор ΔS с евклидовой нормой $|\Delta S|_{1954-1958} = 6.299$. Для 1958-1964 гг. получим: $|\Delta S|_{1958-1964} = 8.06$. Максимум ΔS наблюдается для 1981-1984 гг.: $|\Delta S|_{1981-1984} = 31.611$. Такие расхождения означают нарушение однородности Марковских процессов.

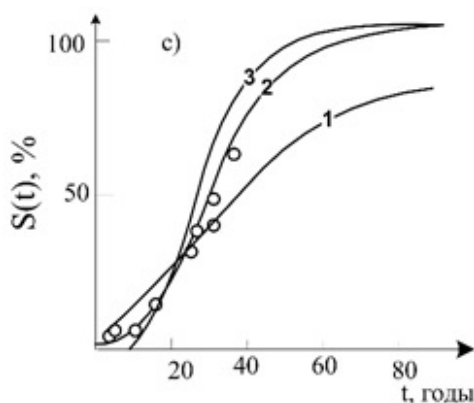


Рис. 3. Прогнозы деградации, полученные различными моделями (пояснения даны в тексте).

На рисунке 4 приведены данные ДЗЗ тестового района Черных земель Калмыкии за период 1954-2019 гг. Прогнозные модели, приведенные выше, достаточно хорошо описывают процесс функционирования пастбищ с 1954 до 1993 годы. Этот период характеризуется активным опустыниванием от превышения нагрузки скота на пастбища. В Прикаспии – центре опустынивания европейской части аридного пояса РФ (Калмыкия, Дагестан, Чечня, восточные районы Ставропольского края и др.), где пастбища занимают 80% сельхозугодий, в результате перевыпаса и распашки в середине 80-х годов XX века, скорость лавинообразного опустынивания достигала свыше 50 тыс. га в год. Правительство вынуждено было ввести в регионе чрезвычайные организационно-мелиоративные меры: вывод скота, фитомелиорацию, обводнение. Было принято постановление «О разработке Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черноземельских и Кизлярских пастбищ». Начиная с 90-х годов поголовье скота сократилось. Одновременно проводились обширные работы по фитомелиорации в рамках «Генеральной схемы» (Кулик, 2017; Шинкаренко, 2019), и в итоге процесс был приостановлен. Об этом свидетельствуют кривые S_4 на рисунке 4.

Период 1990-2020 гг. не исследовался с помощью моделирования. Данные о сукцессионных переходах в таблице 2 не приведены из-за отсутствия данных о вероятностных переходах.

Применение концепции Марковских процессов для описания динамики ПРС будет продолжено. Сейчас мы располагаем современной и архивной базой ДЗЗ высокого разрешения, которые позволяют количественно описывать тренды пастбищных фитоценозов: оценивать динамику сукцессий и взаимных переходов (расчет матриц за период 1990-2020 гг.).

Моделирование с применением МЦ для исследования процессов деградации и восстановления пастбищных ПРС указывает на возможные приложения полученных результатов к другим биотическим системам, что имеет большое практическое и теоретическое значение.

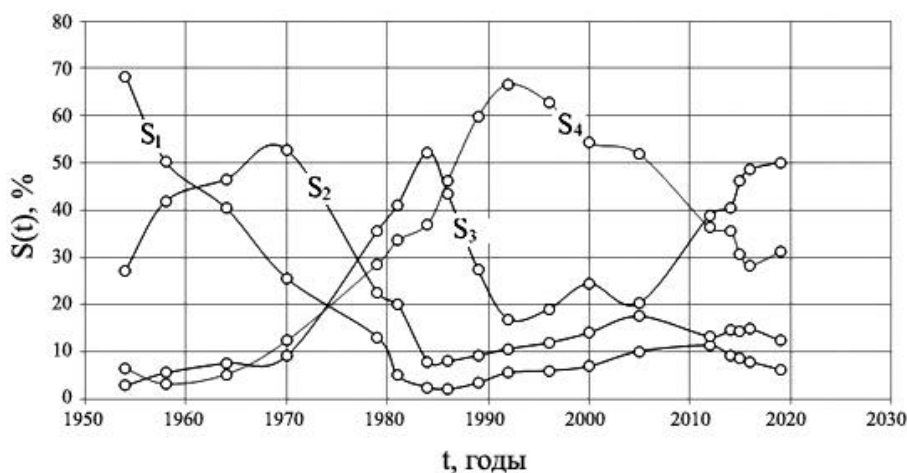


Рис. 4. Аэрокосмические наблюдения за динамикой фитоценозов Черных земель Калмыкии за период 1958-2018 гг.

Вопросы устойчивости пастбищных экосистем. Нами была предпринята попытка выявить условия динамической устойчивости ПРС в контексте формальной математической устойчивости системы ОДУ четвертого порядка, описывающей функционирование ПРС (Петров, 2004; Салугин, 2006, 2007). Характеристический полином системы (1) для периода 1954-1958 гг. имеет четыре различных корня: $\lambda_1 = 0.40$, $\lambda_2 = -0.41$, $\lambda_3 = 2.55$, $\lambda_4 = -2.54$, которые являются «индикаторами» устойчивости. Система (1) будет устойчива, когда все действительные части корней полинома будут отрицательны (Робертс, 1986). В нашем случае два корня (λ_1 и λ_3) положительны, т.е. система неустойчива. Этот результат приводит к тому, что устойчивость ПРС можно исследовать, изучая устойчивость решений системы ОДУ. Для этих целей система (1) записывается в виде:

$$\frac{dy_i}{dt} = \sum \alpha_{ij}^{ucx} (1 + \varepsilon_{ij}) y_k + b_i, \text{ где } |\varepsilon_{ij}| \ll 1.$$

Изменение решений при изменении возмущения ε_{ij} отражает устойчивость моделируемой ПРС. Величины ε_{ij} определяют диапазон возможных изменений параметров ОДУ, выводящих ПРС из равновесия. Численные значения параметров α_{ij} , соответствующие устойчивому состоянию, могут быть использованы в управлении пастбищными биоресурсами (Виноградов и др., 1990). Поиск этих значений является одной из задач общей теории устойчивости и решается методом локализации собственных значений матрицы коэффициентов (Свирижев, Логофет, 1978; Светлосанов, 1990; Маркус, 1972; Хорн, Джонсон, 1989; Беллман, 1976). Метод сводится к варьированию элементов матрицы на малую величину и определению «реакции» решений на эти возмущения. В развитие этой концепции можно предположить, что имеется прямая связь между матрицей вероятностей переходов P в молях МЦ с собственными значениями матрицы коэффициентов d_{ij} системы ОДУ.

Выводы

Приведены примеры математических методов моделирования для исследования динамики пастбищных ПРС на основе непрерывного и дискретного формализмов. Установлено, что результаты моделей в виде систем ОДУ адекватно описывают непрерывные процессы в ПРС аридных территорий и схожи с результатами, полученными из дискретных моделей МЦ. Прогнозирование поведения экосистем с помощью аналитической и численной реализации системы ОДУ имеет

принципиально важное значение. Этот подход позволяет изучать динамику деградации фитоценозов, определяя области устойчивости. Решение системы ОДУ с коэффициентами, зависящими от времени, дают более точный прогноз с адекватным описанием нелинейных процессов. Адекватность исследованных моделей определяет применимость их результатов к долгосрочному прогнозированию. Анализ прогнозных моделей показал, что долгосрочный прогноз состояния ПРС на субаридных пастбищах точнее, если его проводить с помощью системы ОДУ с переменными коэффициентами.

Показана эффективность моделирования нелинейной динамики деградации ПРС, которая сопровождается появлением промежуточных стадий. Деградация пастбищных экосистем через промежуточные состояния, по-видимому, является закономерной для других растительных сообществ (Салугин, 2005; Онипченко, 2014). Это обстоятельство имеет важное практическое значение, т.к. развитие экосистем биосферы требует долгосрочных наблюдений.

Рассмотренные математические модели развития ПРС в условиях опустынивания являются основополагающими для сохранения пастбищных биоресурсов и их разнообразия. Исследования динамической экологии Черных земель Калмыкии показали, что динамика деградации адекватно описывается марковским процессом с изменяющимися во времени матрицами вероятностей. На одном временном интервале с помощью однородной МЦ можно изучать причины отклонения наблюдений и делать прогнозы на одном шаге вперед, определяемом временным интервалом между повторными наблюдениями. На практике МЦ можно использовать в управлении кормовыми запасами пастбищных угодий, что является основой успешного решения более общих задач, связанных с природопользованием.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания № 122020100450-9 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахвалов Н.Г. 2003. Численные методы. М.: Бином. Лаборатория знаний. 632 с.
- Беллман Р. 1976. Введение в теорию матриц. М.: Наука. 352 с.
- Викторов С.В. 1985. Ландшафтная индикация. М.: Наука. 96 с.
- Виноградов Б.В. 1998. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС. 418 с.
- Виноградов Б.В., Кулик К.Н., Салугин А.Н. 1993. Прогнозирование процессов опустынивания пастбищ Западного Прикаспия на основе аэрокосмической фотоинформации // Лесомелиорация и ландшафт. № 1. С. 67-82.
- Виноградов Б.В., Фролов Д.Е., Попов В.П. 1989. Опыт моделирования динамики экорегиона с помощью неоднородных цепей Маркова // Доклады АН СССР. Т. 309. № 5. С. 1263-1266.
- Виноградов Б.В., Черкашин А.К., Горнов А.Ю., Кулик К.Н. 1990. Динамический мониторинг деградации и восстановления пастбищ Чёрных земель Калмыкии // Проблемы освоения пустынь. № 1. С. 10-19.
- Виноградов Б.В., Шитов А.Г. 1994. Моделирование динамики экосистем южнотаёжной подзоны с помощью цепей Маркова // Лесоведение. № 1. С. 13-21.
- Гусев А.П. 2009. Особенности начальных стадий восстановительной сукцессии в антропогенном ландшафте (на примере юго-востока Белоруссии) // Экология. № 3. С. 174-179.
- Кемени Д.Д., Снелл Д.Л. 1970. Конечные цепи Маркова. М.: Наука. 272 с.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П. 2002. Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомыры. СПб.: Алетейя. 414 с.
- Кулик К.Н., Салугин А.Н. 2003. Марковские цепи дефляции почвенно-растительного покрова пастбищ Чёрных земель // Доклады РАСХН. № 5. С. 34-37.
- Кулик К.Н., Салугин А.Н. 2017. Моделирование дефляции аридных пастбищ с помощью марковских цепей // Экосистемы: экология и динамика. № 1(4). С. 5-22.
- Кулик К.Н., Салугин А.Н., Сидорова Е.А. 2012. Динамическая устойчивость аридных экосистем // Аридные экосистемы. Т. 18. № 2 (51). С. 28-34. [Kulik K.N., Salugin A.N., Sidorova E.A. 2012. Dynamic stability of arid ecosystems // Arid Ecosystems. Vol. 2. No. 2. P. 86-90.]
- 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.]
- Логофет Д.О. 1999. Сукцессионная динамика растительности: классические концепции и современные модели // *Экология России на рубеже 21-го века*. М.: Научный мир. С. 70-98.
- Логофет Д.О. 2010. Марковские цепи как модели сукцессии: новые перспективы классической парадигмы // *Лесоведение*. № 2. С. 46-59.
- Логофет Д.О., Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. 1997. Неоднородные марковские модели сукцессии растительности: новые перспективы старой парадигмы // *Известия РАН. Серия биологическая*. № 5. С. 613-623.
- Логофет Д.О., Денисенко Е.А. 1999. Принципы моделирования динамики растительности с учетом изменений климата // *Журнал общей биологии*. № 60. С. 73-85.
- Логофет Д.О., Евстигнеев О.И., Алейников А.А., Морозова А.О. 2014. Сукцессия, вызванная жизнедеятельностью бобра: I. Уроки калибровки простой марковской модели // *Журнал общей биологии*. Т. 75. № 2. С. 95-103.
- Логофет Д.О., Маслов А.А. 2018. Анализ мелкомасштабной динамики двух видов-доминантов в сосняке чернично-бруснично-долгомошном: II. Неоднородная Марковская цепь и осредненные показатели // *Журнал общей биологии*. Т. 79. № 2. С. 135-147.
- Маркус Р., Минк Х. 1972. Обзор по теории матриц и матричных неравенств. М.: Наука. 232 с.
- Маслов А.А., Логофет Д.О. 2020. Совместная динамика популяций черники и брусники в заповедном послепожарном сосняке-зеленомошнике. Модель с осредненными вероятностями перехода // *Журнал общей биологии*. Т. 81. № 4. С. 243-256.
- Молчанов, А.М. 1975. Экология и эргодичность. Имитационное моделирование и экология. М.: Наука. С. 48-50.
- Онищенко В.Г. 2014. Функциональная фитоценология: синэкология растений. М.: Красандр. 576 с.
- Петров Ю.П. 2004. Новые главы теории управления и компьютерных вычислений. СПб.: БХВ-Петербург. 192 с.
- Пригожин И. 1985. От существующего к возникающему. М.: Наука. 327 с.
- Робертс Ф.С. 1986. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М.: Наука. 496 с.
- Салугин А.Н. 2005. Синергетические аспекты динамики почвенно-растительных аридных экосистем // *Доклады РАСХН*. № 5. С. 60-62.
- Салугин А.Н. 2006. Динамическое моделирование деградационных процессов в агроэкологии. Дисс. ... докт. с.-х. наук. Волгоград: ВНИАЛМИ. 306 с.
- Салугин А.Н. 2007. Динамика и ее прогноз в неравновесных аридных экосистемах // *Экология*. № 4. С. 41-45.
- Салугин А.Н., Кулик К.Н. 2001. Моделирование, прогноз и оптимальное управление в экологии почвенно-растительного покрова Калмыкии // *Аридные экосистемы*. Т. 7. № 14. С. 11-21.
- Самарский А.А. 2004. Математическое моделирование в информационную эпоху // *Вестник РАН*. Т. 74. № 9. С. 781-784.
- Светлосанов В.А. 1990. Устойчивость и стабильность природных экосистем. М.: ВИНТИ. 200 с.
- Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. 1978. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука. 352 с.
- Хорн З., Джонсон Ч. 1989. Матричный анализ. М.: Мир. 655 с.
- Шинкаренко С.С. 2019. Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // *Современные проблемы ДЗЗ из космоса*. № 16 (6). С. 155-168.
- Jorgensen S.E., Vendericchio G. 2001. *Fundamentals of Ecological Modelling*. Amsterdam: Elsevier. 530 p.
- Logofet D.O., Korotkov V.N. 2002. «Hybrid» Optimisation: A Heuristic Solution to the Markov-chain Calibration Problem // *Ecological Modelling*. Vol. 151. No. 1. P. 51-61.
- Salguero-Gomez R., Casper B.B. 2010. Keeping Plant Shrinkage in the Demographic Loop // *Ecology*. Vol. 98. No. 2. P. 312-323.
- Salguero-Gomez R., de Kroon H. 2010. Matrix Projection Models Meet Variation in the Real World // *Ecology*. Vol. 98. No. 2. P. 250-254.

УДК 631.48

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ
И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ**

© 2024 г. З.Г. Залибеков*, С.А. Мамаев*, М.Е. Котенко**, П.Д. Мусалаева*

*Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367010, ул. Ярагского, д. 75. E-mail: bfdgu@mail.ru

**Дагестанский государственный технический университет
Россия, Дагестан, 367026, г. Махачкала, просп. Имама Шамиля, д. 70. E-mail: kukonya21@mail.ru

Поступила в редакцию 19.03.2024. После доработки 30.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Почвенный покров как системное образование характеризуется формированием свойств разного таксономического уровня и признаками структурной организации с иерархической подчиненностью. Как целостное природное образование, почвы обладают ресурсоведческим потенциалом, подвергающимся активному воздействию факторов физико-географической среды. Отдельные свойства почвы и их целостное функциональное назначение могут отличаться во времени и пространстве. Такие свойства формируются в различных регионах, отражая влияние местных локальных условий. Типичные представители почв с признаками засоления, исключающие реализацию продукционных процессов, формируются в аридных условиях (Прикаспийская низменность, дельта Волги). Различие целевого функционирования почв в регионе выражается в наличии особой естественной комбинации свойств, которыми не обладают компоненты типичного почвенного профиля (Неуструев, 1915). Это связано с тем, что при определении классификационных признаков засоленных почв процессы, происходящие между отдельными горизонтами и имеющие обратимый характер, остаются до настоящего времени неучтенными. Возможность обратимости и восстановления физико-химических свойств до уровня показателей, характерных климатическому режиму с продолжительностью геологических отрезков времени, для многих типов почв до настоящего времени остается в тени (водно-растворимая часть карбонатов, силикатов, органического вещества).

Мы считаем целесообразным применение системного подхода при анализе временных и сезонных функций различных типов почв (особенно засоленных) в условиях опустынивания и аридной деградации.

Ключевые слова: функционирование, засоление почвы, Терско-Кумская низменность, луговые солончаковые почвы, реализация продукционных ресурсов, гумусовый горизонт, миграционные комбинации, сезонные изменения, сухой остаток солей, короткая вегетация растений.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-37-48

EDN: KZOLKO

Объектом исследования являются почвы и условия их образования в Терско-Кумской низменности и северо-восточной части дельты Терека. Рассматриваемая территория представляет морскую, практически бессточную, слабонаклонную на северо-восток равнину. Развитие почвенного покрова протекает в условиях аридного климата под влиянием интенсивного антропогенного воздействия. Функционирующие почвы рассматриваемого региона развиваются в условиях полупустынного климата на засоленных почвообразующих породах. Установлено также многообразие факторов, достоверно связанных с целевым функционированием почв и выявлением приоритетных способов определения продукционных ресурсов. Исследования, проведенные в аридных условиях одного из регионов Прикаспийской низменности, Терско-Кумской низменности, дали возможность определить роль приоритетных процессов, связанных с сезонным засолением – рассолением корнеобитаемого слоя почвы (0-50 см). В пределах этого слоя сформированы и генетические признаки, используемые при классификации почв (Акимцев, 1957; Акаев, 1996).

Основной фактор почвообразования – засоленные почвообразующие породы – при ведущей роли влияния условий выраженного микрорельефа способствуют формированию засоленных почв, целевое функционирование которых связано с солончаковым процессом и его комбинациями, сменяющимися во времени и пространстве (Драйпер, Смит, 1986).

Важной особенностью условий почвообразования в регионе является недостаточное количество выпадающих осадков (250-300 мм, коэффициент увлажнения $K = 0.3-0.4$) и высокая температура летних месяцев. Преобладающая часть осадков (60-70%) выпадает в летний и летне-осенний периоды. Грунтовые воды залегают на глубине 0.5-2.0 м и сильно минерализованы (40.120 г/л). Минерализация их увеличивается с переходом от обводняемой части русла р. Терек (2.5-5.0 км) к необводняемой береговой полосе Каспийского моря (Мирзоев, 1992).

Особенностью почвенного покрова является формирование разной степени засоления при интенсивном накоплении солей на разных глубинах, проявляющихся в качестве элемента целевого функционирования. Рассматриваемые луговые солончаковые среднесуглинистые почвы, где скопление солей отмечается в поверхностном горизонте 0-20 см и глубже, в слое 20-50 см, испытывают существенные изменения. Морфологический профиль дифференцирован на горизонты, однороден по гранулометрическому составу и имеет диагностические признаки используемых при генетической классификации почв (Докучаев, 1985). Признаки накопления солей в виде белых прожилок и пятен обнаруживаются с глубины 40-50 см. Во второй полуметровой толще содержание солей увеличивается, стабилизируя миграционные процессы. Переход ко второму метровому слою профиля сопровождается уменьшением солей с изменением типа засоления (Сапанов и др., 2015). Растительность представлена галофитами, преимущественно эфемерово-петросимониево-картанными ассоциациями. Выделены параметры приоритетных показателей: морфологические свойства горизонта максимального содержания солей как основного признака целевого функционирования засоленных почв. Дифференциация признаков солончатого горизонта, выделенного в качестве приоритетного, означает наличие условий формирования функций почвенных горизонтов на уровне функций гумусового горизонта, представляющего центр координации свойств всего профиля. Остальные компоненты почвенного профиля принимают участие в почвообразовании в качестве экстенсивных факторов. Поэтому отдельные типы почв и специфика их свойств требуют разработку методов реализации и освоения потенциальных ресурсов почвенного покрова (Суховеева, 2022; Багачев, Иманкулов, 1986).

Целостное функционирование почвы характерно полнопрофильным разностям на уровне типового подразделения. Для сохранения устойчивости и продуктивности рекомендуется выявить приоритетные факторы, используя принципы системного анализа. В аридных условиях Прикаспийской низменности приоритетными в отношении почв являются засоленность, солонцеватость, слитость и степень увлажнения корнеобитаемого слоя. Однако, как показывает опыт проведенных исследований, при оценке и разработке мероприятий по борьбе с опустыниванием учету функциональной целевой роли почв с применением системного подхода уделяется недостаточное внимание. Это связано с тем, что при характеристике свойств почв рассматриваются в первую очередь показатели поверхностного гумусово-аккумулятивного горизонта с привлечением общепринятых данных по содержанию гумуса, питательных веществ, структурного состояния горизонта и т.д. Выбор фоновых показателей и их дополняющая роль связаны с особенностями потенциального плодородия почв и признанием гумусового горизонта определяющим целевое функционирование. Экспериментальные исследования по основным типам почв региона показали, что ведущим фактором целевого функционирования засоленных почв является степень засоления, химизм засоления различных глубин почвенного профиля. Особое значение имеет выявление соотношения токсичных солей и распределение их по профилю (Беляев, Кулик, 2022).

Выявление функциональной роли почв и их изменения во времени, как целевого природного образования, дало возможность применить системный подход в разработке мероприятий по возрождению засоленных почв, деградированных природных кормовых угодий (Каштанов, 1999).

Результаты и обсуждение

Системный подход в определении целевого функционирования засоленных почв позволил выявить на первом этапе конкурирующую роль горизонта В, представляющего корнеобитаемую

толщу профиля. Применение системного подхода достоверно устанавливает отсутствие влияния гумусово-аккумулятивного горизонта при незначительном количестве солей в накоплении фитомассы соляноквых сообществ. Достоверно выявляется возможность практического использования засоленных почв на основе термического фактора, оказывающего влияние на состояние теплового режима горизонтов. Приоритет целевого функционирования луговых солончаковых почв определяется температурой и содержанием солей в вертикальном профиле слоя 0-20 см (Фридланд, 1986).

Предлагаемые нами результаты разработок по целевому функционированию почв направлены на раскрытие тех ресурсов, которые формируются в отдельные сезоны года циклически функционирующими миграционными комбинациями в свойствах почв. Такие же комбинации и сочетания в аридных условиях формируются при переходе теплого сухого периода к переменному увлажненному как результат влияния климатического фактора. В аридных регионах Прикаспийской низменности, где более 70% территории заняты пастбищными угодьями, концентрация целевого использования почв является фундаментальной основой воспроизводства их ресурсов (Прокопьева и др., 2021).

В качестве первого этапа работ проведен сравнительный анализ солевого состава почв с определением классификационного уровня факторов образования солевого горизонта. При этом выявлены спектры комбинации свойств в средней части профиля, определяющих направление почвообразовательных процессов по отдельным сезонам. Этот процесс имеет большое значение для определения целевого функционирования засоленных почв, отличающихся качественными показателями и являющихся одним из критериев развития прикладных основ борьбы с опустыниванием. Наиболее важным из факторов целевого функционирования является формирование существенных различий в соотношении миграционной динамики солей в луговых солончаковых и лугово-каштановых солончаковых почвах среднесуглинистого гранулометрического состава (табл. 1).

Таблица 1. Процессы, определяющие целевое функционирование почв Терско-Кумской низменности.

№	Тип почв	Фактор, определяющий целевое функционирование	Глубина проявления		% соотношение миграционной массы солей
			Процесс	Степень	
1	Светло-каштановые	классификационный	стабильный, зональный	фоновая	< 10
2	Лугово-каштановые солончаковые	классификационный	стабильный, интразональный	фоновая	10-15
3	Луговые солончаковые	засоление глубже 1.5 м	миграция солей	интенсивная	25-30
4	Луговые карбонатные	засоление глубже 100 см	миграция солей глубже 100 см	периодическая	25-30
5	Солончаки луговые	классификационный	миграция солей в слое 0-50 см	интенсивная кратковременная	15-20
6	Солончаки типичные	классификационный	миграция солей в слое 0-100 см	интенсивная	5-10
7	Лугово-болотные карбонатные	глубина грунтовых вод 0-100 см	периодическое заболачивание	фоновая	подтопление

Согласно эколого-биосферной концепции почвообразования об определяющей роли гумусово-аккумулятивного горизонта как ведущей составной части профиля, определяющая роль генетических свойств сохраняется (Ковда, 1975; Залибеков и др., 2019).

Эволюционное развитие почвенного покрова приводит к появлению свойств, характерных целевому функционированию почв. Они также становятся классификационными признаками, АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2024, том 30, № 3 (100)

учет которых имеет большое значение. Чем интенсивнее протекают миграционные процессы, тем большую значимость приобретают классификационные признаки. Солончаки типичные, солончаки луговые характеризуются общей тенденцией развития засоления как фактора, определяющего целевое функционирование. Можно предположить, что при залегании горизонта максимального накопления солей в подгумусовом слое миграционные процессы могут эволюционировать в прогрессирующей динамике. Относительно степени засоления как фактора проявления целевого функционирования следует указать на ее зависимость от состава и содержания легкорастворимых солей, содержащихся глубже верхнего полуметрового слоя (Засоленные почвы России, 2006). Важной характеристикой рассматриваемого фактора является процентное соотношение миграционной массы солей, где максимальная величина их соответствует луговой солончаковой почве. Минимальные показатели миграции солей свойственны светло-каштановым карбонатным почвам (Соколов, 1985; Резников, 1999), основной причиной которого является незасоленность почвообразующих пород и отсутствие влияния грунтового увлажнения. Из разнообразия условий почвообразования фактором целевого функционирования почв является солончаковый процесс, проявляющийся в высшей стадии развития. Проявление стадийности засоления происходит с накоплением легкорастворимых солей в верхнем метровом слое почвенного профиля. Определяющим этапом является развитие солончакового процесса до уровня типовых признаков луговой солончаковой среднесуглинистой почвы (Керимханов, 1972).

Выявлен определяющий фактор целевого функционирования луговой солончаковой почвы, где горизонт максимального содержания солей располагается глубже 0-30 см. Картографический материал показывает, что луговые солончаковые почвы занимают северо-западную часть региона площадью более 100 тыс. га и представляют собой низкопродуктивные пастбищные угодья. Их поверхностный слой не засолен, а содержание солей остается неизменным в миграционных процессах. Реакция других типов почв показывает ведущую роль функций в формировании целевого функционирования, засоленности всего профиля, включая поверхностный гумусовый горизонт. Показатели плодородия и продукционных ресурсов соответствуют уровню содержания питательных веществ в освоенных вариантах, используемых под сельскохозяйственные культуры. В этой связи засоленные почвы независимо от количества легкорастворимых солей, содержащихся в слое 0-30 см, могут быть отнесены к группе целевого функционирования, включая разновидности почв, отличающиеся высокой степенью засоления. Относительно солончаков луговых, солончаков типичных следует отметить сезонный характер изменений функционирующего состояния под влиянием миграции солевых потоков (Борисов, Алексеев, 2020).

Функции солевых миграций по вертикальному профилю изменяются по отдельным сезонам: нисходящие потоки – в осенне-зимний и ранневесенний периоды, восходящие – в летний период. Их продолжительность определяет целевое функционирование почв, степень проявления которого зависит от климатических условий и гранулометрического состава генетических горизонтов почв. Установлено, что продуктивность и проективное покрытие почв кормовыми растениями с короткой вегетацией не зависят от свойств горизонтов, сформированных глубже слоя 0-30 см (Петров, 2017).

В качестве первого этапа работ в данном направлении проведен сравнительный анализ почвенных, климатических показателей осенне-зимнего, зимнего, зимне-весеннего периодов, соответствующих аридным условиям с показателями вегетационного периода растений, выращиваемых в гумидных условиях северных широт. При этом выявлен целый ряд комбинаций этих показателей, определяющих направление почвообразовательных процессов зимнего периода.

Наиболее важной характеристикой является соотношение нисходящих и восходящих потоков влаги по почвенному профилю, определяющее тип водного режима. Если признаками промывного типа водного режима в гумидных условиях северных широт служат современные почвообразовательные процессы, то для аридных условий преобладание нисходящих токов влаги над восходящими характеризует сезонные миграции, обусловленные циклически повторяющимися элементами климата (Роде, 1968; Залибеков, 2021).

Такая же специфика характерна и для соотношения испарения к величине выпадающих атмосферных осадков. Преобладание нисходящего тока влаги над восходящим и количества осадков – над испарением в зимний и зимне-весенний периоды определяют общность гидротермического режима аридных и гумидных условий, а также обуславливает биологическую

равнозначность климатических ресурсов.

Комбинации почвенных свойств аридных земель функционируют в условиях ограниченного зимним периодом времени и имеют временный обратимый характер. В гумидных условиях северных широт этот показатель является одним из основных признаков общего направления почвообразовательного процесса (Ковда, 1994).

Важное значение для оценки агроклиматических показателей регионов аридных земель имеет продолжительность периода с суммой среднесуточных температур $> 10^{\circ}\text{C}$ и гидротермическим коэффициентом (ГТК) более единицы (табл. 2). При этом использованы данные основных метеостанций с указанием календарных сроков начала, окончания и продолжительности этих показателей (Агроклиматический справочник ..., 1973). Эти показатели являются определяющими при выращивании кормовых культур и усовершенствовании технологии использования пастбищ. Обработанные данные метеостанций охватывают полосу, расположенную в пределах широт: южная – Ленкорань – 39° с.ш., северная – Яшкуль (Калмыцкая АССР) – 45° с.ш. (Бананова, 1986).

Таблица 2. Показатели периода с суммой активных температур и ГТК > 1 (по данным метеостанции аридной зоны).

Метеостанция	Северная широта, градусы	Период с температурой $> 10^{\circ}\text{C}$ и ГТК > 1		
		Календарные сроки	Продолжительность в днях	Сумма температур $> 10^{\circ}\text{C}$
Махачкала (Россия)	43	28.03-04.05 20.09-20.10	80	1300
Дербент (Россия)	42	24.03-08.05 22.09-25.10	78	1252
Яшкуль (Республика Калмыкия)	45	01.04-10.05 22.09-22.10	70	1000
Ленкорань (Азербайджанская Республика)	39	15.03-25.04 30.09-30.10	78	1260
Самарканд (Узбекистан)	40	15.03-20.04 01.10-04-11	69	1100
Китаб (Узбекистан)	39	19.03-29.09 28.09-05.11	77	1280
Ташкент (Узбекистан)	41	05.04-10.05 20.09-22.10	62	1000
Чимкент (Казахстан)	42	06.09-12.05 15.09-10.10	63	1100

Протяженность полосы с севера на юг составляет 500-600 км. Сумма активных температур в этой полосе колеблется в небольшом диапазоне, продолжительность периода с суммой активных температур 1200° и более составляет 80-90 дней (Кулик, 2020).

Данные по регионам, расположенным в полосе 65° с.ш. (Архангельск) и 61° с.ш. (Котлас-Сыктывкар), включают сумму среднесуточных активных температур и продолжительность периода с температурой $> 10^{\circ}\text{C}$. Календарные сроки и продолжительность периода, отвечающего требованиям растений эфемерного типа развития в аридных условиях южных широт и гумидных условиях северных широт, близки по показателям и в целом укладываются в пределах диапазона, рекомендованного агротехникой. Отличительной чертой рассматриваемого периода по зонам являются различия в сроках и характере распределения легкорастворимых солей по сезонам года.

А) В аридной зоне период вегетации растений распадается на две части – предзимний и после зимний – и прерывается низкой температурой зимнего периода. В почвах наблюдается перераспределение солей (особенно токсичных форм NaCl и KCl), оказывающих рассаливающее положительное влияние на формирование целевого функционирования засоленных почв.

Б) В гумидных увлажненных условиях комбинации миграционной динамики протекают в

интервале сроков, находящихся между весенними и осенними сроками. В регионах северных широт отсутствуют процессы засоления-рассоления, и миграция осуществляется в ограниченном масштабе. Вертикальной миграцией представлены в нисходящем и восходящем направлениях водные потоки в южных засушливых регионах. Общая продолжительность вегетационного периода, определяющая целевое функционирование почв, составляет 80-90 дней.

Таблица 3. Содержание легкорастворимых солей в луговой солончаковой среднесуглинистой почве (в числителе – мг-экв., в знаменателе – %).

Глубина см	Горизонт	Сухой остаток %	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
Весна (17.04.1985)								
0-18	A	0.20	$\frac{0.44}{0.027}$	$\frac{1.12}{0.039}$	$\frac{0.67}{0.032}$	$\frac{0.30}{0.006}$	$\frac{0.20}{0.002}$	$\frac{1.73}{0.040}$
18-28	B	0.88	$\frac{0.38}{0.023}$	$\frac{7.31}{0.256}$	$\frac{4.81}{0.231}$	$\frac{1.60}{0.032}$	$\frac{1.00}{0.012}$	$\frac{9.80}{0.228}$
35-45	BC	2.62	$\frac{0.24}{0.015}$	$\frac{14.96}{0.524}$	$\frac{21.92}{1.053}$	$\frac{3.00}{0.06}$	$\frac{4.50}{0.054}$	$\frac{29.60}{0.681}$
58-68	Сд	3.43	$\frac{0.12}{0.007}$	$\frac{31.11}{1.089}$	$\frac{19.83}{0.952}$	$\frac{13.50}{0.270}$	$\frac{9.75}{0.117}$	$\frac{27.81}{0.639}$
90-100	Сд	1.39	$\frac{0.14}{0.008}$	$\frac{2.74}{0.098}$	$\frac{1.42}{0.068}$	$\frac{5.00}{0.100}$	$\frac{5.00}{0.060}$	$\frac{9.85}{0.226}$
Лето (30.07.1985)								
0-18	A	0.18	$\frac{0.26}{0.016}$	$\frac{1.39}{0.046}$	$\frac{0.18}{0.009}$	$\frac{0.35}{0.007}$	$\frac{0.10}{0.001}$	$\frac{1.31}{0.030}$
18-28	B	1.19	$\frac{0.62}{0.037}$	$\frac{3.70}{0.119}$	$\frac{14.39}{0.691}$	$\frac{1.00}{0.020}$	$\frac{1.00}{0.012}$	$\frac{3.45}{0.079}$
35-45	BC	2.08	$\frac{0.28}{0.017}$	$\frac{24.00}{0.840}$	$\frac{9.85}{0.473}$	$\frac{4.00}{0.80}$	$\frac{11.0}{0.132}$	$\frac{19.13}{0.4339}$
58-68	Сд	3.83	$\frac{0.42}{0.025}$	$\frac{27.00}{0.945}$	$\frac{17.17}{1.304}$	$\frac{6.50}{0.130}$	$\frac{6.50}{0.078}$	$\frac{41.56}{0.955}$
90-100	Сд	2.02	$\frac{0.020}{0.18}$	$\frac{18.00}{0.630}$	$\frac{21.04}{1.010}$	$\frac{5.60}{0.100}$	$\frac{10.50}{0.126}$	$\frac{23.4}{0.648}$
Осень (18.09.1985)								
0-18	A	0.21	$\frac{0.21}{0.013}$	$\frac{2.74}{0.095}$	$\frac{0.66}{0.320}$	$\frac{0.65}{0.011}$	$\frac{1.03}{0.012}$	$\frac{2.03}{0.046}$
18-28	B	1.38	$\frac{0.80}{0.048}$	$\frac{14.00}{0.490}$	$\frac{4.71}{0.226}$	$\frac{1.50}{0.030}$	$\frac{1.50}{0.018}$	$\frac{16.51}{0.0379}$
35-45	BC	2.40	$\frac{0.28}{0.017}$	$\frac{30.80}{1.078}$	$\frac{11.14}{0.534}$	$\frac{3.00}{0.060}$	$\frac{10.50}{1.26}$	$\frac{28.72}{0.660}$
58-68	Сд	3.60	$\frac{2.8}{0.174}$	$\frac{35.00}{1.215}$	$\frac{22.28}{10.69}$	$\frac{9.00}{0.180}$	$\frac{16.00}{0.192}$	$\frac{35.14}{0.808}$
90-100	Сд	1.93	$\frac{0.34}{0.020}$	$\frac{19.00}{0.665}$	$\frac{11.14}{0.534}$	$\frac{2.00}{0.40}$	$\frac{10.50}{0.126}$	$\frac{12.98}{0.413}$

Продолжительность осенне-зимнего периода и высокая степень увлажнения почв создают благоприятные условия для растений с коротким вегетационным периодом в условиях сильнозасушливого климата. Выявлена схожесть в параметрах условий холодного периода аридной зоны (по накоплению влаги) с теплым периодом гумидных условий. На этой основе формируется теоретическая концепция сохранения целевого функционирования почв в безводных условиях полупустыни. Установленная закономерность подтверждает наличие возможностей реализации продукционных процессов засоленных почв. Оценка степени влияния засоления на целевые функции

почв проводится по результатам анализов на содержание легкорастворимых солей и карбонатов в луговой солончаковой почве по отдельным сезонам (Горохова, Чурсин, 2021). Практическое значение концепции сводится к реализации ресурсов для выращивания на деградированных пастбищах кормовых растений, используя ниши образуемых миграционными процессами комбинаций (табл. 3; Зонн, 1990; Горбов и др., 2022).

Закономерности изменения отдельных свойств почв, связанные с миграционными комбинациями солей, считаем целесообразным выделить в качестве приоритетного показателя, определяющего основную целевую функцию засоленных почв. Выявление роли этого фактора представляется возможным при определении его функций для выращивания кормовых растений с применением системного подхода исследований. Изучение почвенных ресурсов с поверхностным залеганием солевого горизонта свидетельствует о ведущей роли генетического происхождения и факторов фонового почвообразования. Для подробной характеристики накопления солей оценка почвы проводится по химизму засоления и миграции солевых скоплений с применением общепринятых методов анализов (Аринушкина, 1978).

Содержание сухого остатка солей в слое 0-20 см не превышает показателей слабой степени засоления. Содержание бикарбонатов HCO_3 в весенний период составляет 0.44 мг-экв./100 г почвы, в летний период их показатель немного снижается. Максимальное количество солей в составе почвы приходится на долю хлоридов натрия, что связано с повышением содержания щелочных металлов и высокими температурами летнего периода. Содержание хлористых солей заметно увеличивается в летний период, что обусловлено их высокой подвижностью в условиях усиления засушливости климата. В осенний период содержание хлор-иона достигает максимальных величин в слое 0-18 см – 274 мг-экв./100 г почвы. Сухой остаток максимальной величины достигает 1.3% в осенний период. Глубина залегания соленосного горизонта и характер распределения солей соответствуют уровню плодородия и мелиоративного состояния почв (Зонн, 1946).

Общая тенденция увеличения содержания солей с глубиной сохраняется в течение года, подтверждая высокую степень засоления почвообразующих пород. Кроме того, в химизме засоления, где преобладают щелочные металлы, принимают участие карбонатные ионы CO_3 и HCO_3 . Анионы органических кислот, где основная роль принадлежит карбонатной щелочности, подвергаются изменению под влиянием аридного климатического режима. Карбонатная щелочность в составе достигает максимальной величины и присутствует в нейтральных и щелочных почвах, усиливая процессы аридизации и опустынивания (Бабаев, 1989; Буданцев и др., 2004).

Анализ химизма засоления почв в сезонной миграции солей при засушливом климатическом режиме показывает изменение щелочности почв в разные сезоны года. В периоды с высокой степенью увлажнения почв (ранневесенний, осенний) щелочность почв по содержанию Na^+ и K^+ остается без изменений. При переходе к летнему сезону отмечается тенденция увеличения. Данное явление по географическим ареалам выходит за рамки региона и зависит от многих факторов. В этой связи рекомендуется провести дополнительные эксперименты по выяснению механизма образования щелочных почв как одного из элементов системного изучения процессов опустынивания (Кендал, Стюарт, 1973).

Прикладная значимость проведенных исследований базируется на учете сезонных процессов рассоления корнеобитаемой толщи почвенного профиля. Установлено, что продолжительность нисходящих потоков почвенных растворов, способствующих рассолению (выносу) солей, и сумма активных температур в регионе соответствуют требованиям кормовых растений с короткой вегетацией развития. Для иллюстрации наличия таких возможностей приводятся данные, характеризующие требовательность отдельных культур к сумме активных среднесуточных температур и продолжительности вегетационного периода (табл. 4).

Требовательность растений к сумме суточных температур $> 10^\circ\text{C}$ и продолжительность вегетации, включая стадию накопления фитомассы, соответствуют растениям эфемерного типа развития, имеющим широкий ареал распространения. Почвенный покров, солевой режим которого находится в состоянии, удовлетворяющем требования кормовых растений, предлагается определить как одну из целевых комбинаций функционирования засоленных почв региона. Эфемерная растительность (мятник луговой, мартук пшеничный) развивается в почвенных условиях с параметрами свойств ранневесеннего и осенне-зимнего периодов. Временное функционирующее

состояние, создаваемое в профиле луговых солончаковых почв, рекомендуется оценивать по их целевому функционированию (Залибеков, 2021).

Таблица 4. Сумма активных температур и продолжительность вегетации некоторых кормовых растений.

Кормовое растение	Сумма суточных температур 10°C	Продолжительность в днях		
		Вегетация	Фаза накопления фитомассы	Появление 1-го листа после посева
Рапс озимый	1100-1400	80-100	50-80	15-18
Горчица белая	1000-1200	70-100	60-90	20-30
Клевер красный	900-1300	70-100	60-90	20-30
Овес посевной	1000-1400	60-90	50-70	30-40
Ячмень короткоостый	900-1200	70-90	–	–
Арктофила бурая	800-1200	50-60	–	–
Горох красноцветный	900-1500	80-110	60-90	25-30

Выявленные различия в состоянии засоленных почв коренным образом отличаются от элементов целевого функционирования. Это достоверно определяет целесообразность изменения почв с применением системного подхода. Сезонное рассоление почв и миграционные процессы выступают в качестве методической основы оценки продукционных ресурсов (Баламирзоев, 1997).

Учитывая значение потенциала изученных ресурсов, была предпринята попытка применить методы системного изучения для реализации предложений, направленных на освоение продукционных ресурсов почв. Обработка данных метеостанций по продолжительности периода с гидротермическим коэффициентом ≥ 1 и среднесуточной температурой $> 10^\circ\text{C}$ позволила выбрать кормовые растения, вегетационный период которых укладывается в рамках параметров, установленных для целевого функционирования засоленных почв (рис.).

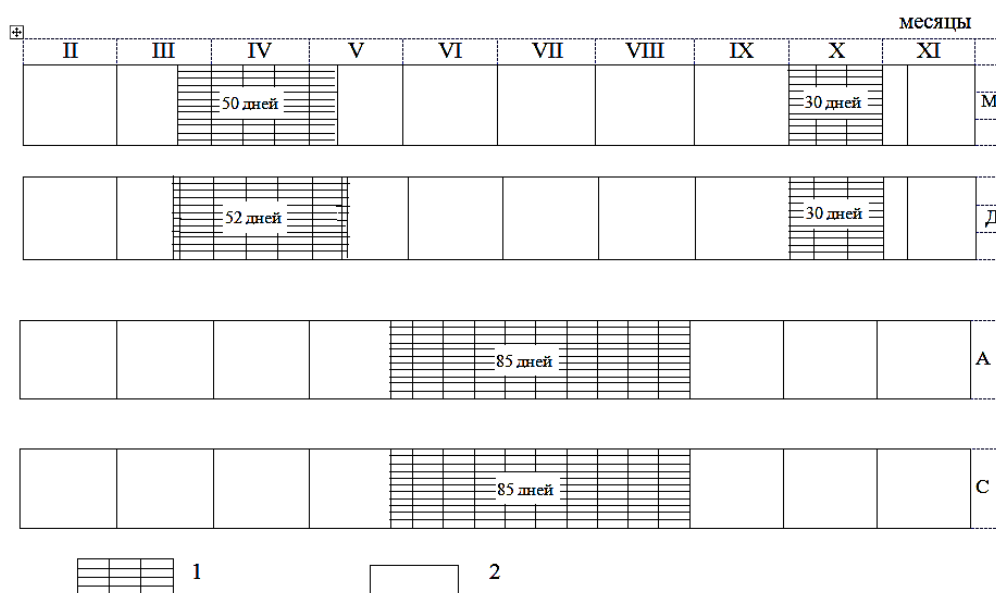


Рис. Продолжительность с ГТК > 1 и температурой $> 10^\circ\text{C}$. Условные обозначения: 1 – период с ГТК ≥ 1 и температурой $> 10^\circ\text{C}$; 2 – период с избытком и недостатком влаги, М – Махачкала, Д – Дербент, А – Архангельск, С – Сыктывкар.

Сравнительный анализ продолжительности благоприятных климатических условий, необходимых для вегетации растений увлажненного осенне-зимнего и зимне-весеннего сезонов

южных регионов и теплого переменного влажного и северных регионов, показывает их соответствие по указанным параметрам с разницей в их распределении в течение года. Для регионов, расположенных севернее 60° с.ш., гидротермический коэффициент составляет $K = 1.2-1.4$, а для регионов южной полосы (Махачкала, Дербент) $K = 0.25-0.40$. Схема распределения периодов и их продолжительности основана на использовании запасов почвенной влаги, накопленной в рассолительный ранневесенний и зимний периоды (Салманов, 1966).

Процессы засоления-рассоления почв по отдельным сезонам, особенно в поверхностном слое, характеризуются локальной сезонной спецификой. Корнеобитаемый слой 0-20 см содержит незначительное количество солей с заметным повышением с глубиной. В весенний период гумусовые горизонты имеют сульфатно-хлоридное и сульфатное засоление, с относительно низким содержанием солей. Растительный покров представлен злаково-эфемерными сообществами с участием солончаковой полыни (Яруллина, 1983).

Смена типов миграционных комбинаций солей, включая динамику накопления почвенной влаги, создает элементы плодородия почв в течение периода прохождения нисходящих токов влаги растений с продолжительностью 60-90 дней. Такая продолжительность периода с температурой $> 5^{\circ}\text{C}$ способствует наступлению полной физиологически зрелой фазы развития кормовых растений: рапса озимого, клевера красного, гороха красноцветного и др.

Эксперименты по изучению сезонной ротации рапса озимого подтвердили реальность формирования условий среды, соответствующих требованиям отдельных кормовых культур. Основным фактором формирования выявленного ресурса и продолжения вегетации растений является накопление корневой массы эфемеров и разнотравья при рассолении поверхностного слоя 0-20 см и формирование рассолительного миграционного процесса. При этом накапливается подземная фитомасса разнотравья, видов петросимонии и солянки многолетней. Происходит ярусное распределение подземной фитомассы и увеличение продолжительности вегетации, что является одним из элементов целевого функционирования почв.

Влияние ярусного распределения корневой системы растений на формирование среды обитания растительных сообществ раскрывается при условии применения системного подхода в изучении горизонтов функциональных свойств почв (Фридланд, 1965).

Смена условий весеннего периода летними сопровождается увеличением легкорастворимых солей в корнеобитаемом слое 0-30 см до величины сухого остатка – 2.08%, бикарбонатов HCO_3 – 0.62 мг-экв., хлора – 23.37 мг-экв. Высокое содержание солей хлора, соответствующее нижней половине корнеобитаемого слоя, сезонным изменениям не подвергается. Летний период с принятыми параметрами отличается значительной продолжительностью (105-120 дней), в это время происходит медленное и стабильное увеличение общего содержания солей. Этот фактор выделяется как определяющее условие целевого функционирования засоленных почв региона (Зонн, 1978).

Качественные изменения, происходящие в составе солей, проявляются в увеличении ионов Cl и SO_4 за счет подтяжки из нижних глубин. Слой, где в весенний период преобладают сульфаты, на глубине 0-30 см к летнему периоду становится хлоридным. Выявляются варианты миграции солей и слабовыраженная тенденция их накопления в слое 0-27 см. При этом увеличивается сухой остаток и хлористые соли Na и K . С процессами миграции отдельных ионов аккумуляция их солей приводит к стабилизации высокой степени засоления. Состав засоленных почв аридных территорий характеризуется явлением миграции отдельных ионов с нисходящими и восходящими токами, которые зависят от степени растворимости солей. Можно полагать, что различия, формирующиеся в видовом составе растений после перехода к летнему периоду, связаны с изменением мигрирующего количества анионов, катионов и сухого остатка солей (Розанов, 1984).

Выводы

Рассмотрены принципы системного подхода целевого функционирования засоленных почв, выявлены способы реализации продукционных ресурсов с характеристикой роли сезонной миграции легкорастворимых солей (Розанов, 1984).

1. Применение системного подхода при анализе изменений, происходящих в профиле луговых солончаковых почв под влиянием сезонной миграции легкорастворимых солей по почвенному профилю, дало основание определить функции отдельных горизонтов. Классификационный уровень

изменений по качественно-количественному составу солей сохраняется в диапазоне различных типового разделения с формированием самостоятельного генетического типа почв, характеризующего зональные условия (Вернадский, 1954).

2. При системном анализе целевого функционирования засоленных почв разной степени достоверно выявлена ведущая роль переходного морфологического горизонта профиля и химизма засоления почв аридных условий. Критериальную значимость здесь имеет отсутствие влияния гумусово-аккумулятивного горизонта в накоплении фитомассы и обеспечении растений питательными элементами. При этом формируются функции, благоприятные для создания среды обитания живых организмов – плодородия почв.

3. Наиболее важной характеристикой является отношение величин нисходящих и восходящих токов влаги по почвенному профилю, определяющие динамику солончакового процесса. Преобладающая роль последнего, обусловленная восходящими токами воды, в верхнем полуметровом слое накапливает влагу, потребляемую растениями эфемерного типа развития с коротким периодом вегетации. Формируется процесс экологического высвобождения системных ресурсов отдельных генетических горизонтов. Миграция водно-солевых потоков и эффект рассоления, образуемый комбинациями солей, создают запасы воды в качестве нового дополнительного источника водного ресурса.

4. Закономерности изменения отдельных компонентов солевого состава почв, связанные с миграционными комбинациями солей, целесообразно выделить в качестве приоритетного показателя целевой функции засоленных почв. Выявление роли этого фактора представляется возможным с определенными функциями при возделывании кормовых растений и применении системного подхода исследований. Динамика развития почвенного покрова при поверхностном залегании солевого горизонта показывает ведущую роль генетического происхождения почв и факторов природного почвообразования. Содержание сухого остатка солей в поверхностном слое сохраняется ниже уровня слабого засоления в течение круглого года. Максимальное количество в составе солей приходится на долю хлоридов Na и K, что связано с увеличением щелочных металлов под влиянием высоких температур летнего периода. Высокая подвижность хлористых соединений Na^+ и K^+ в летний сезон достоверно объясняется активной их подвижностью в условиях засушливого климата (Любимова, 2022).

5. Различия в свойствах почвенных горизонтов по химизму засоления сводятся к изменению соотношения ионов Cl^- и SO_4^{2-} , перемещению солевых растворов по вертикальному профилю с нисходящими и восходящими токами воды. Нисходящие токи приурочены к зимне-весенним и весенним периодам с выносом солей глубже корнеобитаемой толщи. Процесс протекает в течение 60-70 дней, достаточных для накопления наземной фитомассы кормовыми растениями с коротким периодом вегетации. Восходящие токи протекают в летний, летне-осенний периоды со значительной протяженностью во времени (100-120 дней) с накоплением легкорастворимых солей. Целевое функционирование почв и продуктивность оцениваются по величине водных ресурсов, накопленных в период прохождения нисходящих токов влаги.

6. Нисходящие токи влаги луговой солончаковой почвы обуславливаются количеством осадков < 200 мм, температурой $> 10^\circ\text{C}$, продолжительностью периода с гидротермическим коэффициентом ≥ 1 . Это способствует увеличению мощности сезонно промытых атмосферными осадками слоев с переходом хлоридного типа засоления к хлоридно-сульфатному, сульфатному. Горизонт максимального содержания солей поднимается до нижней границы корнеобитаемого слоя почв, способствуя формированию рассоленной толщи профиля с благоприятными свойствами в виде продукционных ресурсов. Реализация возможностей, выявленных при системном изучении ресурсов, связана с возделыванием кормовых растений фитомелиорантов для улучшения деградированных пастбищных земель Прикаспийской низменности.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках госзадания Института геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН «Геоэкологические особенности Кавказско-Каспийского региона: ландшафты, геосфера, почвенный покров», регистрационный номер НИОКТР АААА-А-17-117021310202-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматический справочник по ДАССР. 1973. Ленинград: Гидрометеиздат СССР. 84 с.
- Акаев Б.А. 1996. Гидрогеологическое строение Дагестана // Физическая география Дагестана. М.: Школа. С. 32-68.
- Акимцев В.В. 1957. Почвы Прикаспийской низменности Кавказа. Ростов-на-Дону: Ростовский-на-Дону государственный университет имени В.М. Молотова. 282 с.
- Ариунушкина Е.В. 1978. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 488 с.
- Бабаев А.Г. 1989. Историко-географический анализ динамики пустынных экосистем // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 18-25.
- Багачев В.П., Иманкулов М.Ж. 1986. Методы пространственного анализа засоленных почв Казахской ССР. Алма-Ата: Наука. 186 с.
- Баламирзоев М.А. 1997. Качественная оценка почв Прикаспийской низменности Дагестана // Экологические проблемы Прикаспийской низменности. Вып. III. Махачкала. С. 35-49.
- Бананова В.А. 1986. Методические указания по изучению процессов опустынивания аридных территорий Калмыцкой АССР. Элиста: КГУ. С. 59-67.
- Борисов А.В., Алексеев О.А. 2020. К вопросу о времени и процессах возникновения солонцового процесса в почвах пустынных степей юга-востока Русской равнины // Аридные экосистемы. № 1. С. 33-42. [Borisov A.V., Alekseev A.O. 2020. Timing and Causes of the Origin of the Solonetz Process in the Desert-Steppe Soils of the Southeastern Russian Plain // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 1. P. 27-35.]
- Беляев А.И., Кулик К.Н. 2022. Агроресомелиорация – основа экологически безопасного и экономически эффективного сельского хозяйства // Научно-агрономический журнал. № 2. С. 7-12.
- Буданцев Н.В., Морозова Е.В., Котельникова К.С. 2004. К оценке целевого функционирования почв // Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов России. Т. 2. С. 252.
- Вернадский В.И. 1954. Очерки по геохимии // Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 245 с.
- Горбов С.Н., Безуглова О.С., Скрипников П.Н., Тищенко С.А. 2022. Растворимое органическое вещество в почвах Ростовской агломерации // Почвоведение. № 7. С. 894-909.
- Горохова И.И., Чурсин И.К. 2021. Карбонаты в орошаемых почвах Прикаспийской низменности // Аридные экосистемы. № 2. С. 90-97. [Gorokhova I.N., Chursin I.N. 2021. Carbonates in Irrigated Soils of the Caspian Depression // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 2. P. 193-199.]
- Докучаев В.В. 1985. К вопросу о соотношении между живой и мертвой природой // Сочинения. Т. 2. С. 89-97.
- Драйпер Н., Смит Г. 1986. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика. 366 с.
- Залибеков З.Г. 2021. Потенциал биопродуктивных ресурсов почв, источники возобновления // Аридные экосистемы. № 1. С. 100-105. [Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Biarslanov A.B., Asgerova D.B., Magomedov R.A. 2021. Potential for Bioproduction Resources in the Soil Cover: Their Use and Sources of Renewal // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 1. P. 11-17.]
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Асгерова Д.Б. 2019. Об использовании подземных пресных вод засушливых регионов // Аридные экосистемы. Т. 25. № 2. С. 3-12. [Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Biarslanov A.B., Magomedov R.A., 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.]
- Засоленные почвы России. 2006 / Ред. Л.Л. Шишков, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ, Академкнига. 854 с.
- Зонн С.В. 1946. Опыт естественноисторического районирования Дагестана. М.: Изд-во АН СССР. С. 89-99.
- Зонн С.В. 1978. Вопросы преобразования почв Дагестана в связи с интенсификацией их освоения // Биологическая продуктивность почв дельтовых экосистем. Махачкала. С. 68-74.
- Зонн И.С. 1990. О подходах к технологии опустынивания // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 20-28.
- Каптанов А.М. 1999. Дегградация почв, опустынивание и меры борьбы по их предотвращению в адаптивно-ландшафтном земледелии // Материалы международной научной конференции «Опустынивание и дегградация почв». М. С. 66-73.
- Кендал М., Стюарт А. 1973. Статические выводы и связи. М.: Наука. 180 с.
- Керимханов С.У. 1972. Закономерности эрозионных процессов в сухих горных экосистемах // Вопросы рационального использования почв Дагестана. Махачкала: Дагкнигиздательство. С. 42-56.
- Ковда В.А. 1975. Биосфера почвы и их использование // Доклады на I Пленарном заседании X Международного конгресса почвоведов // Почвоведение. № 1. С. 6-14.
- Ковда В.А. 1994. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука. 127 с.
- Кулик К.Н. 2020. Оценка, картографирование, мониторинг и прогноз опустынивания // Антропогенная дегградация ландшафтов и экологическая безопасность. Сборник лекций международных учебных курсов. М.-Волгоград: ЮНЕП/ЦМП/ВНИАЛМИ. С. 142-151.
- Любимова И.Н. 2022. Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата // Почвоведение. № 10. С. 1290-1301.
- Мирзоев Э.М.-Р. 1992. Способ конденсации парообразной влаги в почве. А.с. № 1732829.
- Неуструев С.С. 1915. О почвенных комбинациях равнинных и горных стран // Почвоведение. № 1. С. 62-73.

- Петров В.И.* 2017. Особенности опустынивания и лесомелиорация пастбищ в Прикаспии // Материалы Международной научной конференции «Опустынивание и деградация почв». М. С. 386-392.
- Прокопьева К.О., Конюшкова М.В., Новикова Н.М., Соболев И.В.* 2021. Цифровая фитоиндикация засоления почв в сухой степи (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. № 2. С. 68-81.
- Резников Н.И.* 1999. Практико-организационная работа по восстановлению деградированных кормовых угодий // Материалы международной научной конференции «Опустынивание и деградация почв». М. С. 386-398.
- Роде А.А.* 1968. Водный режим и баланс целинных почв полупустынного комплекса // Водный режим почв и водный баланс целинных почв полупустынного комплекса полупустыни. М.: Наука. 244 с.
- Розанов Б.Г.* 1984. Аридизация суши и антропогенное опустынивание // Почвоведение. № 12. С. 65-75.
- Салманов А.Б.* 1966. Краткая агрохимическая характеристика лугово-степной почвы междуречья Акташ-Сулак // Вопросы почвоведения, агрофизики и агрохимии. Т. 3. С. 150-160.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Ахмедов К.М.* 2015. Этапы освоения и современное использование засушливых земель северного Прикаспия // Аридные экосистемы. № 3. С. 81-91. [*Sapanov M.K., Sizemskaya M.L., Akhmedenov K.M.* 2015. Reclamation Stages and Modern Use of Arid Lands in the Northern Caspian Region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. P. 188-193.]
- Соколов И.А.* 1985. Экология почв, как раздел Докучаевского генетического почвоведения // Почвоведение. № 10. С. 89-97.
- Суховеева О.Э.* 2022. Поступление органического углерода в почву с послеуборочными остатками сельскохозяйственных культур // Почвоведение. № 6. С. 737-747.
- Фридланд В.М.* 1965. О структуре (строении) почвенного покрова // Почвоведение. № 4. С. 32-40.
- Фридланд В.М.* 1986. Проблемы географии генезиса и классификации почв. М.: Наука. 245 с.
- Яруллина Н.А.* 1983. Биологическая продуктивность почв дельты Терека. М.: Наука. 86 с.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 502/504+631.4

СОХРАНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СТЕПЕЙ
НА ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

© 2024 г. О.В. Чернова*, А.А. Присяжная**

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: ovcher@mail.ru

**Институт фундаментальных проблем биологии РАН
Россия, 142290, Московская обл., г. Пуцино, ул. Институтская, д. 2. E-mail: alla_pris@rambler.ru

Поступила в редакцию 01.04.2024. После доработки 04.04.2024. Принята к публикации 10.04.2024.

Основу природно-заповедного фонда России составляют федеральные государственные заповедники, национальные парки и заказники, репрезентативность которых в отношении разнообразия природных комплексов, включая почвы, является основным механизмом охраны природного разнообразия. Методом геоинформационного анализа оценена площадная и типологическая представленность природного разнообразия степных почв в системе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) страны на основе векторных карт: Почвенной карты России масштаба 1 : 2500000 (объединенная версия «Почвенной карты РСФСР» и «Почвенной карты Крыма») и «Карты почвенно-экологического районирования Российской Федерации» масштаба 1 : 8000000. Площадь, занимаемая степными почвами в России, составляет 1564 тыс. км² (9.4% общей площади почв страны), из них 7.4% приходится на почвы степей (включая лесостепи и настоящие степи) и 2.0% – на почвы сухих степей и полупустынь. В ООПТ степные почвы занимают 11.5 тыс. км² и встречаются в 23 заповедниках, 14 национальных парках и 13 заказниках. Современная площадная репрезентативность степных ООПТ очень низка: менее 0.5% для группы «Почвы степей» и около 2% для группы «Почвы сухих степей и полупустынь». Из 55 степных почв – выделов легенды «Почвенной карты России» – в федеральных ООПТ представлено 58%, при этом заповедники, на которые приходится пятая часть общей площади степных ООПТ, обеспечивают 81% типологической репрезентативности. В настоящее время в ООПТ не представлены многие естественные степные почвы России, в том числе наиболее плодородные. Самый значительный по площади компактный массив таких почв расположен в Предкавказье. Наибольшую площадь здесь занимают черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные или чернозёмы миграционно-сегрегационные по «Классификации и диагностике почв России» (2004)), их площадь – около 98 тыс. км² (7.9% площади почв степей России). Существует реальная угроза потери последних целинных представителей типичных для Предкавказья высокоплодородных почв: черноземов южных и обыкновенных, темно-каштановых, каштановых (по «Классификации и диагностике почв России» – чернозёмы (миграционно-сегрегационные), черноземы текстурно-карбонатные, каштановые типичные). Сохранение этих почв в целинном состоянии хотя бы в качестве образцов для сравнения с антропогенно-измененными аналогами требует инвентаризации всех участков их распространения и присвоения им охранного статуса.

Ключевые слова: почвы степей, разнообразие почв, репрезентативность охраняемых территорий, геоинформационный анализ, геоинформационное картографирование, заповедники, национальные парки, заказники.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-49-59

EDN: LZEUUE

В степных и лесостепных регионах России сосредоточена большая часть сельскохозяйственных земель страны, следствием чего является их экстремально высокая антропогенная измененность. По мнению А.А. Чибилева (1999), за XX век степная зона Евразии стала самым пострадавшим

ландшафтом планеты. В Европейской части России целые типы степных экосистем, например, луговые и настоящие степи, уничтожены на более чем 90% своей исходной площади, а в некоторых степных регионах Сибири уровень распашки достигает 70% (Тишков и др., 2021a). Плакорные зональные степные экосистемы, включая луговые, настоящие, сухие, опустыненные и сазовые степи, в настоящее время практически уничтожены, в большей мере сохранились ненарушенные и малонарушенные экосистемы интразональных ландшафтов: пойменные, балочные, на выходах коренных пород, на солонцах и солончаках. Проблема прогрессивной деградации степных областей (в широком смысле: от лесостепей до полупустынь) в настоящее время стоит очень остро и активно обсуждается. Так, различные аспекты стратегии сохранения разнообразия степных экосистем и рационального природопользования обсуждаются в работах А.А. Чибилёва с коллегами (Чибилёв, 2022; Гулянов, Чибилёв, 2019; Чибилёв и др., 2021, 2019). Рассмотрению динамики биосферных параметров степных экосистем на региональном и глобальном уровнях, а также разработке стратегий сохранения и восстановления биологического разнообразия в условиях высокой антропогенной преобразованности посвящен целый ряд работ А.А. Тишкова с соавторами (Тишков, Некрич, 2022; Тишков и др., 2021б, 2020).

Антропогенное преобразование степных территорий привело к трансформации почвенного покрова. В наибольшей степени сельскохозяйственным использованием изменены черноземы, которые в России составляют основу пахотного фонда страны: к началу XXI века их удельный вес в общей площади пашни составлял 52.6% (Романенко и др., 1996). В настоящее время черноземные области продолжают являться житницей страны, на них растет нагрузка из-за заброса земель и снижения масштабов сельскохозяйственного производства в регионах с менее благоприятными климатическими и почвенными условиями. Высокая степень распаханности, пастбищный пресс, интенсивное освоение и эксплуатация нефтегазовых месторождений, рост урбанизации ведут к уменьшению площади природных экосистем, усилению эрозии и дефляции, снижению плодородия и деградации почв. Современная распашка черноземов превышает 70%; в отдельных регионах этот процент достигает 80%, притом что, согласно различным оценкам, он не должен превышать 60%, а оптимальные параметры – 40-45% (Национальный атлас почв ..., 2011; Орлова, 2006).

Снижение биологического разнообразия постоянно находится в фокусе внимания природоохранных организаций и ведомств, чего нельзя сказать о разнообразии почв. Притом что типологическое разнообразие почв в большой мере связано с разнообразием экосистем. К экологическим, средообразующим функциям почв (газо-, водорегулирующим, санитарным) почвоведы привлекали внимание еще в конце прошлого века (Добровольский, Никитин, 1990; Daily, 1997), но лишь в последнее время угроза глобального изменения климата привлекает все большее внимание к углероддепонирующему потенциалу почвенного покрова и его роли как центрального узла в биологическом круговороте элементов. Кроме того, пространственная неоднородность педосферы на всех уровнях, от микроагрегатов до комплексности почвенного покрова, обеспечивает сосуществование огромного разнообразия видов растений, животных и микроорганизмов в наземных экосистемах (Ibáñez et al, 1995; Amundson 2000; Добровольский и др., 2011).

Основным механизмом поддержания биологического разнообразия считается сохранение его в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ), однако при планировании развития государственной системы ООПТ необходимость охраны разнообразия природных почв до настоящего времени игнорируется несмотря на то, что имеется целый ряд исследований, посвящённых анализу репрезентативности системы ООПТ в отношении почвенного разнообразия (Чернова, 2012; Присяжная и др., 2016.). Повышение репрезентативности степных ООПТ в отношении почвенного разнообразия особенно актуально в условиях усиливающегося антропогенного воздействия и климатических изменений, поскольку именно в травяных экосистемах доля почвы в секвестрации и депонировании биофильных элементов, в частности, углерода, максимальна. Сравнительный анализ имеющихся оценок продуктивности и запасов органического вещества в подземной и надземной частях травяных экосистем показал, что их надземная биомасса значительно уступает подземной, иногда многократно, как по массе органического вещества, так и по годовичному приросту фитомассы (Абатуров, 2023). Доля почв в общих запасах углерода степных экосистем превышает 90% в отличие от 25-45% (включая подстилку), характерных для лесных почв

(Chernova et al., 2020).

Целью настоящей работы является оценка представленности природного разнообразия степных почв России в системе ООПТ федерального уровня.

Материалы и методы

Геоинформационный анализ репрезентативности федеральных ООПТ Российской Федерации (государственных заповедников, национальных парков и заказников) проведен в системе ArcView GIS. Границы ООПТ оцифрованы в соответствии с установочными документами ООПТ и информацией сайта «Особо охраняемые природные территории России» (2024).

Исследование проведено на основе векторной версии «Почвенной карты РСФСР» (1988) масштаба 1 : 2500000, которая была дополнена «Почвенной картой Крыма» (Урусевская и др., 2019б) того же масштаба, выполненной в соответствии с идеологией и легендой «Почвенной карты РСФСР». Современная версия «Почвенной карты России» (далее – ПКР) представлена на сайте Почвенного дата-центра МГУ им. М.В. Ломоносова (2024).

На основе объединённой ПКР проанализирован состав почвенного покрова федеральных охраняемых территорий и репрезентативность почвенного разнообразия в соответствии с двумя разделами легенды карты («Почвы степей» и «Почвы сухих степей и полупустынь»), включающими 55 картографических выделов. Комплексы почв учтены по преобладающей почве (первая почва в названии комплекса), поскольку площадных соотношений их состава на карте не приводится. При обсуждении представленности разнообразия почв на территории России и в пределах ООПТ использованы названия почв – выделов легенды ПКР, а также приведены названия соответствующих почв по «Классификации и диагностике почв России» (2004; далее – КДПР).

При рассмотрении репрезентативности федеральной системы ООПТ в отношении типичных для различных регионов структур почвенного покрова ориентировались на «Карту почвенно-экологического районирования Российской Федерации» (далее – ПЭР; Урусевская и др., 2019а). Репрезентативность оценивали на уровне опорных единиц ПЭР, которыми в равнинных условиях является почвенная зона (подзона), а в горах – горная почвенная провинция. Согласно карте ПЭР, на территории России выделено 4 почвенных зоны степных равнинных территорий, включающие 23 равнинных почвенных провинции и 6 горных почвенных провинций, в низкогорьях которых преобладают степные почвы с соответствующими экосистемами. В пределах зон, равнинных и горных почвенных провинций оценивали наличие ООПТ федерального уровня, заповедников, национальных парков и заказников, а также их репрезентативность на основе сопоставления почвенного покрова ООПТ и территориальной единицы ПЭР в целом. Таким образом, проанализирован состав почвенного покрова ООПТ, расположенных в пределах степных зон карты ПЭР: зоны оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи, зоны обыкновенных и южных черноземов степи, зоны темно-каштановых и каштановых почв сухой степи, зоны светло-каштановых и бурых почв полупустыни, а также указанных выше горных почвенных провинций Суббореального пояса.

Результаты и обсуждение

Федеральные ООПТ степных регионов. Согласно картографической оценке на основе карты ПЭР, в степных областях страны в настоящее время расположены 61 ООПТ федерального уровня (26 государственных заповедников, 16 национальных парков и 19 федеральных заказников), в т.ч. 16 горных охраняемых территорий, включающих степные ландшафты низкогорий и межгорных впадин (8 заповедников и 7 национальных парков, 1 заказник; табл.).

Общая площадь почвенного покрова степных природных охраняемых территорий (без акваторий и непочвенных образований) составляет 57 тыс. км²: 21 тыс. км² приходится на заповедники, 24 тыс. км² – на национальные парки, 12 тыс. км² – на государственные заказники. Однако многие охраняемые территории приурочены к интразональным позициям: пойменным и балочным ландшафтам, водно-болотным угодьям, выходам нетипичных почвообразующих пород. Из 26 государственных заповедников в степных областях России лишь в 5 большая часть площади занята степными почвами с соответствующими экосистемами. В 20 (из 61) федеральных ООПТ степных регионов степные почвы вообще не представлены или занимают площадь менее 5% территории (табл.).

Таблица. Площадь степных почв в ООПТ, % к площади ООПТ.

ООПТ	Более 80		30-80		5-30		Менее 5		
	№	Название	№	Название	№	Название	№	Название	
Государственные заповедники	1	Белогорье	6	Ростовский	9	Воронежский	19	Астраханский	
	2	Богдинско-Баскунчакский	7	Хоперский	10	Воронинский	20	Байкало-Ленский	
	3	Оренбургский	8	Черные земли	11	Дагестанский	21	Галичья гора	
	4	Центрально-черноземный			12	Даурский	22	Жигулевский	
	5	Шайтан Тау*			13	Ильменский	23	Лебяжьих островов	
					14	Казантипский	24	Присурский	
					15	Опукский	25	Саяно-Шушенский	
					16	Приволжская лесостепь	26	Убсунурская котловина	
					17	Тигирекский			
					18	Хакасский			
	Национальные парки	27	Хвалынский	29	Чаваш Вармане	31	Башкирия	37	Алханай
		28	Кисловодский	30	Припышминские боры	32	Бузулукский бор	38	Нижняя Кама
						33	Орловское полесье	39	Смольный
						34	Прибайкальский	40	Тункинский
						35	Самарская лука	41	Шушенский бор
						36	Сенгилеевские горы	42	Самурский
	Заказники	43	Долина Дзерена	50	Цасучейский бор	53	Аграханский	56	Алтачейский
44		Каменная степь	51	Кирзинский	54	Сурский	57	Белоозерский	
45		Меклетинский	52	Сарпинский	55	Цейский	58	Воронежский	
46		Саратовский					59	Красный Яр	
47		Старокулаткинский					60	Приазовский	
48		Цимлянский					61	Самурский	
49		Харбинский							

Примечание к таблице: * – жирным шрифтом обозначены ООПТ горных провинций, в которых представлены степные почвы низкогорий.

Площадная и типологическая представленность почв в федеральных степных ООПТ. Репрезентативность сети степных ООПТ федерального уровня в отношении почвенного покрова оценивали на основе информации ПКР по двум параметрам: площадной представленности – относительной площади степных почв в пределах ООПТ, типологической – числу почвенных разновидностей (на уровне выделов легенды ПКР), встречающихся в ООПТ.

В России степные почвы занимают 1564 тыс. км², что составляет 9.4% площади почв страны, из которых 1238 тыс. км² (7.4%) приходится на группу «Почвы степей» и 326 тыс. км² (2.0%) – на группу «Почвы сухих степей и полупустынь». Ареалы почв и комплексов почв степных регионов представлены в 50 охраняемых природных территориях федерального статуса: в 23 заповедниках, 14 национальных парках и 13 заказниках. Распространение почв степей в России и размещение федеральных ООПТ, на территории которых встречаются эти почвы, демонстрирует рисунок 1. Степные почвы могут занимать совсем небольшую площадь – менее 100 га – или распространяться практически на всю ООПТ. Общая площадь степных почв в ООПТ составляет 11.5 тыс. км² (по 21% приходится на заповедники и национальные парки, 58% – на государственные заказники).

Площадная представленность степных почв и почвенных комплексов в федеральных ООПТ оценена отдельно для групп почв степей и сухих степей и полупустынь (рис. 2). Репрезентативность оказалась очень низкой – менее 0.5% от общей площади почв степей в стране и около 2% от площади группы почв сухих степей и полупустынь. Это заметно ниже показателей, характеризующих другие крупные группы почв в России: по нашим расчетам, 7.7% – для почв горных территорий, 6.1% – для

почв Арктики и тундры, 4.3% – для почв широколиственных лесов. Особенно напряженная ситуация складывается с государственными заповедниками: их площадная представленность в отношении почв и почвенных комплексов степей составляет всего 0.07%, а сухих степей и полупустынь – менее 0.5%. В национальных парках сохраняется около 0.1% территории, занятой степными почвами и комплексами почв в стране и 0.2% площади сухостепных и полупустынных почв, в федеральных заказниках – 0.1% и 1.6% соответственно (рис. 2В).

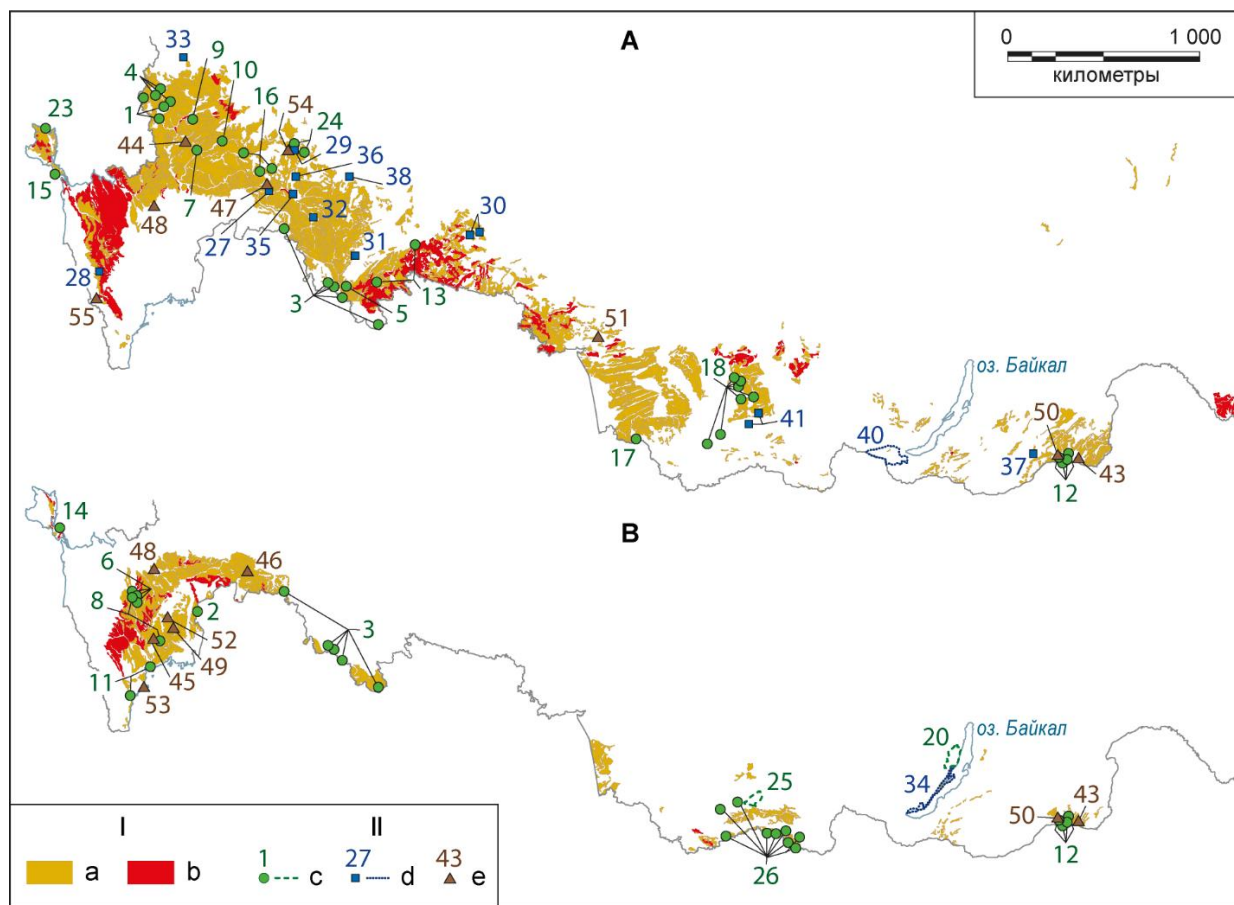


Рис. 1. Распространение и представленность в федеральных ООПТ почв степей России. *Условные обозначения:* **А** – почвы и почвенные комплексы группы степей, **В** – почвы и почвенные комплексы группы сухих степей и полупустынь. **I** – выделы почв: а – встречаются в ООПТ, b – не встречаются в ООПТ. **II** – федеральные ООПТ: с – заповедники, d – национальные парки, e – заказники (номер соответствует названию ООПТ в таблице).

В настоящее время из 31 картографического выдела почв и комплексов почв степной группы всей территории страны в заповедниках представлено 13, в национальных парках – 10 (из них только 2 новых по отношению к уже выделенным в заповедниках), в заказниках – 11 (из них 3 новых по отношению к представленным в заповедниках и 2 новых по отношению к заповедникам и национальным паркам; рис. 2С, D). Всего в федеральных ООПТ представлены 17 картографических выделов почв и комплексов почв группы степей, а типологическая репрезентативность составляет 55%. Из этого количества охрану большей части разнообразия почв и комплексов почв обеспечивают заповедники – 42% разнообразия степных почв страны. Национальные парки и заказники, более чем в три раза превышающие заповедники по площади, повышают типологическую репрезентативность лишь на 4 выдела легенды (13%; рис. 2А, D).

Из 24 почв и комплексов почв группы сухих степей и полупустынь, выделяемых на территории России, в заповедниках представлено 13 почвенных разностей; в национальных парках – 1 почва (уже представленная в заповедниках), в заказниках – 8 (из них 2 новых по отношению к охраняемым

в заповедниках). Заповедники обеспечивают охрану 54% типологического разнообразия группы почв сухих степей и полупустынь всей страны. Национальные парки и заказники превышают по площади заповедники в 4 раза, при этом повышают типологическую репрезентативность лишь на 8% (рис. 2А, С, D).

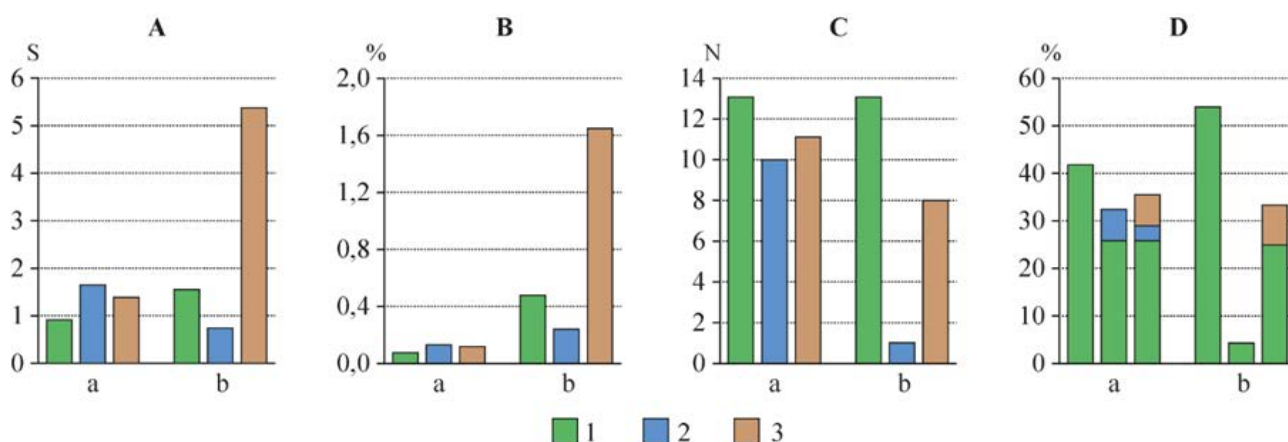


Рис. 2. Площадная и типологическая репрезентативность федеральных ООПТ в отношении разнообразия степных почв. *Условные обозначения:* А – площадь степных почв в ООПТ (S, тыс. км²), В – доля площади степных почв в ООПТ (% от площади почв соответствующей группы в РФ), С – типологическое богатство почв в ООПТ (N – число выделов легенды ПКР), D – репрезентативность типологического разнообразия почв, обеспечиваемая разными категориями ООПТ (% от количества картографических выделов соответствующей группы почв). *Степные почвы:* а – группа почв степей, б – группа почв сухих степей и полупустынь. Федеральные ООПТ: 1 – заповедники, 2 – национальные парки, 3 – заказники.

В целом в современных федеральных ООПТ сохраняется 58% типологического разнообразия степных почв России (включая степи, сухие степи и полупустыни). Ядром сохранения почвенного разнообразия являются заповедники: они занимают всего пятую часть общей площади степных ООПТ, при этом обеспечивают охрану 47% разнообразия степных почв страны, что составляет 81% разнообразия, сохраняемого в ООПТ.

Более подробный анализ картографической информации на основе ПКР выявил непропорциональность их площадной представленности в пределах ООПТ федерального уровня. Особое внимание привлекает несоответствие между площадями, занятыми основными типами черноземов на территории страны и их охраняемых представителей (рис. 3). К таким почвам относятся черноземы типичные, обыкновенные, южные; черноземы типичные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие слабовыщелоченные); черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные; по КДПР – черноземы (миграционно-мицелярные, сегрегационные, миграционно-сегрегационные), черноземы текстурно-карбонатные). В значительных компактных массивах черноземов Предкавказья и южного Зауралья вообще отсутствуют федеральные ООПТ (рис. 1).

Еще большее несоответствие прослеживается между распространением почв сухих степей и полупустынь в стране и в федеральных ООПТ, при том, что почвы этой группы в большинстве случаев занимают заметно меньшие площади, чем почвы степей. Самый значительный массив не охраняемых на ООПТ почв группы сухих степей и полупустынь также расположен в Предкавказье, здесь сосредоточены ареалы активно используемых в сельском хозяйстве почв: темно-каштановых мицелярно-карбонатных (темно-каштановых глубоких), каштановых мицелярно-карбонатных (каштановых глубоких), светло-каштановых мицелярно-карбонатных (светло-каштановых глубоких; по КДПР – черноземы (миграционно-сегрегационные), черноземы текстурно-карбонатные, каштановые (типичные), бурые; рис. 3).

Целый ряд менее распространенных степных почв также не представлены на охраняемых территориях федерального уровня, в том числе, например, лугово-черноземовидные почвы, иногда

называемые Амурскими чернозёмами (по КДПР – черноземовидные). Генезис этих уникальных мощных высокогумусных почв – лучших пахотных почв Дальнего Востока – определяется сочетанием специфических условий их формирования (муссонным климатом, длительным глубоким сезонным промерзанием). Сохранение целинных разностей таких почв с соответствующими экосистемами в качестве эталонов целесообразно как с научной, так и с практической точки зрения.

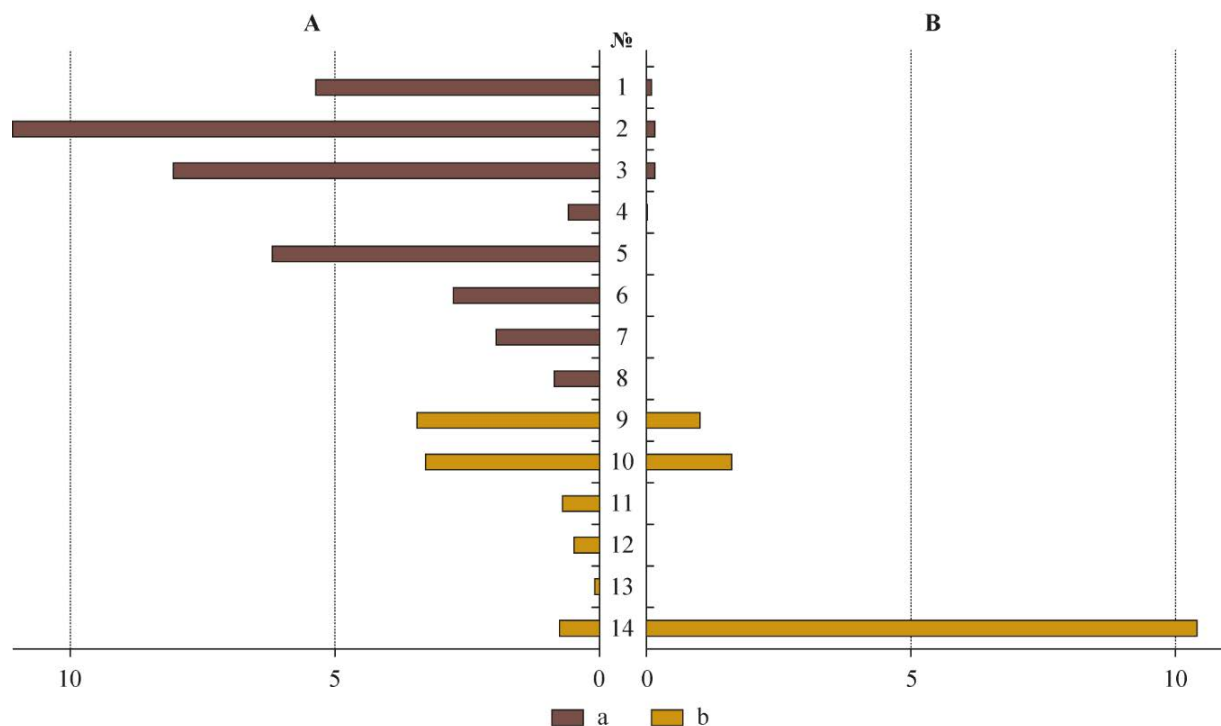


Рис. 3. Распространение некоторых степных почв в РФ и их представленность в федеральных ООПТ. Условные обозначения: **А** – площадь, занимаемая почвой, % от суммарной площади почв степей, сухих степей и полупустынь; **В** – доля площади почвы в пределах ООПТ, % от общей площади этой почвы на территории России. *Степные почвы:* а – группа почв степей, б – группа почв сухих степей и полупустынь. № – почвы: 1 – черноземы типичные, 2 – черноземы обыкновенные, 3 – черноземы южные, 4 – черноземы типичные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие слабощелоченные), 5 – черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные), 6 – черноземы языковатые и карманистые выщелоченные, 7 – черноземы языковатые обыкновенные, 8 – черноземы языковатые южные, 9 – темно-каштановые, 10 – каштановые, 11 – темно-каштановые мицелярно-карбонатные (темно-каштановые глубокие), 12 – каштановые мицелярно-карбонатные (каштановые глубокие), 13 – светло-каштановые мицелярно-карбонатные (светло-каштановые глубокие), 14 – каштановые мучнисто-карбонатные без разделения (каштановые промытые).

Таким образом, анализ показал, что в настоящее время в федеральных ООПТ не представлены естественные варианты многих степных почв страны, в том числе некоторых наиболее плодородных, широко используемых в сельскохозяйственном производстве (рис. 3).

Возможности повышения представленности разнообразия почв в системе ООПТ. Самый значительный по площади компактный массив не представленных в федеральных ООПТ почв расположен в Предкавказье. Наибольшая территория здесь приходится на один картографический выдел – черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные), площадь которых в стране достигает 98 тыс. км² (7.9% площади всех почв группы степей и 42.9% площади почв этой группы, не представленных в федеральных ООПТ). Весь район распространения этих почв значительно изменен сельскохозяйственной деятельностью, значительных по площади участков с целинными почвами и растительными ассоциациями в регионе

не осталось. Несмотря на то, что небольшие разрозненные участки не могут выполнять функции эталонов природы в полной мере, их резерватная, ресурсоохранная и мониторинговая роль в максимальной степени проявляется именно на сильно измененных антропогенным воздействием территориях, поэтому здесь требуется инвентаризация даже небольших по площади участков ненарушенных почв под естественной или восстанавливающейся растительностью. В первую очередь логично ориентироваться на региональные ООПТ с минимально нарушенными биогеоценозами, при этом следует иметь в виду, что сведения о почвенном покрове региональных ООПТ в большинстве случаев отсутствуют.

Предварительный анализ доступной информации показал, что в пределах ареала распространения черноземов южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных расположены 66 ООПТ регионального значения, из них малонарушенные типы этих почв могут быть представлены на 8 ООПТ Ростовской области, 2 – Краснодарского края, 6 – Ставропольского края (рис. 4).

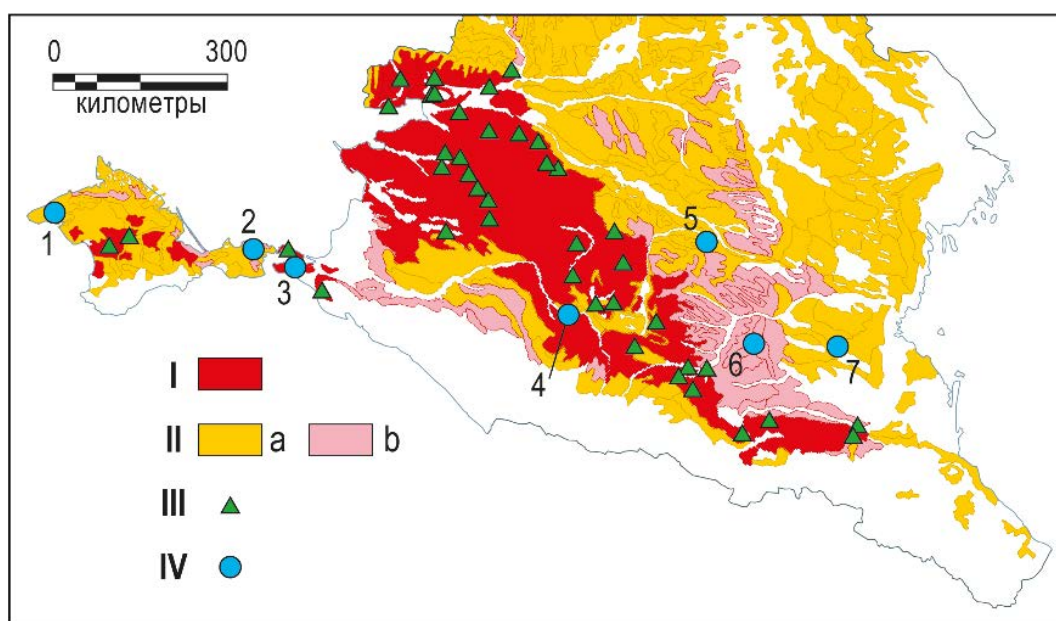


Рис. 4. Ареалы не представленных в федеральных ООПТ степных почв и расположение ныне существующих и перспективных региональных ООПТ. Условные обозначения: I – ареал черноземов южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных; II – почвы и комплексы почв степей, сухих степей и полупустынь: а – встречаются в федеральных ООПТ, b – не встречаются в федеральных ООПТ; III – ООПТ регионального значения; IV – перспективные степные заповедники (Чибилев, 2018): 1 – Тарханкутский, 2 – Керченский, 3 – Таманский, 4 – Успенская степь, 5 – Северо-Ставропольский, 6 – Причукский, 7 – Ногайская степь.

Исследования почвенного покрова региональных ООПТ Ростовской области показали, что плакорные участки двух ООПТ, где были представлены эти почвы, с 2017 г. лишены охранного статуса и распашаны, т.е. охраняемые территории сохранились с прежними названиями, но их площадь сократилась до единиц - десятков га за счет уничтоженных плакорных участков. В настоящее время черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные встречаются только в 3 региональных ООПТ Ростовской области (Безуглова и др., 2022). Специальных обследований почвенного покрова в региональных ООПТ Краснодарского и Ставропольского края не проводилось.

По-видимому, при поиске минимально нарушенных представителей черноземов южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных целесообразно в первую очередь сосредоточиться на участках с наиболее сохранившимися степными экосистемами этого региона. Например, предложен для заповедания участок на юго-западе Ставропольской возвышенности (Успенская степь), здесь на площади около 6 тыс. га сохранились степные экосистемы (Чибилев, 2022, 2018) и, согласно нашим оценкам, могут быть найдены естественные разности черноземов южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных (КДПР – черноземы миграционно-сегрегационные). В пределах Таманского,

Северо-Ставропольского и Прикумского участков могут быть найдены темно-каштановые; каштановые и светло-каштановые мицелярно-карбонатные (глубокие) почвы (КДПР – черноземы (миграционно-сегрегационные), черноземы текстурно-карбонатные, каштановые (типичные), бурые), также в настоящее время не представленные в федеральных ООПТ. При этом, как отмечает А.А. Чибилев (2022), возникает необходимость в точечных работах по обоснованию и проектированию новых ООПТ или трансформации существующих региональных ООПТ в федеральные. Добавим еще, что обязательной составной частью таких работ должны стать почвенные обследования.

Таким образом, в настоящее время существует реальная угроза потери последних целинных представителей типичных для Предкавказья высокоплодородных мицелярно-карбонатных черноземов и каштановых почв. К настоящему времени общая площадь всех участков ненарушенных или минимально нарушенных представителей южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных черноземов не превышает нескольких сотен га, при том, что их общая площадь в стране достигает 98 тыс. км². Аналогичная ситуация складывается с некоторыми другими перечисленными выше почвами. Выявление даже небольших участков таких почв, хотя бы в качестве образцов для сравнения с антропогенно-измененными аналогами требует специальных исследований. Необходима инвентаризация участков их распространения, а также оптимизация границ и повышение охранного статуса наиболее репрезентативных ООПТ регионального уровня.

Выводы

Методами геоинформационного анализа проведена оценка площадной и типологической представленности природного разнообразия степных почв России в системе особо охраняемых природных территорий на основе векторной Почвенной карты России масштаба 1 : 2500000 (объединенная версия Почвенной карты РСФСР и Почвенной карты Крыма). Анализ был проведен отдельно для 2 групп почв и почвенных комплексов: «Почвы степей», «Почвы сухих степей и полупустынь». Он выявил низкую площадную репрезентативность федеральных ООПТ в отношении обеих этих групп почв, заметно более низкую по сравнению с другими крупными группами почв России. Многие ООПТ степных регионов приурочены к интразональным позициям: пойменным и балочным ландшафтам, водно-болотным угодьям, выходам нетипичных почвообразующих пород и т.д., поэтому почвы степей в них вообще не встречаются.

Оценка типологической репрезентативности в масштабе и на уровне рассмотрения ПКР показала, что в федеральных ООПТ сохраняется менее 60% природного разнообразия степных почв России. Большую часть сохранения разнообразия степных почв обеспечивают заповедники, на которые приходится всего пятая часть общей площади степных ООПТ. Из 31 типологического выдела почв степной группы всей территории страны в заповедниках представлено 13 (42%), в национальных парках – 10 (из них 2 новых по отношению к представленным в заповедниках), в заказниках – 11 (из них 3 новых по отношению к разнообразию почв заповедников и 2 новых по отношению к представленным в заповедниках и национальных парках), т.е. национальные парки и заказники, более чем в три раза превышающие заповедники по площади, повышают типологическую репрезентативность федеральной системы ООПТ лишь на 4 выдела легенды (13%). Из 24 типологических выделов почв и комплексов почв сухих степей и полупустынь на территории всей страны, в заповедниках представлено 13 (54%), в национальных парках – 1, в заказниках – 8. Национальные парки и заказники, которые превышают по площади заповедники в 4 раза, повышают типологическую репрезентативность лишь на 8%.

Таким образом, в настоящее время в федеральных ООПТ не представлены естественные варианты многих степных почв страны, в том числе некоторых наиболее плодородных, широко используемых в сельскохозяйственном производстве. Самый значительный по площади компактный массив таких почв расположен в Предкавказье. Наибольшая территория здесь приходится на один картографический выдел – черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные), практически полностью распаханые; несколько меньшие площади занимают темно-каштановые, мицелярно-карбонатные (темно-каштановые глубокие); каштановые мицелярно-карбонатные (каштановые глубокие) и светло-каштановые мицелярно-карбонатные (светло-каштановые глубокие) почвы, большие площади которых испытывают высокую

пастбищную нагрузку. Сохранение целинных представителей таких почв, хотя бы в качестве образцов для сравнения с антропогенно-измененными аналогами, требует незамедлительной инвентаризации всех участков их распространения, проведения специальных исследований и присвоения им охранного статуса.

Резюмируя основные полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Общая площадь степных почв России (включая степи, сухие степи и полупустыни) достигает 1564 тыс. км² – 9.4% площади почв страны, из которых 7.4% приходится на собственно степи и 2.0% – на сухие степи и полупустыни. В ООПТ они занимают 11.5 тыс. км² и встречаются в 23 заповедниках, 14 национальных парках и 13 заказниках России. Из расположенных в степных регионах 61 федеральной ООПТ, в 20 степные почвы не представлены или занимают менее 5% площади.

2. Выявлена низкая площадная представленность степных почв и почвенных комплексов в ООПТ, особенно ярко выраженная для государственных заповедников. Представленность во всех федеральных ООПТ почв группы степей составляет менее 0.5%, группы сухих степей и полупустынь – около 2%; в государственных заповедниках – 0.07% и менее 0.5%, соответственно.

3. Показано, что из 55 картографических выделов степных почв, имеющих на территории России, (включая степи, сухие степи и полупустыни) в федеральных ООПТ представлено 58%, причем заповедники, занимающие пятую часть общей площади степных ООПТ, обеспечивают охрану 47% типологического разнообразия степных почв страны, что составляет 81% разнообразия, представленного в ООПТ. В настоящее время в федеральных ООПТ не представлены естественные варианты многих степных почв страны, в том числе некоторых наиболее плодородных, широко используемых в сельскохозяйственном производстве.

4. Площадь самого значительного ареала не представленных в федеральных ООПТ почв – черноземов южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных – достигает 98 тыс. км² (7.9 % площади всех почв группы степей и 42.9 % площади почв этой группы, не представленных в федеральных ООПТ). По-видимому, к настоящему времени общая площадь всех участков ненарушенных или минимально нарушенных представителей этих почв не превышает нескольких сотен га.

5. В настоящее время существует реальная угроза потери последних целинных представителей типичных для Предкавказья высокоплодородных почв: черноземов южных и обыкновенных мицелярно-карбонатных; темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых мицелярно-карбонатных. Сохранение целинных представителей таких почв, хотя бы в качестве образцов для сравнения с антропогенно-измененными аналогами, требует незамедлительной инвентаризации всех участков их распространения, проведения специальных исследований и присвоения им охранного статуса.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-14-00107 Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, а также в рамках государственных заданий № АААА-А18-118042490060-1 Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН и № 122041200035-2 Институт фундаментальных проблем биологии РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Б.Д. 2023. Сравнительная продуктивность лесных и травяных экосистем // Вестник Российской академии наук. Т. 93. № 2. С. 162-170.
- Безуглова О.С., Горбов С.Н., Литвинов Ю.А., Чернова О.В. 2022. Принципы создания Красной книги почв Ростовской области. Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет. 116 с.
- Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. 2019. Экологизация степных агротехнологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды // Теоретическая и прикладная экология. № 3. С. 5-11.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. 1990. Функции почв в биосфере и экосистемах. Экологическое значение почв. М.: МАИК «Наука. Интерпериодика». 260 с.
- Добровольский Г.В., Чернов И.Ю., Бобров А.А., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Онинченко В.Г., Гонгальский К.Б., Зайцев А.С., Терехова В.А., Соколова Т.А., Терехин В.Г., Шмарикова Е.В., Чернова О.В. 2011. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия М.: Товарищество научных изданий КМК. 273 с.
- Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.

- Национальный атлас почв Российской Федерации. 2011 / Гл. ред. С.А. Шоба; отв. ред. И.О. Алябина, И.С. Урусевская, О.В. Чернова. М.: Астрель, АСТ. 632 с.
- Орлова И.В. 2006. Динамика и сбалансированность структуры землепользования приграничных степных районов Западной Сибири // Степной бюллетень. № 21-22. С. 45-50.
- Особо охраняемые природные территории России. 2024 [Электронный ресурс <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения 02.08.2023)].
- Почвенная карта РСФСР. 1988. Масштаб 1 : 2500000 / Ред. В.М. Фридланд. М.: ГУГК. 16 с. (Скорректированная цифровая версия. 2007).
- Присяжная А.А., Хрисанов В.Р., Митенко Г.В., Чернова О.В., Снакин В.В. 2016. Анализ почвенного разнообразия заповедников и национальных парков России (с учетом новых территорий) // Геодезия и картография. № 12. С. 7-15.
- Романенко Г.А., Комов Н.В., Тютюнников А.И. 1996. Земельные ресурсы России, эффективность их использования. М.: Россельхозакадемия. 306 с.
- Сайт Почвенного дата-центра МГУ им. М.В. Ломоносова. 2024 [Электронный ресурс <https://soil-db.ru/map?lat=45.0404&lng=36.7987&zoom=7> (дата обращения 02.09.2023)].
- Тишков А.А., Некрич А.С. 2022. Факторы территориальной дифференциации агроландшафта и перспективы сохранения степей Белгородской области // Аридные экосистемы. Т. 28. № 2 (91). С. 13-26. [Tishkov A.A., Nekrich A.S. 2022. Factors of Territorial Differentiation of the Agricultural Landscape and Prospects for the Preservation of Steppes in Belgorod Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 2. P. 131-141.]
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Титова С.В. 2021а. Степи и луга в обзоре «Temperate Grasslands and Shrublands of Russia» (2020) // Вопросы степеведения. № 1. С. 21-47.
- Тишков А.А., Кренке А.Н., Титова С.В., Белоновская Е.А., Царевская Н.Г. 2021 б. Изменения надземной фитомассы экосистем Северной Евразии в XXI веке // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. Т. 497. № 2. С. 193-198.
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Золотухин Н.И., Титова С.В., Царевская Н.Г., Чендев Ю.Г. 2020. Сохранившиеся участки степей как основа будущего экологического каркаса Белгородской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 1 (82). С. 43-53. [Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Zolotukhin N.I., Titova S.V., Tsarevskaya N.G., Chendev Yu.G. 2020. Preserved Sections of Steppes as the Basis for the Future Ecological Framework of Belgorod Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 1. P. 36-43.]
- Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А. 2019 а. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 8000000 [Электронный ресурс <https://files.soil-db.ru/files/soil-ecological-zoning-map.pdf> (дата обращения 02.09.2023)].
- Урусевская И.С., Мартыненко И.А., Алябина И.О. 2019б. Почвенная карта Крыма. Масштаб 1 : 2500000. Врезка к «Карте почвенно-экологического районирования Российской Федерации», масштаб 1 : 8000000. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Факультет почвоведения. 1 л.
- Чернова О.В. 2012. Сохранение естественных почв на охраняемых природных территориях Российской Федерации // Известия РАН. Серия География. № 2. С. 30-37.
- Чибилев А.А. 2022. Ландшафтно-экологический каркас как территориальная основа устойчивого развития сельскохозяйственных регионов России // Юг России: экология, развитие. Т. 17. № 2 (63). С. 115-121.
- Чибилев А.А., Петрищев В.П., Косых П.А. 2021. Анализ географических факторов устойчивого развития муниципальных образований юга Урала и Западной Сибири // Юг России: экология, развитие. Т. 16. № 4 (61). С. 113-126.
- Чибилёв А.А., Соколов А.А., Руднева О.С. 2019. Эффективность использования природного агропотенциала в степных регионах европейской России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 4. С. 24-30.
- Чибилёв А.А. 2018. Перспективы развития непрерывной сети ключевых природных резерватов в степной зоне европейской России на основе сопряженного анализа современной структуры ландшафтов // Вопросы степеведения. № 14. С. 36-44.
- Чибилев А.А. 1999. Приграничные Российско-Казахстанские ландшафтные трансекты как элементы макрорегиональной экологической сети Северной Евразии // Вопросы степеведения. № 1. С. 13-20.
- Amundson R. 2000. Are Soils Endangered? // The Earth Around Us: Maintaining a Livable Planet / Ed. J. Schneiderman. New York: WH Freeman. P. 144-153.
- Chernova O.V., Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. 2020. Historical Trends in the Amount and Structure of Organic Carbon Stocks in Natural and Managed Ecosystems in European Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 438. P. 012005.
- Daily G.C. 1999. Developing a Scientific Basis for Managing Earth's Life Support Systems // Conservation Ecology. Vol. 3. Art. 14. [Электронный ресурс <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art14> (дата обращения 11.07.2023)].
- Ibáñez J.J., De-Alba S., Bermúdez, F.F., García-Álvarez A. 1995. Pedodiversity: Concepts and Measures // Catena. Vol. 24. P. 215-232.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 911.2; 581.9

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ СЕВЕРНОЙ ГОБИ

© 2024 г. Д. Мягмарсүрэн*, Е.В. Данжалова**, Д. Баясгалан***

*Гуманитарный университет

Монголия, 14200, г. Улан-Батор, пл. Сухэ-Батора, д. 20. E-mail: dmiigaa@humanities.mn

**Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: tonexp@mail.ru

***Ботанический сад-институт АН Монголии

Монголия, 210351, г. Улан-Батор, просп. Жукова, д. 77. E-mail: sado_0308@yahoo.com

Поступила в редакцию 25.01.2024. После доработки 10.02.2024. Принята к публикации 01.03.2024.

Рассматриваются растительные сообщества песчаных массивов Северной Гоби на территории сомона Булган Южногобийского аймака. Классификация растительности методом Браун-Бланке, впервые проведенная для растительности равнинной части сомона Булган, выявила 6 ассоциаций растительности, относящихся к трем союзам трех порядков класса *Stipetea glareosae-gobicae* Hilbig 2000. Флора песчаных массивов включает 108 видов из 73 родов и 28 семейств. Видовая структура родов и семейств отражает специфику флоры данного пустынно-степного района в пределах сомона Булган. В спектре жизненных форм растений песчаных сообществ преобладают многолетние и одно-, двулетние травы, хотя по участию в структуре растительных сообществ главенствующая фитоценоотическая роль принадлежит больше всего деревянистым растениям. Доминирующие виды растительности песчаных массивов (*Krascheninnikovia ceratoides*, *Caragana korshinskii*, *Haloxylon ammodendron*, *Psammochloa villosa*, *Nitraria sibirica*, *Brachanthemum gobicum* и др.) являются естественными закрепителями песка. В то же время эти виды в большинстве своем являются хорошо поедаемым кормом для домашнего скота. Следовательно, выпас на таких местообитаниях должен строго регулироваться.

Ключевые слова: Северная Гоби, песчаные массивы, пустынные степи, остепненные пустыни, растительные сообщества, псаммофиты, Браун-Бланке, навейные и перевейные пески, песчаный нанос.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-60-70

EDN: MKOJED

Посвящается светлой памяти профессора П.Д. Гунина.

Песчаные массивы в Монголии занимают около 43.7 тыс. км², или 2.8% территории страны, встречаются повсеместно, охватывая все физико-географические районы, включая лесную и лесостепную зоны, но распределены при этом крайне неравномерно (Баасан, 2003; Востокова и др., 2007). Наиболее обширно пески распространены в Котловине Больших Озер и Гобийской части страны (Мурзаев, 1947; Селиванов, 1969). Половина всей площади песчаных накоплений Монголии приходится лишь на 5-6 крупных массивов (Даш, 2015).

Изучению флоры и растительности песков посвящено значительное количество исследований. Б.Б. Полюнов и И.М. Крашенинников (1926) провели исследование почв и растительности песков Монгол элс (сомон Эрдэнэсант Центрального аймака). Работы Е.Г. Победимовой (1933, 1935) считаются первыми самостоятельными исследованиями флоры и растительности песчаных наносов Монголии. Она подробно описала растительность и происхождение песков Онгон элс и Молцог элс (сомоны Онгон и Наран Сухэбаторского аймака), а также отметила мелкобугристые пески с растительностью из селитрянки и тамарикса по устьям рек Халиун и Шарга Гоби-Алтайского аймака. А.А. Юнатов (1950, 1974) подчеркнул перспективность использования растительности песков Котловины Больших Озер в качестве пастбищ для скота. Е.М. Лавренко (1978) установил, что

формирование саксауловых сообществ происходит преимущественно на песках в остепненных пустынях. Ж. Гал (1970, 1973) проводил исследования по классификации саксауловых сообществ, а также выявил принцип образования песчаных бугров под *Tamarix* spp. Х. Буян-Орших (1976, 1981) исследовал флору и растительность, их кормовой запас в крупных песчаных массивах Бориг дэл элс (сомоны Дзунгоби и Баруунтуруун Убсунурского аймака), Бор Хяр элс (сомоны Ургамал и Дзабханмандал Дзабханского аймака) и Монгол элс (сомоны Хухморьт и Баян-Уул Гоби-Алтайского аймака). Экология саксаулов, селитрянки и других пустынных видов на песках изучены в Борзон Гоби (Фитоэкологические ..., 1993). Богатый флористический состав отмечен в массивах Энхийн элс (сомон Лун Центрального аймака) и Монгол элс (сомон Рашаант Булганского аймака) (Баясгалан, 2007).

В ландшафтах пустынной зоны Монголии песчаные наносы чаще всего представлены в виде барханов, бугров, навесных песков, занесенных ветром в понижения горных и межсопочных долин, котловин и равнинных участков, а также по бэлям горных массивов (Мурзаев, 1947). П.Д. Гунин (2022) относит песчаные массивы к выделенному им особому типу функционально специализированных экосистем, которые, хотя и не играют существенной роли в продуцировании органического вещества в пустынной зоне, но, находясь в системе парагенетических ландшафтных комплексов, обеспечивают ресурсами и энергией полифункциональные экосистемы. Песчаные массивы здесь в основном закреплены растениями, приспособленными произрастать в условиях подвижности субстрата, его сильного нагревания и бедности минерального питания. Во время засушливого периода, когда увядает растительность, и при сильном ветре пески переносятся в близлежащие местности, занимая новые пространства. Значительную роль в разрушении растительности песков принадлежит антропогенному фактору, а именно, пастбищным нагрузкам и вырубке саксаула для зимнего топлива. Разбиванию песка способствуют также деревянистые ветви старых высохших особей кустарников, распространенных на значительной площади. На навесных песках равнинных участков интенсивный выпас скота разрушает уязвимый дерновый горизонт. Разбитые незакрепленные пески в результате ветро-эрозионных процессов занимают еще большие площади, что приводит к опустыниванию прилегающих территорий. В связи с этим песчаные массивы в пустынной зоне являются очагом и причиной опустынивания экосистем. Чтобы предотвратить эти процессы, важно изучать растения и растительность песков, их адаптацию к экстремальным условиям. В связи с этим целью данного исследования является изучение растительности песчаных массивов Северной Гоби, выявление их синтаксономического, таксономического и эколого-ценотического разнообразия.

Материалы и методы

Исследование растительности песчаных массивов проводилось в 2008-2017 гг. на территории пустынно-степного стационара Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН (СРМКБЭ) в сомоне Булган Южногобийского аймака. Территория сомона отличается максимальными значениями скорости ветра в Южногобийском аймаке, достигающими 40 м/сек и более. Количество дней со скоростью ветра 10 м/сек, по многолетним данным, составляло 110-120. В годы исследований (2008-2017 гг.) количество дней с большой скоростью ветра 18-27 м/сек возросло до 360 дней/год (Энх-Амгалан, 2008).

Сомон Булган занимает третье место по занятой песками площади среди сомонов Южногобийского аймака: 60% его территории подвержены опустыниванию (Хауленбек, 2019). В почвенном покрове таких песков преобладают бурые пустынно-степные и бурые остепненно-пустынные почвы (Доржготов, 2003).

По ботанико-географическому районированию территория исследования относится к Улан-Нурскому округу Центрально-Северогобийской (Приалашаньской) подпровинции Северогобийской провинции Центральноазиатской подобласти Сахаро-Гобийской области (Рачковская, 1993). В сомоне Булган растительность характеризуется вертикальными сменами в силу увеличения высоты территории с севера на юг. Так, на севере сомона представлены более эуксерофитные варианты остепненных пустынь, сменяющиеся по мере продвижения на юг пустынными, опустыненными и горными сухими степями. Значительные участки в сложении растительности остепненных пустынь

занимают псаммофитные сообщества с доминированием *Brachanthemum gobicum*¹, *Zygophyllum xanthoxylum*, *Haloxylon ammodendron* на участках с эоловыми наносами разной мощности. Эти сообщества занимают свыше 20% территории остепненных пустынь (Казанцева, 2009).

Полные геоботанические описания проводились в растительных сообществах песчаных массивов на 100 м² с 8-10-кратной повторностью в зависимости от занимаемой площади сообществом. Обилие растений определялось по следующей шкале: **r** – вид единичен с незначительным покрытием, + – менее 1%, **1** – 1-4%, **2** – 5-25%, **3** – 26-50%, **4** – 51-75%, **5** – 76-100%. Классификация сообществ проведена методом Браун-Бланке, ранее не проводившейся для растительности равнинной части сомона Булган. Названия синтаксонов растительности приведены по работам К. Wesche с соавторами (2005) и Н. Von Wehrden с соавторами (2006, 2009). Кроме того, оценивались оголенная песчаная поверхность и ее щебненность между основаниями растений в % от общей учетной площади.

Результаты и обсуждение

Синтаксиномическое разнообразие растительности песчаных массивов Северной Гоби. В результате исследования мы выявили 6 ассоциаций, относящихся к разным союзам и порядкам класса *Stipetea glareosae-gobicae* Hilbig 2000:

Класс *Stipetea glareosae-gobicae* Hilbig 2000

Порядок *Allietalia polyrrhizi* Hilbig 2000

Союз *Allion polyrrhizi* Hilbig 2000

Ассоциация *Allio polyrrhizi–Stipetum glareosae* Hilbig (1987) 1990

Субассоциация *Eurotietosum ceratoidis* nov. hoc loco

Ассоциация *Stipo glareosae–Anabasetum brevifoliae* Hilbig (1987) 1990

Субассоциация *Reaumuria soongarica* von Werden et al. (2006)

Salsola passerina вариант

Порядок *Reaumurio soongoricae–Salsolietalia passerinae* (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 em. Hilbig 2000

Союз *Reaumurio soongoricae–Salsolion passerinae* (Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 em. Hilbig 2000

Ассоциация *Salsola passerinae–Reaumurietum soongoricae* Kasapov & al. ex Hilbig 2000

Порядок *Zygophyllo xanthoxyli–Brachanthemetalia gobici* (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988

Союз *Zygophyllo xanthoxyli–Brachanthemion gobici* (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988

Ассоциация *Eurotio ceratoidis–Zygophylletum xanthoxyli* Hilbig (1987) 1990

Ассоциация *Caragano bungei–Brachanthemetum gobici* Kasapov & al. 1988

Ассоциация *Calligono mongolici–Haloxyletum ammodendronis* Hilbig (1987) 1990

Субассоциация *Reaumuria soongarica*

Сообщества *Caragana korshinskii* (позиция не ясна).

Сообщества *Psammochloa villosa* (позиция не ясна).

Ассоциация *Allio polyrrhizi–Stipetum glareosae* Hilbig (1987) 1990: субассоциация *Eurotietosum ceratoidis* nov. hoc loco (табл. 1: 26, 27, 29, 30, 31). Диагностические виды: *Ajania fruticulosa*, *Allium mongolicum*, *Krascheninnikovia ceratoides* (= *Eurotia ceratoides*), *Stipa glareosa*. Субассоциация занимает песчано-щебнистые сайры, пересекающие пологоволнистые равнины в северной части сомона в полосе остепненных пустынь (1100-1200 м н.у.м. БС), а также сайры на подгорной равнине хр. Гурван-Сайхан (1200-1551 м н.у.м. БС) с сайрово-бурыми почвами, часто щебнистыми, в полосе пустынных степей. Поверхность оголенных песков достигает 50%, а щебненность – 30%. Общее проективное покрытие варьирует от 23 до 48%. Доминантом является настоящий полукустарничек терескен (*Krascheninnikovia ceratoides*), который формирует 8-30% покрытия. Растение хорошо поедается всеми видами скота. Может быть использовано для закрепления песка.

По песчаным сайрам к сообществам из *K. ceratoides* примешиваются пустынные кустарники *Zygophyllum xanthoxylum* и *Haloxylon ammodendron*. Эта растительность отнесена нами к **ассоциации**

¹ Номенклатура видов растений приведена по сайту Global Biodiversity Information Facility (2024).

Eurotio ceratoidis–*Zygophylletum xanthoxyli* Hilbig (1987) 1990 союза *Zygophyllo xanthoxyli*–*Brachanthemion gobici* (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 (табл. 2: 28). Диагностические виды: *Krascheninnikovia ceratoides* и *Zygophyllum xanthoxylum*. Общее проективное покрытие – 33%. Проективное покрытие терескена – 8%.

Таблица 1. Ассоциации союзов *Allion polyrrhizi* Hilbig 2000 и *Reaumurio soongoricae*-*Salsolion passerinae* (Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 em. Hilbig 2000.

Номер сообщества	26	27	29	30	31	32	33	35	34	36
ОПП, %	23	32	45	48	43	25	30	39	20	19
Всего видов	24	21	19	4	34	16	14	13	9	9
Субассоциация <i>Eurotietosum ceratoidis</i> nov. hoc loco										
<i>Ajania fruticulosa</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>Krascheninnikovia ceratoides</i>	2	2	2	3	2	-	-	-	-	-
Ассоциация <i>Allio polyrrhizi</i>-<i>Stipetum glareosae</i> Hilbig (1987) 1990										
<i>Stipa glareosa</i>	-	1	1	-	+	-	-	-	-	-
<i>Stipa tianschanica</i>	1	1	1	-	+	+	2	2	1	1
Ассоциация <i>Stipo glareosae</i>-<i>Anabasetum brevifoliae</i> Hilbig (1987) 1990 (субассоциация <i>Reaumuria songarica</i> von Werden et al. (2006), <i>Salsola passerina</i> вариант)										
<i>Anabasis brevifolia</i>	-	-	-	-	-	+	1	-	-	+
<i>Convolvulus ammannii</i>	+	1	1	-	-	+	1	1	-	-
<i>Eragrostis minor</i>	+	+	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Grubovia dasyphylla</i>	+	1	1	-	-	1	-	-	-	-
Союз <i>Allion polyrrhizi</i> Hilbig 2000 и порядок <i>Allietalia polyrrhizi</i> Hilbig 2000										
<i>Allium mongolicum</i>	-	-	1	-	-	-	-	+	-	-
<i>Allium polyrrhizum</i>	1	2	2	-	-	1	2	2	-	-
<i>Neopallasia pectinata</i>	1	1	1	-	-	-	+	1	+	-
Ассоциация <i>Salsolo passerinae</i>-<i>Reaumurietum soongoricae</i> Kasapov & al. ex Hilbig 2000 (Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 em. Hilbig 2000										
<i>Reaumuria songarica</i>	-	-	+	-	-	1	1	+	1	+
<i>Salsola passerina</i>	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2
Союз <i>Reaumurio soongoricae</i>-<i>Salsolion passerinae</i> (Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 em. Hilbig 2000										
<i>Kalidium gracile</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Порядок <i>Reaumurio soongoricae</i>-<i>Salsoletalia passerinae</i> (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 em. Hilbig 2000										
<i>Zygophyllum rosowii</i>	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Класс <i>Stipetea glareosae-gobicae</i> Hilbig 2000										
<i>Ajania achilleoides</i>	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Arnebia fimbriata</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Arnebia guttata</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Artemisia scoparia</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Asparagus gobicus</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Cleistogenes songorica</i>	+	1	1	-	-	1	+	+	1	+
<i>Lagochilus ilicifolius</i>	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Прочие виды										
<i>Alyssum lenense</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Aristida adscensionis</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artemisia macrocephala</i>	+	1	1	-	+	-	-	-	-	-
<i>Bassia prostrata</i>	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Brachanthemum gobicum</i>	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>Caragana pygmaea</i>	+	1	+	-	1	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1.

Номер сообщества	26	27	29	30	31	32	33	35	34	36
ОПШ, %	23	32	45	48	43	25	30	39	20	19
Всего видов	24	21	19	4	34	16	14	13	9	9
Прочие виды										
<i>Carex duriuscula</i>	-	-	-	-	-	-	+	1	+	-
<i>Chenopodium album</i>	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chenopodium acuminatum</i>	+	+	1	-	1	-	-	-	-	-
<i>Corispermum mongolicum</i>	+	+	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Dontostemon integrifolius</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	+	-
<i>Halogeton arachnoideus</i>	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Haloxyton ammodendron</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	+
<i>Heteropappus altaicus</i>	+	+	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Neotrinia splendens</i>	1	1	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Peganum nigellastrum</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
<i>Potania mongolica</i>	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Salsola collina</i>	+	1	1	-	1	1	-	-	-	-
<i>Setaria viridis</i>	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1

Примечания к таблице 1. Дополнения по видам к сообществам: 26 – *Carex stenophylla* subsp. *stenophylloides*; 29 – *Achnatherum inebrians*, *Atraphaxis frutescens*, *Iris bungei*; 30 – *Caragana bungei*, *Prunus mongolica*; 31 – *Artemisia anethifolia*, *Artemisia dracunculus*, *Asterothamnus centralasiaticus*, *Atraphaxis pungens*, *Caryopteris mongolica*, *Crepidiastrum tenuifolium*, *Dracocephalum foetidum*, *Ephedra equisetina*, *Ephedra przewalskii*, *Ephedra sinica*, *Euphorbia humifusa*, *Euphorbia kozlovii*, *Ferula bungeana*, *Hypocoum lactiflorum*, *Nepeta annua*, *Panzerina lanata*, *Prunus pedunculata*, *Silene jenseensis*, *Stipa krylovii*.

Ассоциация *Stipo glareosae–Anabasiatum brevifoliae* Hilbig (1987) 1990: Субассоциация *Reaumuria soongarica* von Werden et al. (2006). Вариант *Salsola passerine* (табл. 1: 32, 33, 35). Диагностические виды ассоциации: *Anabasis brevifolia*, *Grubovia dasyphylla*, *Convolvulus ammannii*, *Eragrostis minor*. Сообщества приурочены большей частью к равнинным местам с навейными песками по краям солончаков, террасам, а также к краям песчаных наносов. Высотный предел распространения этих сообществ составляет 1050-1200 м н.у.м. БС. Площадь оголенных песков – 70-80%, зацебненность – 10-20%. Проективное покрытие составляет 20-30%. Доминант, настоящий полукустарничек солянка воробьиная (*Salsola passerina*), формирует 11-20% покрытия. Этот вид обладает высокими кормовыми характеристиками и является одним из основных пастбищных растений Гоби. Считается, что *S. passerina* переносит только поверхностное опесчанивание почвы, а на песках и супесях не растет (Казанцева, 2009).

Ассоциация *Salsola passerinae–Reaumuriatum soongaricae* Kasapov & al. ex Hilbig 2000 (табл. 1: 34, 36). Диагностические виды: *Reaumuria songarica* и *Salsola passerina*. Ассоциация встречается на более пониженных территориях с бурыми солонцеватыми почвами, где участие травяных видов союза *Allion polyrrhizi* (*Allium mongolicum*, *A. polyrrhizum*, *Neopallasia pectinata*, *Stipa tianshanica* (= *Stipa gobica*)) становится более редким по сравнению с предыдущей ассоциацией. Поверхность незакрепленных песков таких участков составляет 50-65% от общей площади участка, зацебненность – 25-35%. Проективное покрытие – 19-39%.

Ассоциация *Caragano bungei–Brachanthemum gobici* Kasapov & al. 1988 (табл. 2: 19-25). Диагностические виды ассоциации, союза и порядка: *Caragana korshinskii*, *Zygophyllum xanthoxylum* и *Brachanthemum gobicum*. Ассоциация распространена большей частью на холмисто-увалистых равнинах с палево-бурными почвами с навейными песками значительной мощности на высоте 1100-1200 м н.у.м. БС. В центральной части сомона – в полосе перед уступом, разделяющим равнины разного уровня и являющимся естественной границей между пустынными степями и остепненными пустынями, распространены сообщества, где содоминантами становятся многолетние солянки

Reaumuria songarica и *Salsola passerina* на солонцевато-солончаковых песчаных остепненно-пустынных почвах.

Таблица 2. Ассоциации союза *Zygophyllo xanthoxyli-Brachanthemion gobici* (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988 и сообщества *Caragana korshinskii* и *Psammochloa villosa*

Номер сообщества	28	19	20	21	22	23	24	25	11	12	13	14	15	16	17	18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	37	38	
ОПШ, %	33	12	17	18	28	39	18	18	32	39	14	17	34	21	22	19	22	63	41	33	32	27	41	34	28	40	23	24	
Всего видов	28	23	31	27	22	28	24	33	17	19	6	27	39	12	18	19	20	42	26	17	15	12	26	20	26	17	17	3	
Ассоциация <i>Eurotia ceratoidis-Zygophylletum xanthoxyli</i> Hilbig (1987) 1990																													
<i>Asterothamnus centraliasiacicus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Krascheninnikovia ceratoides</i>	2	-	-	r	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	+	1	-	-	+	+	-	-	-	-	-
<i>Prunus mongolica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Ассоциация <i>Caragano bungei-Brachanthemeum gobici</i> Kasapov & al. 1988 и сообщества <i>Caragana korshinskii</i>																													
<i>Caragana korshinskii</i>	-	-	-	-	-	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
Субассоциация <i>Reaumuria songarica</i>																													
<i>Halogeton arachnoideus</i>	1	r	1	r	-	-	r	r	-	-	-	1	+	1	1	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Reaumuria songarica</i>	-	1	1	r	-	-	-	-	-	-	-	+	2	+	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Salsola passerina</i>	-	1	1	1	r	1	-	-	-	-	-	1	1	1	-	+	+	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
Ассоциация <i>Calligono mongolici-Haloxyletum ammodendronis</i>																													
<i>Calligonum mongolicum</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Haloxylon ammodendron</i>	1	-	r	1	+	+	-	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Союз <i>Zygophyllo xanthoxyli-Brachanthemion gobici</i> (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988																													
<i>Zygophyllum xanthoxylon</i>	1	r	1	-	2	1	1	-	1	-	-	1	1	-	1	1	1	2	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-
Порядок <i>Zygophyllo xanthoxyli-Brachanthemeum gobici</i> (Mirkin in Kasapov & al. 1988) Mirkin & al. 1988																													
<i>Brachanthemeum gobicum</i>	-	2	2	2	2	2	2	2	-	1	-	-	+	-	-	+	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сообщества <i>Psammochloa villosa</i>																													
<i>Psammochloa villosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	r	-	r	r	-	r	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	2
Класс <i>Stipetea glareosae-gobicae</i> Hilbig 2000																													
<i>Ajania achilleoides</i>	-	r	r	-	-	1	2	r	-	-	-	r	r	-	-	-	r	1	-	-	-	-	1	1	r	-	-	-	-
<i>Allium mongolicum</i>	+	r	r	r	r	r	r	r	-	r	-	r	1	+	-	-	+	1	r	1	1	-	r	1	-	1	-	-	-
<i>Arnebia fimbriata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-
<i>Arnebia guttata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artemisia scoparia</i>	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asparagus gobicus</i>	-	r	r	r	r	r	r	r	-	-	-	r	r	-	-	-	r	r	-	-	-	-	r	-	-	1	-	-	-
<i>Cleistogenes songorica</i>	2	r	-	r	-	1	r	r	r	-	-	-	-	-	-	+	-	1	r	1	1	1	1	1	1	+	-	+	-
<i>Lagochilus ilicifolius</i>	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	-	+	+	r	r	-	-	-	-	-	-
<i>Stevnia canescens</i>	-	r	-	-	r	-	r	r	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	r	+	+	r	1	r	+	-	-	-	-
<i>Stipa glareosa</i>	+	r	r	+	1	1	r	1	1	-	-	-	-	-	r	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Stipa tianschanica</i>	-	-	r	+	1	1	1	1	-	-	-	r	-	-	-	r	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	-	-	-
Прочие виды																													
<i>Agriophyllum pungens</i>	1	-	r	+	-	-	-	-	1	2	1	-	r	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-
<i>Allium anisopodium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	r	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-
<i>Allium leucocephalum</i>	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Allium polyrhizum</i>	-	-	-	r	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Anabasis brevifolia</i>	+	1	r	r	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-
<i>Aristida adscensionis</i>	+	r	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artemisia sphaerocephala</i>	+	-	-	+	1	1	-	-	-	-	-	-	r	-	+	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Artemisia xerophytica</i>	-	r	r	+	1	1	1	1	-	r	-	-	r	-	-	-	+	1	2	+	1	+	2	2	+	+	-	2	-
<i>Astragalus junatovii</i>	-	-	-	-	r	-	r	-	-	r	-	-	r	-	-	-	r	r	-	-	-	-	-	-	r	r	-	-	-
<i>Astragalus monophyllus</i>	-	-	-	r	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2.

Номер сообщества	28	19	20	21	22	23	24	25	11	12	13	14	15	16	17	18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	37	38	
ОПШ, %	33	12	17	18	28	39	18	18	32	39	14	17	34	21	22	19	22	63	41	33	32	27	41	34	28	40	23	24	
Всего видов	28	23	31	27	22	28	24	33	17	19	6	27	39	12	18	19	20	42	26	17	15	12	26	20	26	17	17	3	
Прочие виды																													
<i>Astragalus variabilis</i>	-	-	-	+	-	r	-	-	-	-	-	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Atraphaxis frutescens</i>	1	-	-	-	-	-	-	r	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Atraphaxis pungens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Caragana pygmaea</i>	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Carex stenophylla</i> subsp. <i>stenophylloides</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	r	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Caryopteris mongolica</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chenopodium acuminatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-
<i>Chesneya mongolica</i>	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chloris virgata</i>	-	-	-	1	-	-	-	r	-	-	-	r	r	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Convolvulus ammannii</i>	-	r	r	-	r	r	-	-	1	+	-	r	1	1	r	1	-	-	r	+	1	-	1	1	r	-	1	-	-
<i>Convolvulus fruticosus</i>	+	r	1	-	-	-	-	r	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-
<i>Corispermum mongolicum</i>	+	-	r	1	r	2	r	1	r	1	r	r	+	r	1	-	r	1	r	2	-	-	r	1	1	1	1	+	-
<i>Cynanchum thesioides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dontostemon crassifolius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Echinops gmelinii</i>	-	-	-	r	-	-	-	r	r	-	-	-	-	-	-	r	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Enneapogon desvauxii</i>	+	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eragrostis minor</i>	+	-	-	-	-	-	-	r	-	r	-	1	r	r	+	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euphorbia kozlovii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ferula bungeana</i>	-	r	-	-	r	r	r	r	-	-	-	r	r	r	-	-	-	r	r	-	-	-	-	r	r	r	r	-	-
<i>Grubovia dasyphylla</i>	+	-	-	r	r	-	r	r	r	1	r	r	1	1	1	-	-	-	r	+	-	-	-	-	r	-	-	1	-
<i>Haplophyllum dauricum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	-	+	+	r	-	-	r	-	-	
<i>Heterochroa desertorum</i>	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	r	-	r	-	-	
<i>Heteropappus hispidus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	
<i>Iris bungei</i>	-	-	-	r	-	-	r	-	-	-	-	-	r	-	-	+	-	r	1	-	-	-	r	1	1	1	-	-	
<i>Iris tenuifolia</i>	-	-	r	-	1	r	r	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Jurinea mongolica</i>	-	-	-	-	r	r	+	r	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	r	-	-	-	r	r	r	-	
<i>Limonium aureum</i>	-	r	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Limonium tenellum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-	
<i>Lipschitzia divaricata</i>	-	r	r	-	-	r	r	r	r	-	-	r	-	-	-	+	-	r	r	r	+	+	-	r	r	r	+	-	
<i>Nitraria sibirica</i>	1	-	r	-	1	r	-	-	1	-	1	1	1	1	+	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	2	+	
<i>Orobanche coelurescens</i>	-	-	-	-	r	-	r	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Oxybasis glaucum</i>	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	1	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Oxytropis aciphylla</i>	-	r	r	-	-	1	1	r	+	+	-	-	+	-	-	-	1	+	-	-	1	1	1	1	-	1	1	1	+
<i>Peganum nigellastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	r	r	-	-	r	-	+	1	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
<i>Potania mongolica</i>	-	r	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Rheum nanum</i>	-	-	-	+	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	r	-	-	-	r	-	-	-	-	-	
<i>Salsola collina</i>	1	r	1	+	-	r	-	r	-	1	-	-	+	-	+	-	r	r	1	1	-	-	1	1	-	-	1	-	
<i>Salsola laricifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Salsola tragus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	r	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Setaria villosa</i>	-	-	r	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Setaria viridis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	
<i>Takhtajiantha capito</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	r	-	
<i>Tribulus terrestris</i>	+	-	1	r	-	-	-	1	-	-	-	r	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Zygophyllum potaninii</i>	-	-	-	1	-	r	-	-	-	-	-	r	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
<i>Zygophyllum rosowii</i>	-	r	r	-	r	-	r	r	r	1	-	r	r	-	-	-	-	r	-	-	-	-	-	-	-	r	-	1	

Примечания к таблице 2. Дополнения по видам к сообществам: 28 – *Ajania fruticulosa*, *Takhtajiantha pseudodivaricata*, 15 – *Olgaea lomonossowii*, 2 – *Ephedra equisetina*, 4 – *Nepeta lophanthus*.

Оголенные пески здесь составляют 60-85%, щебенность варьирует в пределах 1-30%. Общее проективное покрытие – 12-39%. Доминантом является настоящий полукустарничек *Brachanthemum gobicum*, формирующий от 5 до 15% покрытия. Брахантемум является удовлетворительным кормом для верблюдов.

Сообщества *Caragana korshinskii* (табл. 2: 1-10) на территории сомона Булган занимают довольно большие площади в местах навейных песков на высотных пределах от 1000 до 1500 м н.у.м. БС. Поверхность оголенных песков занимает 40-70%, щебенность варьирует в широких пределах – 10-70%. Проективное покрытие растительности карагановых сообществ – 22-63%. Доминант, пустынно-степной кустарник *Caragana korshinskii*, формирует от 5 до 30% покрытия. Вид является хорошо поедаемым скотом растением. На более мощных песчаных наносах содоминантами становятся *Brachanthemum gobicum*, *Psammochloa villosa* и *Nitraria sibirica*. В устьях сайров под влиянием конуса выноса и вдоль подножий мелкопочников с делювиальными отложениями помимо песка накапливается довольно много щебня. В таких местах кроме *Caragana korshinskii* встречаются *Cleistogenes songorica*, *Ajania achilleoides*, *Psammochloa villosa* и *Prunus mongolica*. Значительную площадь пески занимают в западной части сомона. Содоминантами здесь являются корневищный злак *Psammochloa villosa* и однолетник *Agriophyllum pungens*. На волнистых равнинах с навейными песками к карагане примешивается *Artemisia xerophytica*. Вопрос синтаксономического положения коржинско-карагановых сообществ остается открытым (Wesche et al., 2005) и требует сбора дополнительных данных как на территории изучаемого сомона, так и в восточных частях Гоби.

Ассоциация *Calligono mongolici–Haloxyletum ammodendronis* Hilbig (1987) 1990 (табл. 2: 11-18). Диагностические виды: *Haloxylon ammodendron* и *Calligonum mongolicum*. На территории сомона ассоциация распространена на высотах 1000-1497 м н.у.м. БС по опесчаненным краям солончаков, широким межсочным долинам с навейными песками, а также в широких сайрах, покрытых песками разной толщины. Чистые заросли саксаула *H. ammodendron* или саксаульники с участием джугзуга *C. mongolicum* распространены на песчаных наносах в котловине Баянзаг и Талын Гуний элс. Высокорослые саксаулы встречаются в западной части сомона в котловине у южного подножия гор. Арц Богд. Местообитания саксауловых сообществ характеризуются преобладанием оголенной песчаной поверхности – 80-95%, щебенность составляет 5-10%. Общее проективное покрытие – 14-32%. Доминант – *H. ammodendron* меняет свою жизненную форму от дерева до низкорослого кустарника в зависимости от местообитания (Казанцева, 2009). На жизненную форму вида также оказывает влияние выпас (von Wehrden et al., 2009). Растение хорошо поедается козами и верблюдами. Кроме того, саксаул широко используется в качестве топливной древесины, что является основной причиной того, что настоящие леса редки, а встречаются преимущественно небольшие кустарниковые особи (Wesche et al., 2005). Проективное покрытие саксаула – 10-20%. Кроме того, обильны *Agriophyllum pungens* и *Psammochloa villosa*. Из других кустарников заметное участие имеют селитрянки *Nitraria sibirica* и парнолистник *Zygophyllum xanthoxylum*.

На дне котловины Баянзаг на палево-бурых солонцевато-солончаковатых почвах содоминантами в саксаульниках являются солеустойчивые полукустарнички *Reaumuria songarica* и *Salsola passerina*, которые являются диагностическими видами **субассоциации *Reaumuria songarica*** ассоциации *Calligono mongolici–Haloxyletum ammodendronis* (табл. 2: 14-18). Оголенная поверхность песка здесь составляет 60-90%, щебенность – 5-30%. Общее проективное покрытие – 17-34%. Покрытие саксаула – 7-15%.

Сообщества *Psammochloa villosa* (табл. 2: 37-38). На территории сомона Булган это растение образует почти чистые заросли на песчаных наносах территории бригад Дэн и Дал, а также в урочище Баянзаг и у подножья гор. Тэвш. Песчаная поверхность между основаниями растений составляет 95-99%, а щебень на поверхности почти отсутствует (1-3%). Общее проективное покрытие составляет не более 24%. Доминант *Psammochloa villosa* формирует 8-14% покрытия. Это корневищный злак, типичный псаммофит, гибкие побеги которого выдерживают постоянное движение песка. Вид размножается семенами и подземными длинными корневищами, благодаря чему песчаные наносы хорошо закрепляются. В сложении растительности также участвуют *Haloxylon ammodendron*, *Agriophyllum pungens* и *Oxytropis aciphylla*. *P. villosa* является характерным видом развеваемых песчаных массивов на севере Монголии, растительность которых относится к классу

Brometea korotkyi Hilbig et Koroljuk 2000. Однако ни один из характерных видов *B. korotkyi* (*Bromus pumPELLIANUS* (= *Bromopsis korotkiji*), *CorethroDendron fruticosum*, *Leymus racemosus* и др.) не встречается в Южногобийском аймаке (Wesche et al., 2005). В связи с этим положение сообществ *P. villosa* остается не ясным.

Таксономическое разнообразие высших сосудистых растений песчаных массивов Северной Гоби. Флора песчаных массивов сомона Булган Южногобийского аймака составляет 108 видов, 73 рода и 28 семейств, что немногим превышает их количество, отмеченное на экологическом профиле пустынно-степного стационара СРМКБЭ (Казанцева, 2009). Наиболее разнообразно представлены роды *Artemisia* (6), *Allium* (4), *Ephedra* (3), *Stipa* (3), *Salsola* (3), *Astragalus* (3), *Caragana* (3) и *Zygophyllum* (3). По количеству видов преобладают семейства *Asteraceae* (20), *Amaranthaceae* (16), *Poaceae* (13) и *Fabaceae* (8). В семействах *Lamiaceae*, *Alliaceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, *Zygophyllaceae*, *Ephedraceae*, *Cyperaceae*, *Iridaceae*, *Caryophyllaceae*, *Rosaceae*, *Euphorbiaceae*, *Plumbaginaceae*, *Convolvulaceae* и *Boraginaceae* представлено по 2-5 вида. По 1 виду отмечено в семействах *Asparagaceae*, *Orobanchaceae*, *Tetradiclidaceae*, *Nitrariaceae*, *Rutaceae*, *Tamaricaceae*, *Apiaceae*, *Арсунaceae*, *Verbenaceae* и *Papaveraceae*. В целом видовая структура родов и семейств отражает специфику флоры равнинной части сомона Булган (Санчир, 1980) и экологического профиля (Казанцева, 2009).

Эколого-фитоценоотические группы видов и жизненные формы. В растительности песчаных массивов преобладают виды пустынно-степной группы (*Allium mongolicum*, *A. polyrhizum*, *Artemisia xerophytica*, *Stipa glareosa*, *S. tianschanica* и др.), составляющие 57%. Степные виды (*Carex duriuscula*, *Caragana pugnata*, *Haplophyllum dauricum* и др.) формируют 15% флоры, пустынные (*Ephedra przewalskii*, *Haloxylon ammodendron*, *Krascheninnikovia ceratoides* и др.) – 13%, на степно-пустынные виды (*Agriophyllum pungens*, *Rheum nanum*, *Corispermum mongolicum* и др.) приходится 8%, на горно-степные (*Alyssum lenense*, *Caryopteris mongolica*, *Silene jeniseensis* и др.) – 5%. К повсеместно распространенным относятся 2 вида – *Chenopodium album* и *Setaria viridis*.

По участию экологических групп во флоре песчаных массивов преобладают ксерофиты – 55%. Ксеропетрофиты составляют 12%, мезоксерофиты и галофиты – по 8%. К собственно псаммофитам относятся 17% видов. Из них облигатными псаммофитами являются *Caragana korshinskii*, *Atraphaxis pungens*, *Psammochloa villosa*, *Carex stenophylla* subsp. *stenophylloides*, *Agriophyllum pungens*, *Corispermum mongolicum*, *Aristida adscensionis*, *Iris tenuifolia*.

В структуре жизненных форм в сообществах преобладают травы, в т.ч. на поликарпические травы приходится 43%, а на монокарпические – 27%. До 30% флоры представлено деревянистыми видами.

Выводы

Синтаксономическое разнообразие растительности песчаных массивов Северной Гоби представлено одним классом, тремя порядками, тремя союзами и шестью ассоциациями.

Всего в изученных сообществах песков зарегистрировано 108 видов из 73 родов и 28 семейств. Среди представленных в сообществах семейств самыми многочисленными являются *Asteraceae*, *Amaranthaceae*, *Poaceae* и *Fabaceae*. Преобладание этих четырех семейств во флоре сомона Булган отмечалось Ч. Санчиром (1980) и Т.И. Казанцевой (2009). Это показывает, что флористические особенности песчаных растительных сообществ в целом схожи с флористическими особенностями данного пустынно-степного района в пределах сомона Булган.

В спектре жизненных форм растений песчаных сообществ преобладают многолетние и одно-, двулетние травы, хотя по участию в структуре растительных сообществ главенствующая фитоценоотическая роль принадлежит больше всего древесным и полудревесным растениям. Исключение составляет многолетний длиннокорневищный злак *Psammochloa villosa*.

Доминирующие виды растительности песчаных массивов (*Krascheninnikovia ceratoides*, *Caragana korshinskii*, *Haloxylon ammodendron*, *Psammochloa villosa*, *Nitraria sibirica*, *Brachanthemum gobicum* и др.) являются естественными закрепителями песка. В то же время эти виды в большинстве своем являются хорошо поедаемым кормом для домашнего скота. Следовательно, выпас на таких местообитаниях должен строго регулироваться. Растения песков разных природных зон Монголии, особенно пустынной зоны, в дальнейшем должны подлежать детальному изучению в связи с необходимостью их использования в целях фитомелиорации разрушенных экосистем. Как отмечал

В.А. Обручев (1951), самым надежным способом фитомелиорации песков является использование аборигенных видов растений, которые длительное время адаптированы к наихудшим условиям произрастания.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы 3.1.1. «Оценка современного состояния и функционирования основных типов экосистем на основе изучения долговременных структурных изменений, их классификация и картографирование» Научной программы деятельности Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ (СРМКБЭ) и в рамках государственного задания ИПЭЭ РАН по теме «Историческая экология и биогеоценология» (FFER-2021-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Востокова Е.А., Гунин П.Д., Бажга С.Н., Прищепина А.В., Данжалова Е.В., Хадбаатар С.* 2007. Особенности экосистем песчаных массивов Бурятии и Монголии (на примере меридиональной трансекты) // Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охраны. М.: Россельхозакадемия. С. 125-134.
- Гунин П.Д.* 2022. Экология процессов опустынивания аридных экосистем. М., Ярославль: Филигрань. 331 с.
- Казанцева Т.И.* 2009. Продуктивность зональных растительных сообществ степей и пустынь Гобийской части Монголии. М.: Россельхозакадемия. 336 с.
- Лавренко Е.М.* 1978. О растительности степей и пустынь МНР // Проблемы освоения пустынь. № 1. С. 3-19.
- Мурзаев Э.М.* 1947. Пески Монгольской Народной Республики // Известия Всесоюзного географического общества. Т. 79. Вып. 1. С. 83-87.
- Обручев В.А.* 1951. Избранные работы по географии Азии. Т. 2. М.: Географгиз. 446 с.
- Победимова Е.Г.* 1933. Рекогносцировочные ботанические исследования в Юго-Восточной Монголии // Труды Монгольской комиссии АН СССР. № 9. 66 с.
- Победимова Е.Г.* 1935. Растительность центральной части Монгольского Алтая // Труды Монгольской комиссии АН СССР. № 19. 67 с.
- Полынов Б.Б., Крашенинников И.М.* 1926. Физико-географические и почвенно-ботанические исследования в области бассейна р. Убер-Джаргаланте и верховой р. Ара-Джаргаланте // Северная Монголия. Вып. 1. С. 85-160.
- Рачковская Е.И.* 1993. Растительность гобийских пустынь Монголии. СПб.: Наука. 134 с.
- Санчир Ч.* 1980. Высшие сосудистые растения // Пустынные степи и северные пустыни МНР. Ч. 1. Л.: Наука. С. 45-49.
- Селиванов Е.И.* 1969. Эоловые пески Монголии и их происхождение // Вестник МГУ. № 5. С. 75-83.
- Фитоэкологические исследования в Южной Гоби. 1993. Алматы: Гылым. 164 с.
- Юнатов А.А.* 1950. Основные черты растительного покрова Монгольской Народной Республики // Труды Монгольской комиссии АН СССР. Вып. 39. 223 с.
- Юнатов А.А.* 1974. Пустынные степи Северной Гоби в МНР. Л.: Наука. 132 с.
- Баасан Т.* 2003. Монгол орны элс. Улаанбаатар: УИХ-ын Тамгын газрын хэвлэх үйлдвэр. 350 х. [*Баасан Т.* 2003. Пески Монголии. Улан-Батор: Изд-во Пресс-службы Государственного Хурала. 350 с. (на монг. яз.)].
- Баясгалан Д.* 2007. Төв Монголын элсэн хуримтлалын ургамалжилт, ургамлын аймаг // ШУА-ийн мэдээ. № 2. Х. 55-72. [*Баясгалан Д.* 2007. Флора и растительность песчаных массивов Центральной Монголии // Известия Академии наук. № 2. С. 55-72. (на монг. яз.)].
- Буян-Орших Х.* 1976. Элсний ургамал нөмрөг // Шинжлэх ухаан Амьдрал сэтгүүл. № 5. Х. 25-26. [*Буян-Орших Х.* 1976. Растительный покров песков // Наука и жизнь № 5. С. 25-26. (на монг. яз.)].
- Буян-Орших Х.* 1981. Их нууруудын хотгорын элсний ургамлын аймаг, ургамалжилт // БНМАУ-ын ургамлын аймаг, ургамалжилтын судалгаа дэд боть Х. 2. Улаанбаатар. Х. 7-163. [*Буян-Орших Х.* 1981. Флора и растительность песчаных массивов Котловины Больших Озер // Исследование флоры и растительности МНР. Т. 2. Улан-Батор. С. 7-163. (на монг. яз.)].
- Гал Ж.* 1970. Элсний ургамлын генезис судалгааны асуудалд // Биологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл. № 4. Х. 75-78. [*Гал Ж.* 1970. К вопросу о генезисе растений песков // Журнал Биологического института. № 4. С. 75-78. (на монг. яз.)].
- Гал Ж.* 1973. Сухайн довын үүсэл, эвдрэлтэй холбогдсон зарим ажиглалт // Биологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл. № 7. Х. 85-89. [*Гал Ж.* 1973. Некоторые наблюдения связанные с образованием бугров вокруг *Taraxacum* sp. и их разрушением // Журнал Биологического института. № 7. С. 85-89. (на монг. яз.)].
- Даш Д.* 2015. Монгол орны ландшафт-экологийн асуудлууд. Улаанбаатар: Мунхийн усэг. 472 х. [*Даш Д.* 2015. Ландшафтно-экологические проблемы Монголии. Улан-Батор: Мунхийн усэг. 472 с. (на монг. яз.)].
- Доржготов Д.* 2003. Монгол орны хөрс. Улаанбаатар: Адмон принтинг. 288 х. [*Доржготов Д.* 2003. Почвы

- Монголи. Улан-Батор: Адмон принтинг. 288 с. (на монг. яз.).
- Хауленбек А.* 2019. Өмнөговь аймгийн цөлжилт, элсжилтийн судалгааны тайлан. Улаанбаатар: ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн. 220 х. [*Хауленбек А.* 2019. Отчет по определению процесса опесчанности Южногобийского аймака. Улан-Батор: Институт Географии и Геоэкологии АНМ. 220 с. (на монг. яз.)].
- Энх-Амгалан А.* 2008. Өмнөговь аймгийн нийгэм, эдийн засаг, байгаль орчны суурь судалгаа. Улаанбаатар: Мунхийн усэг. 590 х. [*Энх-Амгалан А.* 2008. Социально-экономические и экологические фундаментальные исследования Южногобийского аймака. Улан-Батор: Мунхийн усэг. 590 с. (на монг. яз.)].
- Global Biodiversity Information Facility. 2024 [Электронный ресурс <https://www.gbif.org> (дата обращения 15.10.2023)].
- Hilbig W.* 1995. The Vegetation of Mongolia. Amsterdam: SPB Acad. Publ. 253 p.
- Von Wehrden H., Hilbig W., Wesche K.* 2006. Plant Communities of the Mongolian Transaltay Gobi // Feddes Repertorium. Vol. 117. No. 7-8. P. 526-570.
- Von Wehrden H., Wesche K., Miehe G.* 2009. Plant Communities of the Southern Mongolian Gobi // Phytocoenologia. Vol. 39. No. 3. P. 331-376
- Wesche K., Miehe S., Miehe G.* 2005. Plant Communities of the Gobi Gurvan Sayhan National Park (South Gobi Aymak, Mongolia) // Candollea. Vol. 60. No. 1. P. 149-205.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.5 (575.13)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ
CYNOGLOSSUM VIRIDIFLORUM PALL. EX LEHM. В КАРАКАЛПАКСКОЙ ЧАСТИ
ПЛАТО УСТЮРТ (УЗБЕКИСТАН)

© 2024 г. Т. Рахимова, Х.Ф. Шомуродов, Б.А. Адиллов, Н.К. Рахимова, В.К. Шарипова

Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан

Узбекистан, 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, д. 32. E-mail: rakhimovanodi@mail.ru

Поступила в редакцию 12.01.2024. После доработки 12.01.2024. Принята к публикации 10.04.2024.

На основании структуры ценопопуляций редкого и лекарственного вида Узбекистана – чернокорня зеленоцветкового (*Cynoglossum viridiflorum* Pall. ex Lehm.), произрастающего в Каракалпакской части Устюрта, оценено его современное состояние. Представлены новые сведения об онтогенезе и онтогенетической структуре ценопопуляций этого редкого эндемика. Дана характеристика растительного сообщества с его участием. Вегетационный цикл *C. viridiflorum* в условиях Устюрта длится около восьми месяцев – с марта по октябрь. Исследование показало, что изученные ценопопуляции нормальные, полночленные. Характерный онтогенетический спектр для *C. viridiflorum* левосторонний за счет высокой семенной продуктивности и всхожести семян. Это в целом отражает биологические особенности *C. viridiflorum* и свидетельствует о стабильном состоянии популяций вида в условиях Устюрта.

Ключевые слова: *Cynoglossum viridiflorum*, Каракалпакстан, плато Устюрт, Восточный чинк, опустынивание, онтогенез, онтогенетическая структура, ценопопуляция.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-71-79

EDN: INZHEM

В последние годы в природной среде Каракалпакстана развиваются такие негативные процессы, как опустынивание и деградация экосистем. Это связано с нарушением гидрологического режима Аральского моря, а также с возрастающим антропогенным прессингом. Снижение уровня Аральского моря отразилось на биоразнообразии региона в различной степени. В настоящее время здесь наблюдается трансформация растительности, наиболее сильно страдают мезофильные виды. В результате некоторые виды стали редкими и многие живут в угнетенном состоянии. Глобальное изменение климата и различные локальные катаклизмы ставят под угрозу существование видов с узким ареалом. Изменение параметров среды обитания может привести к сокращению и даже исчезновению отдельных видов.

Республика Каракалпакстан находится в северо-западной части Узбекистана. Общая площадь территории – 167 тыс. км². На западе, севере и северо-востоке она граничит с Казахстаном, на востоке и юго-востоке – с Бухарской областью, на юге – с Туркменистаном и Хорезмской областью.

Флора Каракалпакстана богата хозяйственно-ценными группами растений. Здесь произрастают кормовые, лекарственные, красильные, дубильные, декоративные, медоносные, технические, эфиромасличные и другие виды (Ережепов, 1978). Особое место занимают лекарственные растения.

Каракалпакская часть плато Устюрта представляет собой пустынную, безводную глинистую равнину. Общая площадь этой части плато составляет около 7.5 млн. га (Rakhimova et al., 2023). Плато с востока, местами с резкими обрывами и пологими склонами, граничит с высыхающим Аральским морем и известно в литературе как Восточный чинк. Восточный чинк – это огромная, морфологически изрезанная, засушливая каменистая пустыня. Его обрывистые склоны сложены пластами известняков, резко выделяющимися среди окружающей местности и столь же четко слагающимися на плато в плоскую равнину. Климатические условия Восточного чинка характеризуются резкой континентальностью: лето жаркое, а зима относительно холодная,

атмосферных осадков выпадает мало. Здесь довольно часты туманы, воздух более влажный. Среднемесячная температура воздуха достигает максимума в июле, причем в северной половине она составляет 28.1°C, а на юге – 32-35°C. Абсолютный минимум температуры приходится на январь, когда она опускается до –40°C, а абсолютный максимум – на июль с +32.6°C. Растительность чинка весьма своеобразна. Здесь наряду с галофильной и ксерофильной группами растительности встречается сообщества с преобладанием мезофильных видов. Основу растительного покрова составляют *Anabasis salsa*¹, *Artemisia terrae-albae*, *Salsola arbusculiformis*, *S. orientalis*, *Phragmites australis*, *Agropyron fragile*, *Medicago sativa*, *Calamagrostis dubia* и даже *Corydalis schanginii* (Шербаяев, 1982). Растительный покров Восточного чинка характеризуется большим разнообразием фитоценозов. Здесь Б. Сарыбаяев (1981) зарегистрировал 68 ассоциаций, относящихся к 18 формациям и 7 типам. В составе этих ассоциаций отмечены 302 вида высших растений, относящихся к 188 родам и 42 семействам. Последние исследования показали, что в связи с высыханием Аральского моря в растительном покрове Восточного чинка на Устюрте и других прилегающих к нему территорий наблюдается значительные изменения. Они выражаются в изменении видового состава растительных сообществ в сторону ксерофитизации и/или галофитизации или же перестройки целого сообщества в результате вытеснения доминантов и содоминантов сообществ засухоустойчивыми или солеустойчивыми видами (Adilov et al., 2021).

Сложившиеся экологические условия в регионе в связи с уходом Аральского моря прежде всего отрицательно влияют на состояние популяций произрастающих здесь узколокальных и редких видов. Имеются ряд статей, посвящённых современному состоянию ценопопуляций редких видов в условиях Узбекистана (Rakhimova et al., 2020, 2021a, б; Akhmedov et al., 2022, 2023; Beshko et al., 2023; Saribaeva et al., 2023). С учетом вышеизложенных проблем были собраны богатые материалы для долгосрочного ведения мониторинга за состоянием популяций ряда редких, занесенных в Красную книгу Узбекистана видов (*Malacocarpus crithmifolius*, *Euphorbia sclerocyathium*, *Astragalus holargyreus*, *Eremurus anisopterus*, *Xylosalsola chiwensis*, *Scorzonera bungei*), и видов, рекомендуемых для дальнейшего включения в Красную книгу (*Crambe edentula*, *Lagochilus acutilobus*, *Crataegus korolkowii*, *Allium delicatulum*; Rakhimova et al., 2021a, б, 2023; Saribaeva et al., 2022; Rakhimova T., Rakhimova N.K., 2022). Одним из таких видов является редчайшее для Республики Каракалпакстан растение – чернокорень зеленоцветковый (*Cynoglossum viridiflorum* Pall. ex Lehm.), произрастающий единичными кустами или (редко) небольшими группировками в ущельях Восточного чинка Устюрта.

Род *Cynoglossum* L. (*Boraginaceae*) включает около 50 видов, которые в основном распространены в регионах Евразии с умеренным климатом и на возвышенностях тропической и Южной Африки, с меньшим количеством видов в Северной Америке и Австралии (Miller, 2005), а 9 видов, распространенных только во флоре Италии (Selvi, Sutory, 2012), ещё раз доказывает, что представители данного рода широко расселялись на территории Старого Света.

Во флоре Средней Азии род *Cynoglossum* представлен 6 видами: *C. officinale*, *C. wallichii*, *C. seravschanicum*, *C. viridiflorum*, *C. capusii*, *C. creticum*, – из которых последние 4 произрастают на территории Узбекистана (Определитель растений ..., 2015; Флора Узбекистана, 1961). *C. viridiflorum* – это единственный представитель рода в Узбекистане, который произрастает в пустынных условиях.

Материалы и методы

Объект исследования – чернокорень зеленоцветковый (*Cynoglossum viridiflorum*) – многолетнее растение из сем. *Boraginaceae* (фото). Корень его вертикальный, маловетвистый. Стебель прямостоячий, в верхней половине метельчато-ветвящийся, в нижней части голый, выше рассеяно покрыт волосками, сидящими на бугорках 1-1.5 м высоты. Листья сверху бледно-зеленые, снизу – сероватые, прикорневые – с продолговато-эллиптически заостренной пластинкой, клиновидно суженной в основании, на длинном (до 35 см) черешке; сверху листья голые или покрытые короткими щетинками, снизу почти войлочные, серовато-пушистые. Чашечка пятираздельная, 3.5-4 мм в длину, с продолговатыми, тупыми, густо прижатыми волосками. Венчик желто-зеленый. Орешки яйцевидные, 6-7 мм в длину. На территории Республики Каракалпакстан цветет и плодоносит в мае-июне (Флора Узбекистана, 1961).

¹ Латинские названия видов растений приводятся по веб-ресурсу Plants of the World Online (2023).

В литературе о полезных свойствах *C. viridiflorum* существует мало сведений, а данные о биологических особенностях вида почти отсутствуют.



Фото. Общий вид *Cynoglossum viridiflorum*.

По данным Д.К. Гесь с соавторами (1967), корни и листья чернокорня зеленоцветкового применяются с лекарственной целью. В его корнях содержатся алкалоиды циноглоссин и циноглоссифин, горькое вещество циноглоссинин, красящее вещество, смолы и др. В прошлом чернокорень использовался в медицинской практике. Врачи применяли его как средство, успокаивающее боли и снимающее судороги. В народной медицине отвар чернокорня пьют при укусах бешеными животными; корень, растертый в порошок, смешивают с жиром и применяют при ревматизме (Николаева, 1964), от ломоты в костях, при нарывах и от вшей; настойкой на водке заливают раны.

Геоботанические описания растительных сообществ, в составе которых выявлен данный вид, были сделаны по общепринятой методике (Полевая геоботаника, 1964). При идентификации видовой принадлежности растений использовался «Определитель высших растений Каракалпакии» (Бондаренко, 1964).

Выделение возрастных состояний в онтогенезе проводилось согласно Т.А. Работнову (1950). За счетную единицу принята особь. При характеристике популяционной структуры опирались на представления о характерном онтогенетическом спектре (Заугольнова, 1994). Трансекты заложены длиной по 10 м и разделены на площадки по 1 м².

Оценка состояния популяций редких видов производилась на основе представлений о характерном онтогенетическом спектре согласно классификациям А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969) и «дельта-омега» Л.А. Животовского (2001). Для построения карты расположения изученной ценопопуляции вида координаты местонахождений были импортированы в географическую информационную систему ESRI ArcGIS ArcView v.10.0 (2020).

Результаты и обсуждение

В 2021-2022 гг. мы исследовали две ценопопуляции *C. viridiflorum*, произрастающее

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2024, том 30, № 3 (100)

на Восточном чинке плато Устюрт. Ценопопуляции выделены под чинком на крупных обломках в составе чернокорнево-люцернового (ЦП 1) и пырейно-люцернового сообщества с участием чернокорня (ЦП 2) на высоте 210 м н.у.м. БС. Аральское море, омывающее Восточный чинк, заметно влияет на его климат. Здесь довольно часты туманы, воздух более влажный, а растительность богаче, чем на остальной территории. Описанные участки отличаются более высокой влажностью и ветреностью. Обрывы чинка обладают прекрасными защитными свойствами за счет образования щелей, пустот и впадин.

Географические координаты первой ценопопуляции (ЦП 1): 44° 14' 35" с.ш., 58° 16' 29" в.д. В растительном сообществе преобладают особи *Medicago sativa*. Проективное покрытие травостоя не превышает 20%, а доля исследуемого вида в нем составляет 5%. Почва – гипсоносная, крупнокаменистая. Флористический состав сообщества довольно богат и разнообразен за счет травянистых растений. В сложении данного сообщества участвует 21 вид сосудистых растений, из которых 13 относятся к многолетникам.

Географические координаты второй ценопопуляции (ЦП 2): 44° 74' 56" с.ш., 58° 23' 37" в.д. (рис. 1). В растительном сообществе также преобладают особи *M. sativa*. Проективное покрытие травостоя составляет 50%, а доля исследуемого вида в нем составляет 1%. Почва – гипсоносная, крупнокаменистая. В сложении данного сообщества участвуют 19 видов сосудистых растений, из которых 13 относятся к многолетникам (табл.).

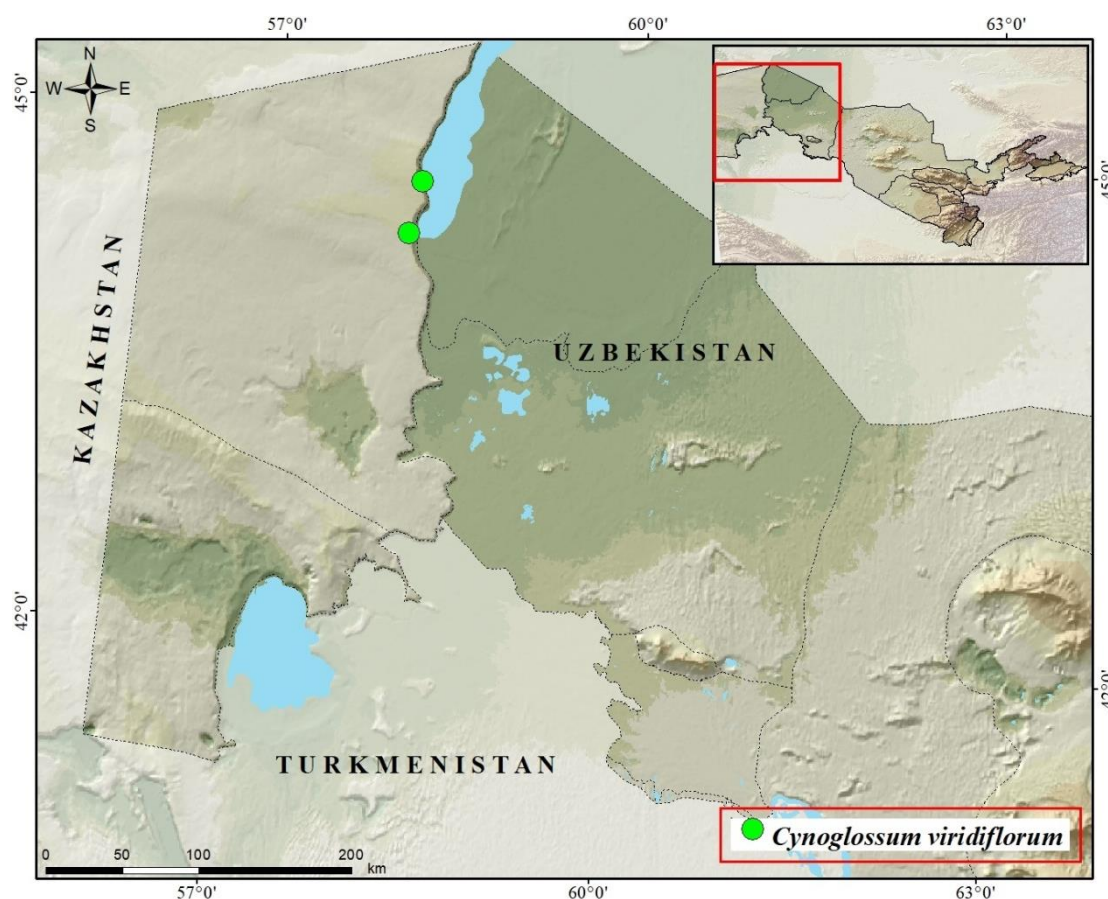


Рис. 1. Карта распространения изученных ценопопуляций *Cynoglossum viridiflorum*.

Выделены и описаны 3 основных периода и 6 возрастных состояний *C. viridiflorum*: в виргинильном (прегенеративном) периоде – ювенильное (j), имматурное (im), виргинильное (v); в генеративном периоде – молодое генеративное (g₁), средневозрастное генеративное (g₂), стареющее (g₃) генеративное; в постгенеративном периоде – сенильное (s) (рис. 2).

Орешки яйцевидные, в числе 4 шт., длиной 6-7 мм со спинки, с плоским или вогнутым диском по невысокому, слабо выраженному килю, а по краям от него – с одиночными якорными шипиками;

края диска приподнятые, утолщенные, густо покрыты, как и бока с брюшком, короткими, якорными щипиками (Флора Узбекистана, 1961).

Таблица. Видовой состав и их обилие с участием исследованных ценопопуляций *Cynoglossum viridiflorum*.

№	Название растений	Обилие видов сообществ, %	
		ЦП 1	ЦП 2
Кустарники			
1	<i>Atraphaxis spinosa</i> L.	+*	+
2	<i>Ephedra intermedia</i> Schrenk & C.A. Mey.	2	-
Полукустарники			
3	<i>Artemisia terrae-albae</i> Krasch.	2	-
4	<i>Anabasis brachiata</i> Fisch. & C.A. Mey. ex Kar. & Kir.	-	+
5	<i>Caroxylon orientale</i> (S.G. Gmel.) Tzvelev.	-	+
6	<i>Lagochilus inebrians</i> Bunge	-	+
Травянистые многолетники			
7	<i>Agropyron fragile</i> (Roth) P. Candargy	1	20
8	<i>Asparagus breslerianus</i> Schult. & Schult.f.	+	+
9	<i>Capparis spinosa</i> L.	-	+
10	<i>Lepidium appelianum</i> Al-Shehbaz	+	-
12	<i>Calamagrostis dubia</i> Bunge	+	+
13	<i>Centaurea apiculata</i> Ledeb.	+	-
14	<i>Cynoglossum viridiflorum</i> Lehm.	5	1
15	<i>Ferula caspica</i> M. Bieb.	-	+
16	<i>Galium pamiroalaicum</i> Pobed.	-	+
17	<i>Limonium suffruticosum</i> (L.) Kuntze	-	+
18	<i>Medicago sativa</i> L.	10	28
19	<i>Onosma staminea</i> Ledeb.	+	+
20	<i>Poa bulbosa</i> L.	-	+
21	<i>Tragopogon marginifolius</i> Pavlov	+	-
22	<i>Thalictrum isopyroides</i> C.A. Mey.	+	+
23	<i>Rheum tataricum</i> L.	+	+
24	<i>Sisymbrium subspinescens</i> Bunge	+	-
Однолетники			
25	<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. & Kit.	+	-
26	<i>Asperugo procumbens</i> L.	+	-
27	<i>Diptychocarpus strictus</i> (Fisch. ex M. Bieb.) Trautv.	+	+
28	<i>Eremopyrum bonaepartis</i> (Spreng.) Nevski	+	+
29	<i>E. triticeum</i> (Gaertn.) Nevski	+	-
30	<i>Polygonum aviculare</i> L.	+	-

Примечание к таблице: +* – участник сообщества.

Проростки (р) имеют 2 ланцетных семядольных листа длиной 0.6-0.8 см и шириной 0.3-0.5 см. У проростков эти листья отличаются от листьев взрослых растений по размерам. Гипокотиль выражен слабо. Листовая пластинка широколанцетная, цельнокрайняя с туповатой верхушкой. Длина листа проростка – 2-2.5 см, ширина – 1-1.2 см. Корневая система проростка стержневая. Корень тонкий, неветвящийся, достигает 8-9 см глубины.

Ювенильные растения (j) сохраняют два семядольных листа длиной 1-1.3 см и шириной 0.5-

0.8 см. В этом возрастном состоянии развито до 3-5 ассимилирующих листьев. Первые настоящие листья бесчерешковые. Листовая пластинка ланцетной формы, с ровным краем. Длина листовой пластинки – 3-4 см, ширина – 1.8-2.0 см. Хорошо заметно сетчатое жилкование. Главный корень длиной 12-13 см, диаметром 2-3 мм, имеет мелкие боковые корни II и III порядка. Длина корней второго порядка – 8-9 см, третьего – 1-1.5 см.

Имматурные растения (im) образуют до 5-8 листьев. По форме и размерам эти листья приближаются к листьям виргинильных растений. В данном состоянии пока сохраняются семядольные листья, наблюдается дальнейшее ускорение темпов листообразования. Листовые пластинки широколанцетной формы, с ровным краем и хорошо развитой средней жилкой. Длина листовой пластинки 4-5 см, с черешком 5-6 см, ширина 2,0-2,2 см. Диаметр главного корня около 4-5 мм и проникает на глубину до 15-18 см.

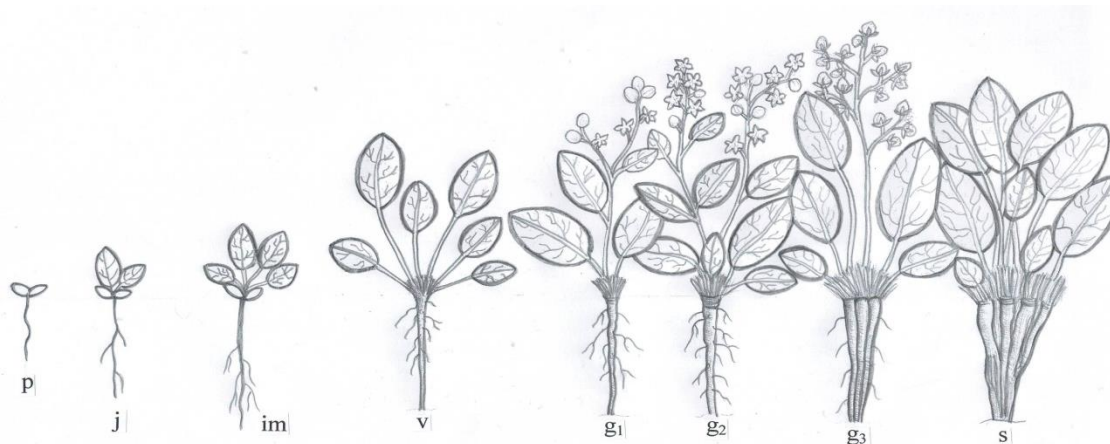


Рис. 2. Онтогенез *Synoglossum viridiflorum*. Условные обозначения: p – проросток, j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное, g₁ – молодое генеративное, g₂ – средневозрастное генеративное, g₃ – старое генеративное, s – сенильное.

Виргинильные растения (v) формируют 8-12 листьев, которые отличаются по форме и размеру. Длина крупной листовой пластинки – до 20-23 см, с черешком – 30-32 см, ширина – 4-7.5 см. Длина средней листовой пластинки – до 10-12 см, с черешком – 16-19 см, ширина – 6-7 см, а длина мелкой листовой пластинки – до 5-6 см, с черешком – 7-8 см, ширина – 3-3.5 см. Эти листья сохраняют ланцетную форму с цельным краем. Найдено до 15 шт. прошлогодних отмерших листьев. Глубина стержневой корневой системы достигает 18-20 см, диаметр – 1.5-2.0 см.

Молодые генеративные растения (g₁) сохраняют прикорневую розетку. Высота растений с генеративной частью – 50-55 см. Все нижние листья (до 10-15 шт.) сохраняются зелеными, но в летние месяцы отдельные листья начинают желтеть. Из верхней части побега формируется генеративная сфера. У генеративных побегов (1-2) листья расположены поочередно. Нижние листья ланцетные, длиной с черешком 27-28 см, шириной 7-9 см; средние с черешком – 8-10 см, шириной 3-3.5 см; верхние листья сидячие, длиной 5-8 см, шириной 2-2.5 см. Из главного корня образуются молодые боковые корни II-III порядков. Длина главного корня – до 20-25 см, диаметр – 1.8-2 см.

Средневозрастные генеративные растения (g₂) достигают 55-65 см в высоту. В этом возрастном состоянии количество побегов увеличивается (имеют 4-6 генеративных и 5-6 вегетативных), а генеративный побег ветвится. Длина листовой пластинки – до 13-15 см, а ширина – до 6.5-7 см. Количество живых листьев увеличивается до 20-25 шт. Длина главного корня достигает 25-28 см, диаметр – 2-2.5 см. Прошлогодних отмерших листьев много (до 20-25 шт.). В конце вегетации на корнях отмечены процессы партикуляции.

Старые генеративные растения (g₃) достигают 30-35 см в высоту, имеют 1-3 генеративных и 4-5 вегетативных побегов. Партикуляция очень заметна, но еще неполная. Растения делятся на 3-5 парциальных кустов. В этом возрастном состоянии количество живых листьев – до 12-14 шт. Длина листовой пластинки – 15-18 см, ширина – 7-8.5 см. Количество отмерших листьев увеличивается – до 25-30 шт. Во внутренней ткани главного корня отмечены процессы отмирания.

Ширина корневой шейки – 3.5-4 см.

Сенильные растения (s) имеют отдельные отмирающие партикулы. Растение имеет 5 партикул, из них 2 уже отмерли. Каждый партикул имеет по 3-8 живых листьев. Генеративных и вегетативных побегов не образуется, имеются только зеленые листья в количестве 15-16 шт. длиной до 15-18 см, шириной – до 4-5 см.

Онтогенетическая структура ценопопуляции C. viridiflorum ранее не изучалась. Изученные ценопопуляции *C. viridiflorum* по классификации А.А. Уранова и О.В. Смирнова (1969) нормальные, полночленные. Анализ онтогенетических структур данных ценопопуляций выявил левосторонний тип спектра с максимумом на ювенильные и виргинильные особи. С учетом особенностей биологии вида (высокая семенная продуктивность и всхожесть семян), характерным спектром ценопопуляций изученного вида следует считать левосторонним (рис. 3). Онтогенетический спектр ценопопуляций совпадает с характерным. Ценопопуляции произрастают на причинковой террасе (неглубокие ущелья), т.е. на более влажных, а также в недоступных для пастбы местах. Преобладание ювенильных (62.3%) и виргинильных (40.0%) особей в ценопопуляциях – результат интенсивного семенного возобновления.

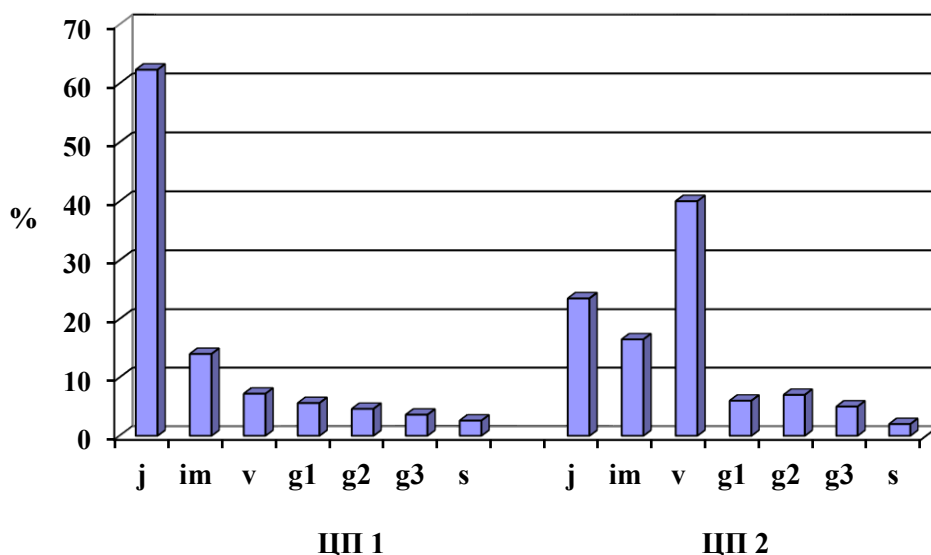


Рис. 3. Левосторонние онтогенетические спектры *Cynoglossum viridiflorum*. Условные обозначения: j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное, g₁ – молодое генеративное, g₂ – средневозрастное генеративное, g₃ – старое генеративное, s – сенильное.

Общее количество особей в ценопопуляциях насчитывает 198 шт. Средняя плотность особей высокая, встречаемость вида на 1 м² площади составляет 9.7 шт. Для выявления типа ценопопуляций *C. viridiflorum* были оценены ее возрастность (Δ) и эффективность (ω) и выявлено, что изученные ценопопуляции относятся к молодому типу: ЦП 1 $\Delta = 0.11$, $\omega = 0.22$; ЦП 2 $\Delta = 0.15$, $\omega = 0.39$.

Выводы

Изученный нами вид *Cynoglossum viridiflorum* – лекарственное растение, приспособленное к экологическим условиям Восточного чинка. Его вегетационный цикл в условиях Восточного чинка длится около 8 месяцев – с марта по октябрь. Онтогенетический спектр ценопопуляций, произрастающих в составе чернокорнево-люцернового и пырейно-люцернового сообществ, – левосторонний. Пик в спектре приходится на ювенильные и виргинильные состояния, что свидетельствует о хорошем семенном возобновлении. Самоподдержание ценопопуляций происходит исключительно за счет семенного возобновления. Вышеперечисленные показатели говорят о стабильном состоянии популяций изученного вида.

Следует отметить, что многие лекарственные растения встречаются изредка, но образуют большие массивы, а некоторые распространены повсеместно, но запасы их сырья весьма ограничены.

Полученные новые результаты по распространению ценопопуляций *C. viridiflorum* в сложившихся экологических условиях Восточного чинка помогут по-новому использовать разные группы лекарственных растений.

Финансирование. Работа выполнена по Государственной программе (ПФИ-5) «Оценка современного состояния растительного покрова и пастбищных ресурсов Республики Каракалпакстан».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондаренко О.Н. 1964. Определитель высших растений Каракалпакии. Ташкент: Наука УзССР. 303 с.
- Гесь Д.К., Кадаев Г.Н., Козловская Н.В., Михайловская В.А., Николаева В.Г., Попов В.И., Рыковский Г.Ф. 1967. Лекарственные растения, применяемые в научной медицине // Лекарственные растения / Ред. А.Ф. Гаммерман, И.Д. Юркевич. Минск. С. 173-174.
- Ережепов С. 1978. Флора Каракалпакии, ее хозяйственная характеристика, использование и охрана. Ташкент: Фан. 294 с.
- Животовский Л.А. 2001. Онтогенетическое состояние, эффективная плотность и классификация популяции // Экология. № 1. С. 3-7.
- Заугольнова Л.Б. 1994. Структура популяций семенных растений и проблемы их мониторинга. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб. 70 с.
- Николаева В.Г. 1964. Материалы к исследованию лекарственных растений народной медицины Белоруссии. Автореф. дис. ... канд. фармац. наук. Л. 18 с.
- Определитель растений Средней Азии. 2015. Т. XI. Ташкент: Фан. 460 с.
- Полевая геоботаника. 1964 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. М.: Наука. Т. 3. 230 с.
- Работнов Т.А. 1950. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники: сборник научных трудов. Т. 1. С. 465-483.
- Сарыбаев Б. 1981. Флора и растительность Восточного чинка Устюрта. Ташкент: Фан. С. 11.
- Уранов А.А., Смирнова О.В. 1969. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. Т. 74. № 2. С. 119-134.
- Флора Узбекистана. 1961. Род – *Cynoglossum* L. Т. 5. Ташкент: АН ССР. С. 176-179.
- Шербаев Б.Ш. 1982. Растения Каракалпакстана / Ред. Р.В. Камелин. Нукус: Каракалпакстан. С. 159-160.
- Adilov B., Shomurodov H., Fan L., Li K., Ma X., Li Ya. 2021. Transformation of Vegetative Cover on the Ustyurt Plateau of Central Asia as a Consequence of the Aral Sea Shrinkage // Journal of Arid Land. Vol. 13. No. 1. P. 71-87.
- Akhmedov A., Beshko N., Keldiyorov X., Umurzakova Z., Hasanov M., Atayeva Sh., Rasulova Z., Nematov Sh., Sherkulov M., Jumayev N. 2023. Ontogenetic Structure of Populations of *Phlomis nubilans* (Lamiaceae) in Uzbekistan under Drought Climate // Ekologia (Bratislava). Vol. 42. No. 4. P. 349-353.
- Akhmedov A., Nomozova Z., Umurzakova Z., Turdiboev O., Atayeva Sh., Jumayev N. 2022. Assessment of the Current Condition of Populations of the Red List species *Salvia submutica* Botsch. & Vved. (Lamiaceae Lindl.) in Nuratau Mountain Ridge, Uzbekistan // Ekologia (Bratislava). Vol. 41. No. 4. P. 322-328.
- ArcGIS Pro. 2020 [Электронный ресурс <http://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-pro> (дата обращения 19.02.2024)].
- Beshko N.Yu., Abduraimov O.S., Kodirov U.Kh., Madaminov F.M., Mahmudov A.V. 2023. The Current State of Cenopopulations of Some Endemic and Rare Species of the Genus *Tulipa* L. (Liliaceae) in the Tashkent Region (Uzbekistan) // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 3. P. 294-304. [Бешко Н.Ю., Абдураимов О.С., Кодиров У.Х., Мадаминов Ф.М., Махмудов А.В. 2023. Современное состояние ценопопуляций некоторых эндемичных и редких видов рода *Tulipa* L. (Liliaceae) в Ташкентской области (Узбекистан) // Аридные экосистемы. Т. 29. № 3 (96). С. 68-80.]
- Miller J.S. 2005. A Synopsis of the Genus *Cynoglossum* L. (Boraginaceae) in Madagascar and the Comoro Islands // Adansonia. Ser. 3. No. 27. P. 113-127.
- Plants of the World Online. 2023 [Электронный ресурс <https://powo.science.kew.org/> (дата обращения 12.03.2024)].
- Rakhimova T., Rakhimova N.K., Shomurodov Kh.F., Abduraimov O.S. 2020. Ontogenetic Structure of Rare Plant Species on the Usturt Plateau in Uzbekistan // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 238-243. [Рахимова Т., Рахимова Н.К., Шомуродов Х.Ф., Абдураимов О.С. 2020. Онтогенетическая структура редких видов растений на плато Устюрт в Узбекистане // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 71-78.]
- Rakhimova T., Rakhimova N., Sharipova V., Beshko N., Hayitov R. 2021a. Current State of Coenopopulations of Some Rare Endemic Species in Navoi Region, Uzbekistan. Ekologia (Bratislava) // Journal of the Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences. Vol. 40. No. 4. P. 357-363.
- Rakhimova N.K., Rakhimova T., Adilov B.A., Tamambetova Sh.B., Polvonov F.I. 2021b. Current Condition of *Crambe*

- edentula* Fisch. & С.А. Меу. ex Korsh. on the Ustyurt Plateau in Uzbekistan // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 4. P. 377-382. [Рахимова Н.К., Рахимова Т., Адиллов Б.А., Тамамбетова Ш.Б., Полвонов Ф.И. 2021б. Современное состояние *Crambe edentula* Fisch. & С.А. Меу. ex Korsh. на плато Устюрт в Узбекистане // Аридные экосистемы. Т. 27. № 4 (89). С. 70-76.]
- Rakhimova N.K., Rakhimova T., Shomurodov Kh.F., Sharipova V.K. 2023. The Status of Coenopopulations of *Xylosalsola chiwensis* (Popov) Akhani & Roalson and *Scorzonera bungei* Krasch. & Lipsch. on the Ustyurt Plateau (Uzbekistan) // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 2. P. 189-195. [Рахимова Н.К., Рахимова Т., Шомуродов Х.Ф., Шарипова В.К. 2023. Состояние ценопопуляций *Xylosalsola chiwensis* (Попов) Akhani & Roalson и *Scorzonera bungei* Krasch. & Lipsch. на плато Устюрт (Узбекистан) // Аридные экосистемы. Т. 29. № 2 (95). С. 77-84.]
- Rakhimova T., Rakhimova N.K. 2022. Ontogenesis and Ontogenetic Structure of Cenotic Populations of *Eremurus anisopterus* (Asphodelaceae) in the Kyzylkum Desert (Uzbekistan) // Botanica Pacifica. A Journal of Plant Science and Conservation. No. 11 (2). P. 39-44.
- Saribaeva Sh.U., Allamuratov A., Mavlanov B., Mamatkosimov O. 2023. The Cenopopulations (Amaryllidaceae) on the Ridges of Uzbekistan // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 4. P. 419-424. [Сарибаева Ш.У., Алламуратов А., Мавланов Б., Маматкосимов О. 2023. Оценка состояния ценопопуляции *Allium praemixtum* Vved. (Amaryllidaceae) на хребтах Узбекистана // Аридные экосистемы. Т. 29. № 4 (97). С. 56-62.]
- Saribaeva Sh.U., Shomurodov Kh.F., Abduraimov O.S. 2022. Ontogenesis and Ontogenetic Structure of Local Populations of the *Astragalus holargyreus* Bunge (Fabaceae) of the Narrow-Local Endemic of Kyzylkum // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 1. P. 78-84.
- Selvi F., Sutory K. 2012. A Synopsis of the Genus *Cynoglossum* (Boraginaceae-Cynoglosseae) in Italy // Plant Biosystems. Vol. 146. No. 2. P. 461-479.

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 910.27; 574.9

МЕСТО ЗООЛОГИЧЕСКИХ КАДАСТРОВО-СПРАВОЧНЫХ КАРТ
В БИОМНОЙ КОНЦЕПЦИИ

© 2024 г. Л.Г. Емельянова*, А.С. Оботуров**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: biosever@yandex.ru

**Институт водных проблем РАН,
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: phantom-91_91@mail.ru

Поступила в редакцию 21.12.2023. После доработки 01.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Комплексное изучение (растительность и животное население) биоты и экологическая дифференциация биотического покрова с широким использованием картографического подхода – одно из центральных направлений современной биогеографии. В его задачи входит выявление эколого-географических закономерностей дифференциации биотического покрова и выделение территориальных единиц разного ранга для целей инвентаризации и сохранения биологического разнообразия. Одним из уровней региональных исследований является сравнительно новый и недостаточно освещенный в отечественной литературе – биомный. Биотическую часть биомов составляют два компонента – растительность и животное население, в настоящее время характеризуемое населением птиц и млекопитающих как наиболее изученных и достигших стадии картографической зрелости зоологических таксонов. Такие вопросы, как определение регионального биома, критерии его выделения, характеристика геоэкологической его части, находятся в стадии изучения и становления. Показана роль и место кадастрово-справочных зоологических карт в биомной концепции как базовой основы сбора, хранения и анализа информации о пространственно-временных характеристиках сообществ. На примере модельной территории – уральских биомов – предложены проверенные опытом способы представления локальных териологических учетных данных на кадастрово-справочной карте и в кадастре. Отмечены недочеты в представлении результатов полевых исследований, затрудняющие их интерпретацию. Показана роль кадастрово-справочных карт для планирования зоологических исследований, для составления объективной характеристики зоологической составляющей региональных биомов и обоснования границ между биомами.

Ключевые слова: биомная концепция, региональный биом, кадастрово-справочные карты, сообщества млекопитающих, Урал, семиаридные экосистемы, бореальные экосистемы, неморальные экосистемы.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-80-89

EDN: RXDZHB

Исследование биоты путем интегрального рассмотрения ее основных компонентов – растительности и животного населения – одно из центральных направлений актуальной географии – пространственной организации биологического разнообразия. Оно нацелено на познание системообразующих связей на разных уровнях биоразнообразия, от локального до глобального. В настоящее время в биогеографии все большее развитие приобретает биомная концепция, идеи которой заложены более ста лет назад. Фредерик Клементс предложил термин «биом» и определил его как растительно-животное сообщество (англ. «plant-animal basic community unit»), представляющее собой крупную биотическую совокупность, которая больше, чем сумма слагающих ее компонентов (Clements, 1916; Clements, Shelford, 1939). Уже тогда, как видим, было отмечено присущее этой совокупности свойство, которое позднее войдет в науку как принцип эмерджентности. Подчеркнем еще одну деталь, важную для темы нашей статьи, – Ф. Клементс отмечает: «Совокупность растений биома называется растительностью, но для животных нет похожего

аналогичного термина» (Clements, Shelford, 1939, стр. 20). Интегральное системное рассмотрение и картографирование разнообразия биотического покрова на основе эколого-географического подхода важно не только для развития фундаментальной биогеографии, но и для решения проблемы сохранения видов и экосистем в целом. Оно заключается в выявлении разнообразия различных групп организмов, раскрытии системообразующих связей и структуры современного биотического покрова на разных уровнях его организации (Сочава, 1978; Одум, 1986; Юрцев, 1992; Огуреева, Бочарников, 2017).

Несмотря на то что термин «биом» и базовые положения обоснованы Фредериком Клементсом в начале прошлого века, концепция биомов как основных экологических подразделений биосферы получила развитие значительно позже, а содержание термина «биом» претерпевало значительные изменения и в настоящее время трактуется неоднозначно (Вальтер, 1968; Walter, Vox, 1976; Walter, Breckle, 1991; Второв, Дроздов, 1978; Уиттекер, 1980; Воронов, 1987; Исаков, Панфилов, 1984; Одум, 1986; Огуреева, 2004).

Прежде чем сформулировать цель настоящей статьи, посвященной развитию исследований региональных биомов, рассмотрим, как менялось со временем содержание термина «биом», определение регионального биома и критерии его выделения.

Термин «биом» предложен Ф. Клементсом (Clements, 1916; Clements, Shelford, 1939) как растительно-животное сообщество.

В.Б. Сочава (1979) понимал под экосистемой безотносительное к пространственным размерам понятие, а ее общепризнанным таксоном считается биом – широкое понятие, примерно адекватное типу растительности. Экологическими будут карты биомов, их подразделений и объединений. Понятие о биомае, однако, еще недостаточно определено и пока может иметь значение только при составлении мелкомасштабных карт. Биом некоторыми биологами употребляется в смысле зонального типа растительности со свойственной ему фауной (тундровый биом, степной биом и проч.). Рациональное понимание этого термина надлежащему обсуждению не подвергалось.

В труде «Экология» (Одум, 1986) биом определяется как удобный и широко используемый термин, обозначающий крупную региональную или субконтинентальную биосистему, характеризующуюся каким-либо основным типом растительности или другой характерной особенностью ландшафта. Ключевая характеристика, позволяющая разграничивать и узнавать наземные биомы – жизненная форма растительности климатического климатса. Основа классификации – растительность климатического климатса, однако биом включает в себя и эдафические климатсы, в которых во многих случаях доминируют иные жизненные формы.

В работе «Классификация и картографирование биомов Сибири» (Огуреева, Котова, 1996) региональные биомы выделяются по ландшафтным особенностям региона, по схожести гидрологического режима и геохимическим факторам.

Позже, эти же авторы (Котова, Огуреева, 2007) выделяют региональный биом по комбинации основных растительных формаций или класса ассоциаций с определением доли их участия, по доминированию жизненных форм, в наибольшей степени адаптированных к климатическим и ландшафтным условиям; и по соотношению площадей, близких по эколого-таксономическому составу типов биотопических территориальных группировок животного населения, в первую очередь, для фоновых и характерных видов.

В работе Г.Н. Огуреевой с соавторами (2004) региональный биом формируется в определенных климатических и ландшафтных условиях. Он включает растительные сообщества и животное население, неразрывно связанные с друг с другом. Его специфика определяется доминированием таких жизненных форм, которые в наибольшей степени адаптированы к неповторимой в пространстве комбинации климатических и ландшафтных условий как исторически сложившихся, так и трансформированных деятельностью человека. Как экологическая единица подразделения биосферы региональный биом, в свою очередь, может быть подразделен на более мелкие подсистемы элементарных экосистем или биогеоценозов на локальном уровне (стр. 399). Единицей картографирования являются региональные биомы, выделяемые в пределах экорегионов (Огуреева и др. (2004), стр. 400).

К 2017 году региональные биомы выделяются (Огуреева, Бочарников, 2017) уже с учетом специфики растительного покрова, являющегося базовым компонентом экосистем, во многом

определяющим экологический потенциал территории, и его связей с биоклиматической обстановкой. Границы между биомами отражают их комплексные географические различия, которые проявляются в составе и структуре биотического компонента, детерминируются природными условиями, а также спецификой исторического развития.

В работе Г.Н. Огуреевой, Т.В. Котовой и Л.Г. Емельяновой (2020) биом регионального уровня принимается как биогеографическая единица экосистемного разнообразия и выделяется как часть зообиома по составу растительных сообществ и животного населения. Он обусловлен зональными и высотно-поясными климатическими условиями, то есть существует при определенном соотношении тепла и влаги.

В книге «Биоразнообразие биомов России» (2020): биота биома наиболее эффективно использует абиотические компоненты среды вследствие исторически обусловленной к ним адаптации. Специфика биотического покрова биомов определяется распределением осадков, солнечного тепла, сезонностью климата и распространением по территории в зависимости от ландшафтной структуры и высоты местности. Региональный биом состоит из большого числа разных по размеру экосистем, в составе которых принимают участие разные флористические и фаунистические комплексы видов, формирование которых шло в течение длительного времени (стр. 19).

Первое, что необходимо отметить, – узловой единицей сохранения биоразнообразия в последнее время все больше признается региональный биом как оптимальная территория для выявления и оценки биоразнообразия, но строгого определения регионального биома, как и четких критериев его выделения, нет. Биом понимается то как специфическое подразделение экосистем в пределах зообиома, то как биотическая составляющая (растительность и животное население) определенной, специфической части зообиома. В настоящее время нет критериев, по которым исследователь может выделить и определить границы того или иного регионального биома. Указания на «наиболее полное использование» биотой экологического потенциала территории, особую структуру растительных и животных сообществ, специфику жизненных форм, оригинальность комбинации структуры сообществ» не представляют критериев, позволяющих установить границы, и в столь расплывчатой форме не могут использоваться для обоснованного выделения региональных биомов и проведения границ между ними. Выделение региональных биомов носит экспертный характер, что будет сохраняться еще долгое время. Тем не менее, развитие мировых взглядов (и у нас, и за рубежом) закономерно завершилось подготовкой обобщающих сводок: публикацией карт «Экорегiónы мира» (Olson, Dinerstein, 2001), «Биомы России» (2018) и монографией «Биоразнообразие биомов России» (2020). Создание для территории РФ карты и монографии региональных биомов стало возможным благодаря накоплению в отечественной биогеографии результатов как локальных, так и обобщающих ботанико- и зоогеографических материалов. Это весьма значимое картографическое и монографическое обобщение результатов колоссальных флористических, фаунистических, геоботанических и геоэкологических исследований создает почву для дальнейшего развития и углубления биомной концепции.

Как следует из многочисленных вышеназванных работ, ведущий компонент, определяющий границы биомов, – это растительность. Животное население выступает в качестве второй характеристики региональных биомов и принимается как совокупность особей разных видов, обитающих на определенной территории (Беклемишев, 1931), или как качественно-количественная совокупность популяций разных видов животных (Лиховид, 2001). Животное население как обязательный, но второстепенный компонент входит в характеристику биомов. В силу разной степени изученности разных зоологических таксонов животное население представлено в характеристике региональных биомов незначительной своей частью: в настоящее время только для птиц и некоторых таксонов млекопитающих необходимая для характеристики биомов количественная информация о животных сообществах достигла стадии картографической зрелости в пространственно-временном аспекте.

Цель настоящей статьи – определить место и значение зоологических кадастрово-справочных карт в биомной концепции. Наш опыт в этом направлении основан на написании разделов по зоологической составляющей равнинных региональных биомов России (Биоразнообразие ..., 2020), о биомов и исследования разных аспектов биоразнообразия в границах региональных аридных и семиаридных биомов (Емельянова, Тарасова, 2018; Emelyanova, Tarasova; 2018; Емельянова, 2019;

Emelyanova, 2019).

К настоящему времени накоплен большой массив данных по фауне и населению млекопитающих (*Eulipotyphla*, *Lagomorpha*, *Rodentia*, *Carnivora*, *Perissodactyla*, *Artiodactyla*) в различных географических пунктах (локалитетах), собранный по стандартным методикам. Исследование этих групп млекопитающих достигло стадии картографической зрелости, что позволяет применить к их изучению картографические методы. На этом же основании в характеристику зоотической составляющей биомов включено население птиц.

Материалы и методы

Место и роль в биомной концепции кадастрового подхода рассмотрим на примере млекопитающих ключевой территории, в качестве которой выступают региональные биомы Урала и Предуралья: западноуральский и восточноуральский бореальные таежные, южноуральский неморальный хвойно-широколиственный и широколиственный, приуральский средне- и южнотаежный, вятско-камский широколиственно-хвойнолесной, заволжский широколиственно-лесостепной и заволжско-кулундинский степной (в пределах двух географических вариантов – заволжско-приуральского разнотравно-дерновиннозлаковых степей (Биомы России, 2018).

Региональных обобщающих для природных регионов этой территории териологических сводок очень мало (Строгонова, 1954; Большаков и др., 1986; Бобрецов, 2016). Основные обобщающие фаунистические сводки по региону выполнены для административных районов (Чибилев, 1991; Животный мир ..., 1995).

В обобщающих сводках, охватывающих природные или административные регионы, основное внимание сосредоточено на характеристике фаунистической стороны биоты, зооценотический анализ отсутствует. Они представляют собой аннотированные списки с различной степенью подробности описания географии и экологии видов. Зональный анализ в них отсутствует либо проведен недостаточно полно. Сообщества (территориальные группировки животных) часто не упоминаются в подобных работах. Существующие работы с подробным зональным анализом распространения сообществ часто охватывают сравнительно небольшую территорию (Никифоров, 1959; Ивантер, 1985; Курхинен и др., 2006; Окулова и др., 2014а, б).

Основной массив данных, необходимых для оценки территориальной организации зоологических сообществ биомов, содержится в научных публикациях, представляющих результаты количественного учета млекопитающих на локальном уровне. К этой же группе материалов относятся результаты териологических исследований в заповедниках, расположенных на территории региональных биомов: Печоро-Илычском, «Денежкин Камень», «Басеги», Висимском, Вишерском, «Шульган-Таш» и Оренбургском.

Для составления кадастрово-справочной карты пункты исследования фауны и населения млекопитающих выбирались из 2 существенно расширенных вариантов опубликованных кадастров, включающих современные исследования (Емельянова, Брунов, 1987; Емельянова, Синяков, 2008); для бореальных экосистем – из кадастра по Европейской тайге (1236 локалитетов из 515 литературных источников); для сообществ неморальных и семиаридных экосистем – из кадастра по всей территории Европейской части России и Западной Сибири (522 локалитета из 190 работ; рис. 1).

Результаты и обсуждение

На основании существующих материалов создана кадастрово-справочная карта мест исследований сообществ млекопитающих (рис. 1, табл. 1) по стандартной методике (Емельянова, 1980; Емельянова, Брунов, 1987; Емельянова, 2018; Емельянова, Оботуров, 2018). В качестве карты-основы использована карта масштаба 1 : 7500000 «Биомы России» (2018).

Создание кадастрово-справочных карт существенно упростилось с появлением ГИС-программ, куда можно экспортировать значительные объемы данных. Для создания картографических материалов были использованы ГИС-пакеты MapInfo Pro 17.0 и QGIS Desktop 3.28.2 Firenze.

Для каждого из пунктов исследования построены столбчатые диаграммы, отражающие видовой состав и численность каждого вида в биотопической структуре сообществ (рис. 2, 3).

В кадастр включались материалы тех источников, в которых дана точная географическая привязка проведения количественных учетов, т.е. геолокации (даны географические координаты мест

исследований), либо привязка проведена к физико-географическим объектам. Использование карты «Биомы России» в качестве основы и строгая локализация мест исследований обеспечили выявление в пределах каждого регионального биома как наиболее изученных территорий, так и «белых пятен». Сопоставление зоологической характеристики региональных биомов в обобщающих монографиях с распределением мест проведения зоологических исследований на кадастрово-справочной карте позволяет оценить степень репрезентативности зоогеографического описания того или иного регионального биома. Накопление в Кадастре результатов многолетних количественных учетов позволяет установить региональный характер динамики численности популяций животных (рис. 3).

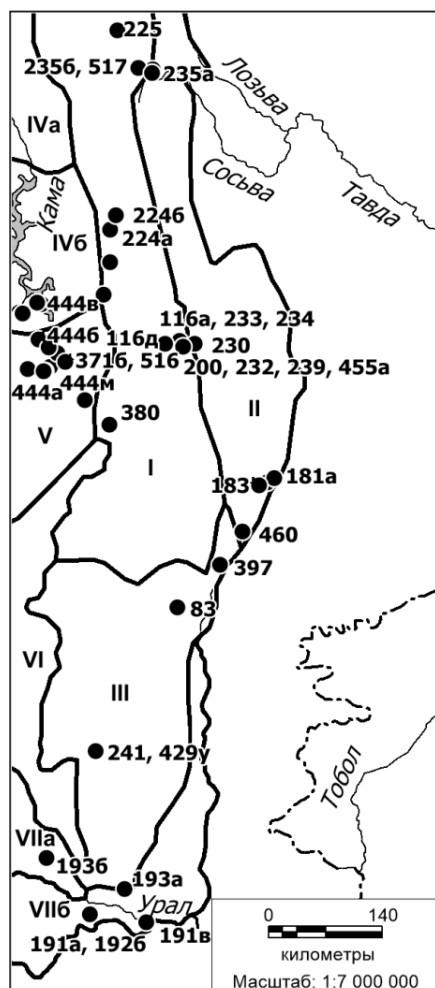


Рис. 1. Фрагмент кадастрово-справочной карты пунктов исследования сообществ мелких млекопитающих на Урале и Предуралье; границы биомов проведены по карте «Биомы России» (2018). Условные обозначения.

Биомы:

- I – западноуральский;
- II – восточноуральский;
- III – южноуральский;
- IV – приуральский:
 - а – среднетаежный,
 - б – южнотаежный;
- V – вятско-камский,
- VI – заволжский широколиственно-лесостепной);
- VII – заволжско-кулундинский:
 - а – заволжско-приуральский разнотравно-дерновинно-злаковых степей,
 - б – зауральско-западно-сибирский дерновиннозлаковых степей.

Большой опыт обработки данных для включения их в Кадастр позволил отметить основные недочеты в интерпретации результатов полевых исследований и форме их отражения в научных публикациях (Емельянова, 1987).

В Кадастр включались локалитеты, в которых учеты проводились стандартными методами оценки численности популяций животных: для мелких млекопитающих – методами ловушко-линий и ловчих канавок; для крупных хищных и копытных использовались результаты зимнего маршрутного учета. Использование стандартных количественных методов позволяет проводить сравнение биоценотической структуры разных региональных биомов и выявлять пространственно-временные закономерности организации биотического покрова. Результаты, полученные с использованием модификаций стандартных методов, редко применяемыми, визуальными наблюдениями, служили для определения фауны биома.

По мере поступления новых данных в Кадастр характеристика зооценотической части биома будет дополняться, что обеспечит объективность выявления фаунистического и зооценотического «сходства-различия» сопредельных биомов.

Таблица 1. Пункты исследования сообществ мелких млекопитающих (Insectivora, Rodentia) на Урале и в Предуралья (фрагмент).

Индекс	Пункт	Год и сезон	Биотопы	Метод	Объем учетов*	Источник
191а	Буртинская степь, Оренбургский заповедник	1999-2001 (весна-лето)	А – степь, Б – опушка колка, В – солонец	Л**	3500	И.В. Быстров с соавторами (2000-2002), И.В. Быстров (2001)
191в	Айтуарская степь, Оренбургский заповедник	2003, 2004 (весна-лето)	А – опушка леса, Б – типчаково-ковыльная степь	Л	800	А.Ю. Степин, О.А. Федорова (2004а, б), А.Ю. Степин, (2005а, б)
225	Хребет Чувал, Вишерский заповедник	2006-2010, (июнь-июль)	А – ельник крупнопапоротниковый, Б1 – пихтово-еловый / елово-пихтовый лес (Б2 – с аконитом), В – кедрово-еловый лес, Г – березовое криволесье, Д – двукисточниковый луг (горно-тундровый пояс)	К***	>58	В.А. Акимов (2007-2011)

Примечания к таблице 1: объем учетов* – особей на 100 ловушко-суток или особей на 10 канавко-суток, Л** – ловушко-линии, К*** – ловчие канавки;

Ос. / 100 лов.-сут.

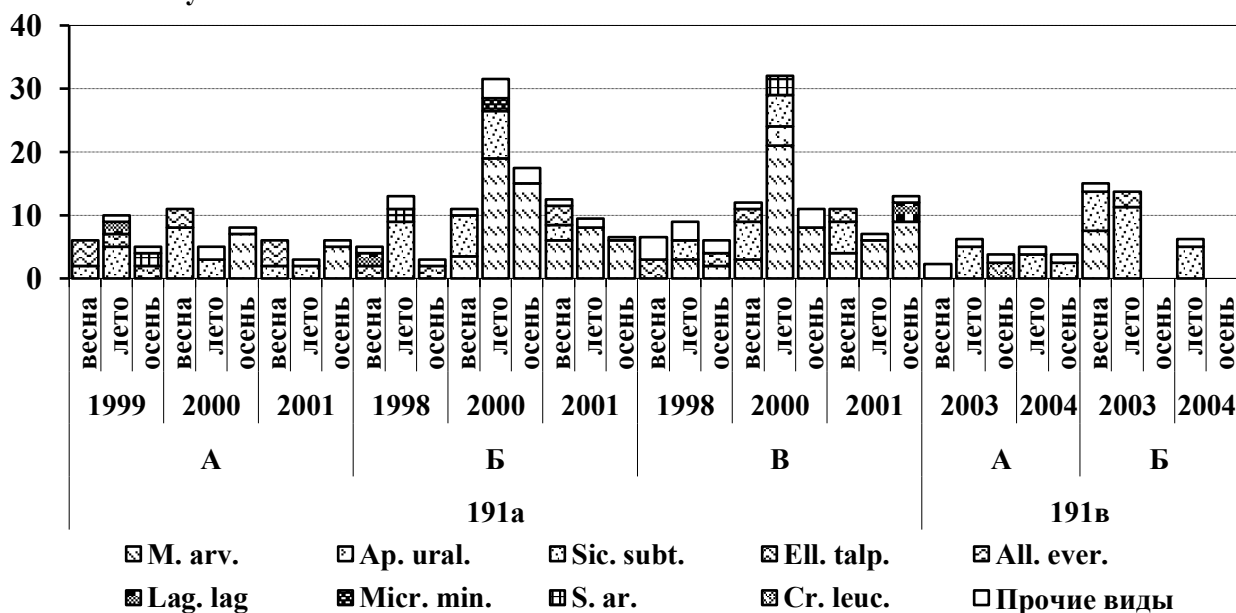


Рис. 2. Численность видов мелких млекопитающих в различных биотопах Урала и Предуралья (фрагмент), установленная с помощью учета методом ловушко-линий. *Условные обозначения.* 191а (Буртинская степь Оренбургский заповедник): А – степь, Б – опушка колка, В – солонец; 191в (Айтуарская степь Оренбургский заповедник): А – опушка леса, Б – типчаково-ковыльная степь; названия видов приведены под рисунком 3.

Ос. / 10 кан.-сут.

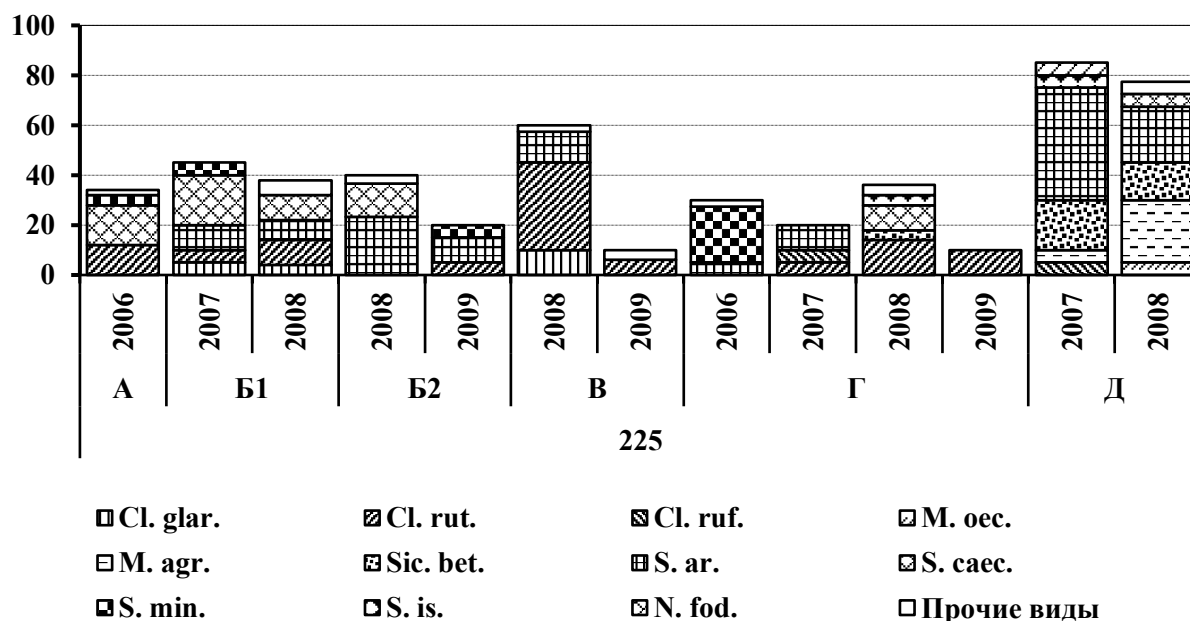


Рис. 3. Численность видов млекопитающих в различных биотопах Урала и Предуралья (фрагмент), установленная с помощью учета методом ловчих канавок. *Условные обозначения.* 225 (Хребет Чувал, Вишерский заповедник): А – ельник крупнопоротниковый, Б1 – пихтово-еловый / елово-пихтовый лес (Б2 – с аконитом), В – кедрово-еловый лес, Г – березовое криволесье, Д – двухкосточниковый луг (горно-тундровый пояс). *Виды*¹: *Cl. glar.* – рыжая полевка *Clethrionomys (Myodes) glareolus* (Schreber, 1780), *Cl. rut.* – красная полевка *Clethrionomys (Myodes) rutilus* (Pallas, 1779), *Cl. ruf.* – красно-серая полевка *Clethrionomys (Myodes) rufocanus* (Sundevall, 1846), *M. arv.* – обыкновенная полевка *Microtus arvalis* (Pallas, 1779), *M. oec.* – полевка-экономка *Microtus (Alexandromys) oeconomus* (Pallas, 1776), *M. agr.* – темная (пашенная) полевка *Microtus agrestis* (Linnaeus, 1761), *Ap. ural.* – лесная мышь *Apodemus uralensis* (Pallas, 1811), *Sic. bet.* – лесная мышовка *Sicista betulina* (Pallas, 1779), *Sic. subt.* – степная мышовка *Sicista subtilis* (Pallas, 1773), *Ell. talp.* – обыкновенная слепушонка *Ellobius talpinus* (Pallas, 1770), *All. ever.* – хомячок Эверсмана *Allocricetulus evermanni* (Brandt, 1859), *Lag. lag.* – степная пеструшка *Lagurus lagurus* (Pallas, 1773), *Micr. min.* – мышь-малютка *Micromys minutus* (Pallas, 1771), *S. ar.* – обыкновенная бурозубка *Sorex araneus* (Linnaeus, 1758), *S. caec.* – средняя бурозубка *Sorex caecutiens* (Laxmann, 1788), *S. min.* – малая бурозубка *Sorex minutus* (Linnaeus, 1766), *S. is.* – равнозубая бурозубка *Sorex isodon* (Turov, 1924), *N. fod.* – обыкновенная кутора *Neomys fodiens* (Pennant, 1771), *Cr. leuc.* – белобрюхая белозубка *Crocidura leucodon* (Hermann, 1780), прочие виды – виды, численность которых не превышает 2 ос./100 лов.-сут. или 4 ос./10 кан.-сут.

Выводы

Биомная концепция – достаточно новое, активно развивающееся направление в биогеографии. Центральное место в биомной концепции в настоящее время отводится региональным биомам. Характеристика зоотической составляющей региональных биомов ограничивается данными о сообществах млекопитающих и птиц как наиболее изученных систематических категорий животных наземных экосистем. Характеристика включает количество видов в каждом биоме, представленность в составе фауны видов разных фаунистических комплексов, видовой состав и численность животных в сообществах климаксовых и трансформированных местообитаниях, количество охраняемых видов.

Кадастрово-справочные карты служат опорной базой для сбора информации по животному населению, обобщения прежде всего результатов локальных учетов численности животных и

¹ Латинские названия видов даны по данным интернет-ресурса Catalogue of Life (2004).

выполняют инвентаризационную функцию. Методика составления кадастрово-справочных карт детально разработана и опробована для птиц и млекопитающих наземных экосистем.

Опыт составления кадастрово-справочных карт позволил сформулировать основные рекомендации по организации инвентаризационных фаунистических исследований и публикации результатов этих исследований.

Обзорный масштаб кадастрово-справочных карт позволяет оценить уровень изученности сообществ млекопитающих и птиц в пределах каждого регионального биома, выявить «белые пятна» и планировать геоэкологические исследования на их территории.

Кадастрово-справочные карты служат основой для создания карт структуры ареалов видов, которые в свою очередь позволяют для каждого биома выделить группу видов, для которых экологические условия биома являются оптимальными. Другими словами, выделить в пределах терио- и орнитофауны виды с оптимумом ареала в пределах одного или нескольких биомов.

Порядок занесения материалов исследований в кадастр по мере их поступления позволяет накапливать многолетние ряды наблюдений и устанавливать региональный тип динамики численности популяций.

Накопление данных о животном населении в пределах границ биомов при заполнении «белых пятен» в дальнейшем позволит сопоставить соответствие или несоответствие установленных по растительности границ биомов таковым по животному населению.

Критерии отбора литературных источников, такие как точность географической привязки, многолетний объем учетов, стандартная методика исследований и указание биотопической структуры, повышают репрезентативность выборки, используемой для анализа эколого-географических закономерностей функционирования животных сообществ.

Финансирование. Работа выполнена на кафедре биогеографии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в рамках госзадания по теме «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменения окружающей среды» (№ 121051100137-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов В.А.* 2007. Насекомоядные и грызуны // *Летопись природы заповедника «Вишерский»*. Кн. 13. 2005/2006 гг. Красновишерск. С. 169-171.
- Акимов В.А.* 2008. Мелкие наземные млекопитающие // *Летопись природы заповедника «Вишерский»*. Кн. 14. 2006/2007 гг. Красновишерск. С. 166-167.
- Акимов В.А.* 2009. Мелкие млекопитающие // *Летопись природы заповедника «Вишерский»*. Кн. 15. 2007/2008 гг. Красновишерск. С. 63-68.
- Акимов В.А.* 2010. Мелкие млекопитающие // *Летопись природы заповедника «Вишерский»*. Кн. 16. 2008/2009 гг. Красновишерск. С. 148-153.
- Акимов В.А.* 2011. Мелкие наземные млекопитающие // *Летопись природы заповедника «Вишерский»*. Кн. 17. 2009/2010 гг. Красновишерск. С. 195-203.
- Беклемиев В.Н.* 1931. Основные понятия биоценологии в приложении к животным компонентам наземных сообществ // *Труды по защите растений*. Т. 1. Вып. 2. С. 277-358.
- Биомы России. 2018. Карта масштаба 1 : 7500000 / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: МГУ, WWF. 1 л.
- Биоразнообразие биомов России. 2020. Равнинные биомы / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ФГБУ «ИГКЭ». 623 с.
- Бобрецов А.В.* 2016. Популяционная экология мелких млекопитающих равнинных и горных ландшафтов Северо-Востока европейской части России. М.: Товарищество научных изданий КМК. 381 с.
- Большаков В.Н., Балахонов В.С., Бененсон И.Е., Бердюгин К.И., Садыков О.Ф., Тюрина Н.А., Хантемиров Р.М.* 1986. Мелкие млекопитающие Уральских гор (экология млекопитающих Урала). Свердловск: УНЦ АН СССР. 104 с.
- Быстров И.В.* 2001. Насекомоядные // *Государственный природный заповедник «Оренбургский»*. Летопись природы. Кн. 8. 1999 год. Оренбург. С. 132.
- Быстров И.В., Рощина Е.Е.* 2001. Насекомоядные // *Государственный природный заповедник «Оренбургский»*. Летопись природы. Кн. 9. 2000 год. Оренбург. С. 149-152.
- Быстров И.В., Рощина Е.Е.* 2002. Насекомоядные // *Государственный природный заповедник «Оренбургский»*. Летопись природы. Кн. 10. 2001 год. Оренбург. С. 141-144.
- Быстров И.В., Рощина Е.Е., Сорока О.В.* 2001. Грызуны // *Государственный природный заповедник «Оренбургский»*. Летопись природы. Кн. 9. 2000 год. Оренбург. С. 139-146.

- Быстров И.В., Рощина Е.Е., Сорока О.В. 2002. Грызуны // Государственный природный заповедник «Оренбургский». Летопись природы. Кн. 10. 2001 год. Оренбург. С. 131-138.
- Быстров И.В., Сорока О.В. 2000. Грызуны // Государственный природный заповедник «Оренбургский». Летопись природы. Кн. 8. 1999 год. Оренбург. С. 117-127.
- Вальтер Г. 1968. Растительность земного шара. М.: Прогресс. Т. 1. 551 с.
- Воронов А.Г. 1987. Биогеография с основами экологии. М.: Изд-во Московского университета. 261 с.
- Второв П.П., Дроздов Н.Н. 1978. Биогеография. М.: Просвещение. 270 с.
- Емельянова Л.Г. 1987. Принципы и основные этапы создания карты населения мелких млекопитающих СССР // Общая и региональная териогеография. М.: Наука. С. 310-342.
- Емельянова Л.Г. 2018. Исследование пространственной структуры видовых ареалов как научное направление: история, методология, современные тенденции // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки». М. № 4. С. 20-31.
- Емельянова Л.Г. 2019. Оценка распространения редких видов птиц в региональных аридных биотомах России – основа для их охраны // Аридные экосистемы. Т. 25. № 1 (78). 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.]
- Емельянова Л.Г., Брунов В.В. 1987. Кадастровые карты по населению млекопитающих и птиц: Учебно-методическое пособие. М.: Изд-во Московского университета. 94 с.
- Емельянова Л.Г., Оботуров А.С. 2018. Кадастрово-справочные карты – основа создания карт эколого-географической структуры ареалов млекопитающих // Экосистемы: экология и динамика. Т. 2. № 2. С. 100-126.
- Емельянова Л.Г., Сняжков Е.В. 2008. Кадастрово-справочная карта «Пункты исследования фауны млекопитающих Европейской тайги» [Электронный ресурс <http://www.obrsouz.ru/kadastr.htm> (дата обращения 26.12.2023)].
- Емельянова Л.Г., Тарасова Л.А. 2018. Редкие виды млекопитающих аридных и семиаридных региональных биотомов России: распространение и охрана // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С.86-91 [Emelyanova L.G., Tarasova S.A. 2018. Rare Mammal Species in Arid and Semiarid Biomes of Russia: Distribution and Protection // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 73-77.]
- Животный мир Башкортостана. 1995 / Ред. М.Г. Баянова, Е.В. Кучерова. Уфа: Китап. 312 с.
- Исаков Ю.А., Панфилов Д.В. 1984. География экосистем: некоторые основные понятия и перспективы развития // Современные проблемы географии экосистем. М.: Институт географии АН СССР. С. 4-10.
- Котова Т.В., Огуреева Г.Н. 2007. Биогеографические подходы в экологическом картографировании // Геоботаническое картографирование. СПб.: БИН РАН. С. 23–31.
- Курхинен Ю.П., Данилов П.И., Ивантер Э.В. 2006. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука. 208 с.
- Лиховид А.А. 2001. Современная зоогеография: структура, междисциплинарные парадигмы и место геоэкологии в ней // Вестник Ставропольского государственного университета. № 28. С. 130-141.
- Никифоров Л.П. 1959. Опыт биосъемки населения млекопитающих Тоболо-Ишимской лесостепи // География населения наземных животных и методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР. С. 7-22.
- Огуреева Г.Н., Бочарников М.В. 2017. Оробиотомы как базовые единицы региональной оценки биоразнообразия горных территорий // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 2. С. 52-81.
- Огуреева Г.Н., Даниленко А.К., Леонова Н.Б. и др. 2004. Выделение региональных биотомов и их картографирование // География, общество, окружающая среда. Т. III. Природные ресурсы, их использование и охрана / Ред. С.А. Добролюбов, Н.С. Касимов, С.М. Малхазова. М.: Издательский дом «Городец». С. 398-404.
- Огуреева Г.Н., Котова Т.В. 1996. Классификация и картографирование биотомов Сибири // Геоботаническое картографирование. СПб. С. 22-30.
- Огуреева Г.Н., Котова Т.В., Емельянова Л.Г. 2020. Экологическое картографирование: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт. 162 с.
- Одум Ю. 1986. Экология. М.: Мир. Т. 1. 328 с.
- Окулова Н.М., Хляп Л.А., Бидашко Ф.Г. и др. 2014. Население грызунов Западно-Казахстанской области Республики Казахстан. Сообщение 1. Карты населения грызунов и зоогеографического районирования // Аридные экосистемы. Т. 20. № 2 (59). С. 37-47.
- Окулова Н.М., Хляп Л.А., Бидашко Ф.Г. и др. 2014. Население грызунов Западно-Казахстанской области Республики Казахстан. Сообщение 2. Зоогеографическая характеристика // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3 (60). С. 70-78.
- Сочава В.Б. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука. 320 с.
- Сочава В.Б. 1979. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука. 188 с.
- Степин А.Ю. 2005а. Грызуны // Государственный природный заповедник «Оренбургский». Летопись природы.

- Кн. 13. 2004 год. Оренбург. С. 163-169.
- Степин А.Ю.* 2005б. Насекомоядные // Государственный природный заповедник «Оренбургский». Летопись природы. Кн. 13. 2004 год. Оренбург. С. 170-174.
- Степин А.Ю., Федорова О.А.* 2004а. Грызуны // Государственный природный заповедник «Оренбургский». Летопись природы. Кн. 12. 2003 год. Оренбург. С. 173-181.
- Степин А.Ю., Федорова О.А.* 2004б. Насекомоядные // Государственный природный заповедник «Оренбургский». Летопись природы. Кн. 12. 2003 год. Оренбург. С. 182-185.
- Строгонова А.С.* 1954. Млекопитающие степного и полупустынного Заволжья // Труды Зоологического института АН СССР. Т. 16. С. 80-116.
- Уиттекер Р.* 1980. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс. 328 с.
- Чибилев А.А.* 1991. Млекопитающие Оренбургской области и их охрана. Екатеринбург: УИФ «Наука». 64с.
- Юрцев Б.А.* 1992. Эколого-географическая структура биологического разнообразия и стратегия его учета и охраны // Биологическое разнообразие: подходы к изучению и сохранению: Материалы конференций БИН РАН и ЗИН РАН, 14-15 февраля и 14-15 мая 1990 г., Ленинград. СПб.: ЗИН. С. 14-15.
- Catalogue of Life. 2024 [Электронный ресурс <https://www.catalogueoflife.org> (дата обращения 26.12.2023)].
- Clements F.E.* 1916. The Development and Structure of Biotic Communities // Ecological Society of America, New York Meeting, December 27-29, 1916. Program. P. 5.
- Clements F.E., Shelford V.E.* 1939. Bio-Ecology. NY: John Wiley & Sons. 425 p.
- Olson D.M., Dinerstein E.* 1998. The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's Most Biologically Valuable Ecoregions // Conservation Biology. Vol. 12. P. 502-515.
- Walter H., Box E.* 1976. Global Classification of Natural Terrestrial Ecosystems // Vegetation. Vol. 32. No. 2. P. 75-82.
- Walter H., Breckle S.-W.* 1991. Okologische Grundlagen in globaler Sicht. Stuttgart: G. Fischer. 586 p.

СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ РЕИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СУРКОВ В ДВУХ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЗАПОВЕДНИКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

© 2024 г. И.В. Жигарев, В.Ю. Румянцев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, географический факультет, кафедра биогеографии
E-mail: iv_ji99@mail.ru, vyurum@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.12.2023. После доработки 20.01.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Степной сурок (байбак) – один из типичных грызунов восточноевропейской лесостепи и степи. В середине XX века европейские популяции вида оказались на грани исчезновения, но затем благодаря охранным мероприятиям и реинтродукциям популяции и ареал байбака были в значительной степени восстановлены. В работе собраны и представлены данные о двух восстановленных колониях сурка в лесостепи Европейской России. Исследования проводились в Центрально-Черноземном заповеднике (Стрелецкая степь, два участка) и в заповеднике «Приволжская лесостепь» (Островцовская лесостепь, три участка). Описаны численность и возрастной состав сурков. Составлены картосхемы поселений с норами и тропами сурков, для каждой норы указаны координаты и тип (временная или постоянная). Рассчитаны плотность населения и количество нор, приходящихся на одного сурка. Всего в Стрелецкой степи обитает 12 сурков: 10 – на участке «Пастбище» и 2 – на участке «Восстанавливаемая степь». На первом участке отмечено 7 взрослых и 3 молодых сурка, на втором – 2 взрослых сурка. Здесь реинтродукция байбака оказалась не вполне успешной. С 2015 по 2023 гг. численность сурков резко снизилась – с 38 до 12 особей, а площадь заселенной территории упала с 10 до 3.7 га. В Островцовской лесостепи отмечено 48 сурков (8 семей), из них 40 – на первом участке (6 семей), 2 – на втором участке (1 семья), 6 – на третьем участке (1 семья). Из 48 особей 29 (61%) – сеголетки. Реинтродукция байбака в Островцовской лесостепи прошла сравнительно успешно: общая численность животных сопоставима с числом выпущенных изначально сурков (48 и 64).

Ключевые слова: степной сурок, лесостепь, восстановление ареала, колония сурка, состав населения, структура поселения, динамика численности.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-90-98

EDN: YFKFUS

Степной сурок, или байбак (*Marmota bobak* Müll., 1776) – один из самых типичных грызунов восточноевропейских степи и лесостепи, а также степей Казахстана. Этот крупный колониальный норный грызун играл важную роль в степных экосистемах. Сурки были одними из многочисленных и важнейших травоядных животных, а их бутаны (сурчины) в значительной степи формировали микрорельеф степных и лесостепных территорий, и, соответственно, зоогенную комплексность растительного и почвенного покровов. В XIX-XX вв. ареал степного сурка в Европе, особенно к западу от Волги, из-за почти полной распашки степей и массовой охоты сократился до единичных локальных участков с низкой численностью. В середине XX века европейские популяции вида оказались на грани исчезновения (Бибиков и др., 1990).

В 1980-х гг. в СССР проводились масштабные мероприятия по спасению байбака. Благодаря охранным мерам и многочисленным реинтродукциям и интродукциям, ареал вида был в значительной степени восстановлен и даже расширен, популяции стабилизировались. Было создано множество искусственных поселений байбака в разных регионах Европейской России (Дмитриев, 2001). Судьба таких поселений различна (Румянцев, 1997). Одни успешно функционируют, сурки в них достигают высокой численности и успешно расселяются, другие достаточно стабильно существуют при довольно низкой численности, третьи исчезают по различным причинам. Реинтродукции байбака в места бывшего обитания продолжаются и в последние

десятилетия. В двух лесостепных заповедниках Европейской России – Государственном природном биосферном Центрально-Чернозёмном заповеднике им. профессора В.А. Алехина и Государственном природном заповеднике «Приволжская лесостепь» – они проводились в 2013-2014 гг.

Цель данной работы – оценка результатов реинтродукции в названных заповедниках по состоянию на 2023 г. Были поставлены задачи: охарактеризовать территории, куда вселяли сурков; описать начальные этапы реинтродукции; исследовать современное состояние колоний; оценить успешность реинтродукции в каждом из заповедников.

Материалы и методы

Обследованы искусственно созданные поселения степного сурка в двух лесостепных заповедниках – Центрально-Черноземном (1-20 июня 2023 г.) и «Приволжская лесостепь» (3-23 июля 2023 г.). Описаны численность и возрастной состав сурков, состав и территориальная приуроченность семейных групп. Особи доминантной пары и годовалые сурки из-за неточностей в их визуальном различении учитывались вместе и определялись как «взрослые», по той же причине, как правило, не различались самцы и самки. Особи текущего года рождения (сеголетки) определялись как «молодые». Гнездовые (зимовочные и летние) норы учитывались вместе как «постоянные», поскольку в сезон наблюдений их трудно различить. Остальные норы назывались «временными». Под «группой нор» понималось несколько выходов в пределах одного бутана или не далее 5 м от его центра. В большинстве случаев это несколько выходов одной норы. Одиночной считалась нора с одним выходом. Подсчитаны плотность населения и число нор, приходящихся на одного сурка. Составлены картосхемы поселений с норами и тропами сурков, для каждой норы указаны тип (временная или постоянная) и географические координаты. При работе с картографическими материалами использовалась программа ГИС MapInfo Professional 15.0.1.

Центрально-Черноземный заповедник расположен в юго-западной части Среднерусской возвышенности, в Курской области (Центрально-Черноземный ..., 2016). Исследование проводилось на участке «Стрелецкая степь» (в 7 км к югу от г. Курска), имеющем площадь 2046 га, из которых степи, преимущественно луговые, покрывают 870 га или около 42.5% участка. В растительном покрове степей доминируют ковыли – перистый (*Stipa pennata*¹) и узколистый (*S. tirsia*; Стрелецкий участок ..., 2014).

Работы велись на двух территориях: «Восстанавливаемая степь» (1 га, огорожена непроходимым для сурков забором) и «Пастбище» (3.7 га, огорожена проходным для сурков забором). Обе территории расположены в западной части участка. «Восстанавливаемая степь» подвергается регулярному сенокосению, в её пределах повсеместно развита растительность злаковой луговой степи. «Пастбище» находится под слабым влиянием выпаса скота и покрыто злаково-разнотравной луговой степью, зарастающей кустарниками (Брандлер и др., 2012). Сурки изучались путем визуальных наблюдений с биноклем. Картировались норы и их скопления, отмечались типы и координаты нор, исследовалась система троп сурков на обоих участках,

Заповедник «Приволжская лесостепь» расположен в Пензенской области, на западе Приволжской возвышенности. Участок «Островцовская лесостепь», где проводились исследования, находится на юге области, в Колышлейском районе. Площадь участка – 404.7 га, протяженность с востока на запад – 3.9 км, с севера на юг – 2.2 км. Островцовская лесостепь расположена на водоразделе между долинами рек Арчады (запад) и Хопер (восток). Территорию заповедника с юга и востока окаймляет довольно глубокая балка и ее многочисленные ответвления (Сайт заповедника ..., 2023). В сообществах луговой и степной растительности доминируют типчак (*Festuca valesiaca*), кострецы безостый и береговой (*Bromus riparia*, *B. inermis*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*). Среди луговых степей встречаются небольшие участки леса и кустарников – так называемые колки (Новикова, 2012).

Работы здесь велись на трёх территориях – на востоке, юго-востоке и западе участка – площадью 20.3, 1.4 и 2.4 га соответственно. Наблюдения проводились так же, как и в Центрально-Черноземном заповеднике. В дополнение использовались данные фотоловушек типов KeepGuard и SeeLock,

¹ Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черенпанова (1995).

установленных в 9 пунктах рядом с предполагаемыми основными норами семейных групп сурков.

Результаты и обсуждение

Центрально-Чернозёмный заповедник. В Курской области (губернии) к началу XX века байбак исчез полностью (Брандлер и др., 2012). Реинтродукция проводилась в 2013-2014 гг., звери завозились из Белгородской области. В 2013 году было выпущено 40 сурков на «Пастбище» (Брандлер, Колесников, 2014). Площадь заселяемой сурками части «Пастбища» тогда составляла около 20 га (личное сообщение А.А. Власова; рис. 1А).

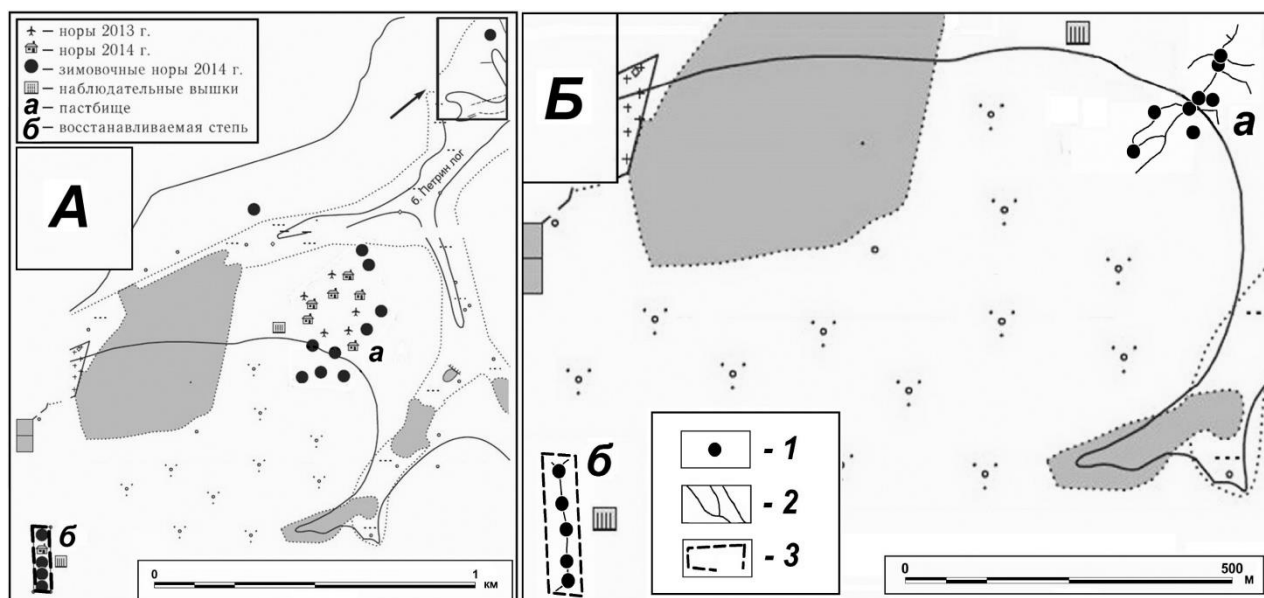


Рис. 1. Реинтродуцированные поселения сурков в Стрелецкой степи: А – в 2013-2014 гг. (Брандлер с соавторами (2015) с изменениями и дополнениями), Б – в июне 2023 г. *Условные обозначения:* 1 – постоянные норы (гнездовые – зимовочные и летние), 2 – основные тропы сурков, 3 – непреодолимая для сурков ограда на территории «Восстанавливаемая степь».

Сурки в основном благополучно перезимовали, но весной 2014 года покинули охраняемую территорию, а часть их погибла. Тогда был проведен повторный завоз на «Пастбище» и выпуск сурков на «Восстанавливаемой степи», которая была огорожена непроходимым для сурков забором. Всего в подготовленные искусственные норы было выпущено 78 сурков, привезенных из Белгородской области. На «Пастбище» в этот раз удалось задержать часть сурков (около 60%). Из сбежавших сурков часть поселилась севернее «Пастбища», на другой стороне балки Петрин Лог, в охранной зоне заповедника. С территории «Восстанавливаемая степь» суркам уйти не удалось. Осенью 2014 года в спячку залегло 30 сурков на «Пастбище», 5 – на северной стороне балки рядом с «Пастбищем», 20 – на территории «Восстанавливаемая степь». Весной 2015 года из спячки вышло 38 сурков: 13 – на территории «Восстанавливаемая степь», 18 – на «Пастбище», 7 – в охранной зоне заповедника (Брандлер, Колесников, 2014; Брандлер и др., 2015; Вервальд, Брандлер, 2015). Площадь, заселённая сурками, составляла около 10 га (личное сообщение О.В. Брандлера; рис. 1А).

К 2023 году численность сурков и занимаемая ими территория сильно сократились. На «Восстанавливаемой степи» осенью 2022 года залегли в спячку 4 сурка, а вышли следующей весной лишь 2 (личное сообщение А.А. Власова). На «Пастбище» численность байбака весной 2023 года оценивалась в 7-8 особей (личное сообщение А.А. Власова). Площадь, занятая сурками на «Пастбище», сократилась до 3.7 га или 18-19% от первоначальной (рис. 1Б).

По нашим наблюдениям, в июне 2023 года на «Восстанавливаемой степи» обитали два взрослых сурка. Они жили на севере и на юге территории поодиночке и вместе не встречались. В пределах территории отмечено 5 постоянных нор (групп нор), имеющих искусственное происхождение, и три временных норы. Оба сурка жили именно в старых, искусственно созданных норах. На каждого

сурка здесь приходится 4 норы (группы нор), большинство из которых заброшено. Тропы сурков выражены плохо. Плотность населения – 2 особи/га (рис. 2А)

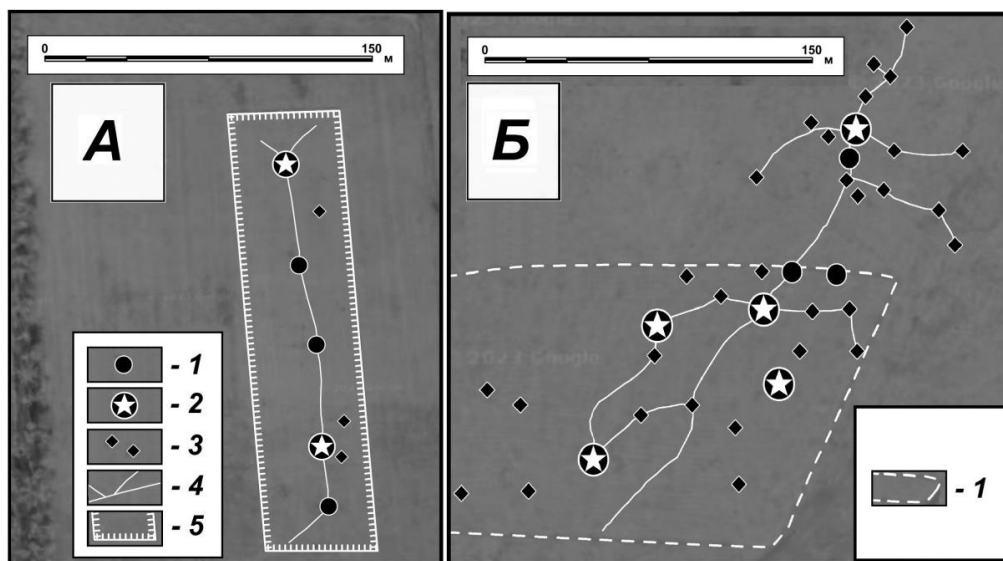


Рис. 2. Поселения сурков в Стрелецкой степи в 2023 г.: А – «Восстанавливаемая степь», Б – «Пастбище». Условные обозначения: 1 – постоянные норы, 2 – постоянные норы, где отмечены сурки, 3 – временные норы (защитные или кормовые), 4 – основные тропы сурков, 5 – непреодолимая для сурков ограда; 1 (на Б) – изначально созданная ограда, преодолимая для сурков.

На «Пастбище» и в его окрестностях живут 10 сурков (7 взрослых и 3 молодых). Эта территория выглядит хорошо обжитой сурками. Их распределение неравномерно. В западной части «Пастбища» сурки в настоящее время не обитают, норы заросли травой или обвалились. На юго-востоке в трех норах живут три одиночных взрослых сурка. Группа сурков обитает на северо-востоке «Пастбища»: 3 взрослых и 3 молодых. За пределами «Пастбища», немного северо-восточнее отмечен один взрослый сурок. Плотность населения – 3.6 ос./га. Всего отмечено 38 нор (групп нор), в т.ч. 18 постоянных. На каждого сурка приходится 3.8 нор (групп нор), многие из которых заброшены (рис. 2Б).

Таким образом, с 2015 по 2023 годы общая численность сурков в Стрелецкой степи снизилась с 38 до 12 особей, а площадь заселенной ими территории – с 10 до 3.7 га. На огороженной территории «Восстанавливаемая степь» численность сурков упала с 13 до 2 особей-одиночек, хотя занимаемая сурками площадь не изменилась. На «Пастбище» численность сократилась с 18 до 10 особей, снизившись в 1.8 раза. При этом число семейных групп снизилось с 9 до 1, но средняя численность в группе выросла с 2 до 7 особей (5 сурков, судя по всему, не принадлежат к семейной группе). Занимаемая сурками площадь упала с 10 до 3.7 га или в 2.7 раза. Сурки исчезли с большей части «Пастбища», но в его центре образовался довольно плотно заселенный участок (рис. 2Б). Здесь продолжается размножение и численность байбаков, вероятно, стабилизировалась, хотя и на низком уровне.

Заповедник «Приволжская лесостепь». В Пензенской области (губернии) в XIX веке сурки заселяли практически всю лесостепную часть, но к началу XX века полностью исчезли (Спрыгин, 1925). В 1985-1989 гг. здесь проводились мероприятия по реинтродукции байбака. В десяти пунктах шести районов области было выпущено 655 сурков. Некоторые из созданных колоний исчезли, но часть поголовья расселилась по окрестностям, дав начало новым поселениям. В 2010 году сурок обитал только на юго-востоке области, в Бессоновском, Неверкинском и Мокшанском районах, в балках Большая Ендова и Малая Ендова (Бессоновский и Мокшанский районы) сформировались самые многочисленные на 2010 год поселения сурка (не менее 300 особей) (Румянцев и др., 2012; Rumyantsev et al., 2012).

Реинтродукция сурков в Островцовскую лесостепь начата в 2013 г. Байбаки завозились из

Пензенской (Неверкинский и Мокшанский районы) и Саратовской (Калининский район) областей (Добролюбов, 2015). Выпуск проводился несколькими партиями общей численностью 39 особей. Звери выпускались в двух местах – в ендове (циркообразной форме рельефа, образовавшейся при меандрировании притока Хопра) и на северном склоне долины этого же притока на западе участка. В 2014 году было сооружено несколько искусственных нор и выпущено ещё 25 особей. Из них 9 сурков перезимовали в заповеднике, один погиб, остальные ушли на 11 км к югу, образовав колонию в балке у деревни Чеботаевка (Добролюбов, 2015).

В 2023 г. сурки в Островцовской лесостепи обитали на трех участках. *Первый* и самый большой (20.3 га) расположен на востоке, к северу от р. Скрипицинка, занимая её пойму, надпойменные террасы (НПТ), уступы коренного берега и часть плакора. Эти элементы рельефа сменяются в таком порядке с юга на север, а река течет с запада на восток (рис. 3). Основная часть поселения занята злаково-землянично-разнотравной луговой степью с единичными кустарниками (терн, вишня). Склон коренного берега хорошо выражен, доходя до 8-10 м относительной высоты, и рассечен небольшими балками, в которых пятнами растут миндаль и спирея. На плакоре сурки заняли часть расположенного по соседству с заповедником подсолнечного поля.

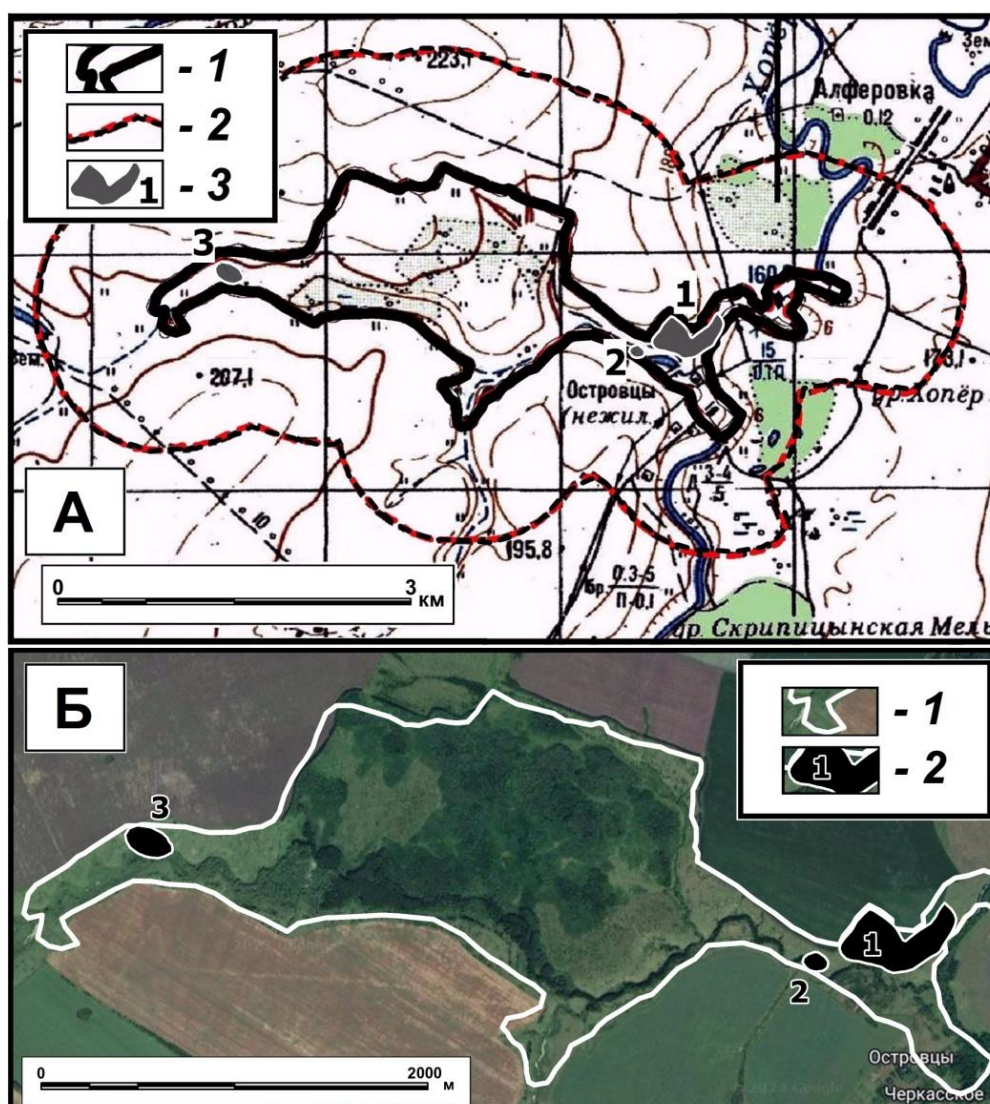


Рис. 3. Поселения сурков в Островцовской лесостепи: А – на топографической карте, Б – на космическом снимке. *Условные обозначения:* 1 – граница заповедной территории, 2 – граница охранной зоны заповедника, 3 – поселения сурков; 1 (на Б) – граница заповедной территории, 2 (на Б) – поселения сурков.

Второй участок (около 1.4 га) расположен на другом берегу реки, чуть юго-западнее (рис. 3). По рельефу и растительности он похож на предыдущий, отличаясь малыми размерами и значительно меньшим перепадом высот. Пойма с пойменными лугами занимает около половины его территории. К югу от него находится пшеничное поле.

Третий участок (около 2.4 га) также находится в долине р. Скрипицинка, на западе Островцовской лесостепи (рис. 3). В рельефе выражены увалистые южные края плакорной равнины, рассеченные идущими к реке балками. На юге участок ограничен поймой реки, на севере – подсолнечным полем. На плакоре в растительности доминируют злаково-землянично-подмаренниковые луговые степи, в балках и нижних частях склонов – высокотравные пойменные луга.

В 2023 году на восточных участках учтено 42 сурка (40 – на первом, 2 – на втором), а на западном – 6. Всего на трех участках обитает не менее 48 сурков: 29 из них (61%) молодые, а 19 (39%) – взрослые. Семей байбаков всего 8, среднее число зверей в семье 6, из них 3.6 – взрослых, 2.4 – молодых. Нор (групп нор) всего 115. Временных нор 73 (57%), постоянных 55 (43%). На каждого сурка в среднем приходится 2.7 норы, из которых 1.15 постоянных, на семью – 16.2 и 6.9 соответственно.

На *первом* участке, самом большом и населенном, обитает 40 сурков (средняя плотность – 1.97 ос./га). Они объединены в 6 хорошо обособленных семей. В семье от 5 до 8 особей, в среднем – 6.67. Среди всех сурков 16 (40%) взрослых и 24 (60%) молодых. Число молодых сурков в семьях варьирует от 2 до 6. В среднем в каждой семье их по 4. Общее количество групп нор – 103, с 116 норами. Временных нор 66 (56.9%), постоянных 50 (43.1%). На каждого сурка приходится 2.9 нор, из которых 1.25 постоянных. Зброшенных нор практически нет. Байбаки обитают практически по всему участку, оставляя незанятой лишь пойму и припойменную часть НПТ, а также наиболее вытянутый к югу участок коренного берега (рис. 4А).

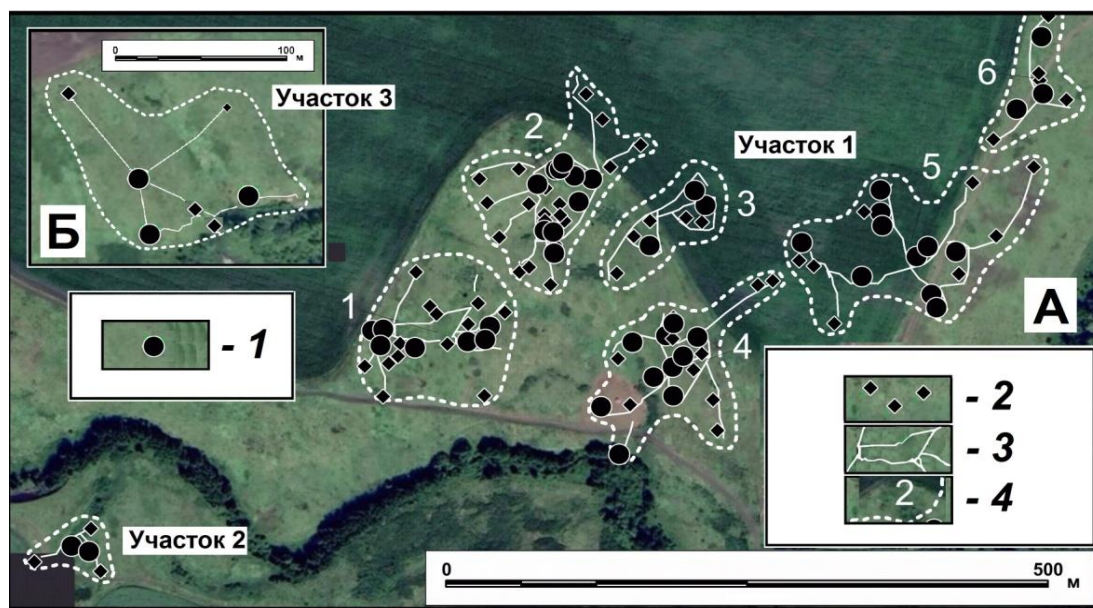


Рис. 4. Семейные группы сурков в Островцовской лесостепи: А – участки 1 и 2, Б – участок 3 (рис. 3). Условные обозначения: 1 – постоянные норы, 2 – временные норы, 3 – основные тропы сурков, 4 – примерные границы территорий семейных групп; белые цифры 1-6 – номера семейных участков.

Первая семья живет на западе, ее территория занимает плакор, склон коренного берега и часть НПТ. Она состоит из 8 особей: 3 взрослых и 5 сеголеток. Всего на участке группы находится 17 групп нор, включающих 21 нору. На каждого сурка приходится 2.6 норы.

Вторая семья живет на севере. Ее владения занимают часть НПТ, балку, пересекающую коренной берег, и идут на север, на плакор, за пределы заповедника, на подсолнечное поле. В ней 7 особей: 2 взрослых и 5 молодых. Семье принадлежит 29 групп нор, включающих 32 норы. На каждого сурка приходится 4.55 нор.

Третья семья живет немного юго-восточнее второй. Её основные норы приурочены к верхней части склона коренного берега, а на НПТ есть лишь одна временная нора. Представители данной группы также устраивают норы на подсолнечном поле и едят подсолнечник. В ней 8 особей: 2 взрослых и 6 сеголетков. Семье принадлежит 8 групп нор, включающих 9 нор. На каждого сурка приходится 1.11 норы. Таким образом, третья семья отличается относительно малым количеством нор.

Четвертая семья живет юго-восточнее третьей. Ее территория – от края поймы на юго-западе до подсолнечного поля на плакоре на северо-востоке. В ней отмечено 6 особей: 4 взрослых и 2 молодых. Семье принадлежит 23 группы нор, включающих 25 нор. На каждого сурка приходится 4.17 норы.

Пятая и шестая семьи живут на северо-востоке: одна – юго-западнее, вторая – северо-восточнее. Обе семьи населяют территории от края поймы до подсолнечного поля. В этой части речной долины НПТ не выражены и пойма переходит сразу в склон коренного берега, в верхней части которого находятся основные норы. В *пятой* семье 5 особей: 2 взрослых и 3 молодых. Семье принадлежит 18 групп нор, включающих 20 нор. На каждого сурка приходится 4 норы. В *шестой* семье, самой северо-восточной, 6 особей: 3 взрослых и 3 молодых. Семье принадлежит 8 групп нор, включающих 9 нор. На каждого сурка приходится 1.5 нор.

На этом участке сурки из 5 семей, общей численностью 32 особи, используют для кормёжки часть подсолнечного поля, граничащего с колонией. Площадь посевов подсолнечника, потравленных сурками за май-июль, – около 4.2 га. Следовательно, один сурок за май-июль в среднем выедает примерно 0.13 га подсолнечника.

На *втором участке* живут всего два взрослых сурка (самец и самка) – одна небольшая семья. Она занимает запад участка от поймы до южной границы (рис. 4А). Временных нор – 3, постоянных – 2, всего – 5. На одного сурка приходится 2.5 нор, в т.ч. 1 постоянная.

На *третьем участке* (рис. 4Б) обитает одна семья из 6 особей. Одна из них – взрослая самка, 5 – сеголетки. Семья занимает западную часть участка, край плакора и склон коренного берега. Групп нор – 7, с 9 норами. Временных нор – 4, постоянных – 5. На каждого сурка приходится 1.5 норы, из которых 0.83 – постоянных.

Плотность населения байбака в Стрелецкой степи – от 2 до 3.6 ос./га, в Островцовской лесостепи – около 2 ос./га. Сравним эти показатели с данными по другим искусственно созданным колониям байбака в лесостепи и на юге зоны широколиственных лесов. Средняя плотность населения сурков на одном из участков Мордовии (Лаштырме) составила 1.03 особи на 1 га (Андрейчев и др., 2019), а в целом по Мордовии – 1.54 ос./га (Андрейчев и др., 2019). В Ульяновской области средняя плотность населения – 1.6 ос./га (Наумов и др., 2014; Титов и др., 2015). В крупнейшем из поселений сурков в Пензенской области плотность населения – 1-1.25 ос./га (Румянцев и др., 2012; Romyantsev et al., 2012). В Нижегородской области (Уразовская колония) плотность населения байбака – 1.04 ос./га (Андрейчев и др., 2017). В южной Удмуртии средняя плотность населения сурка – около 0.9 ос./га (Загуменов, 2015). Таким образом, в лесостепи обычная плотность населения байбака в колониях – около 1-1.5 ос./га, хотя в оптимальных условиях она может достигать 4-5 ос./га или 1 семья/га (Румянцев и др., 2012; Romyantsev et al., 2012).

Выводы

В Стрелецкой степи реинтродукция прошла не очень удачно. Изначально здесь было выпущено 118 особей, но к 2015 году их осталось 38. С 2015 по 2023 годы численность сурков снизилась до 12 особей, а общая заселенная ими территория уменьшилась с 10 га до 3.7 га. Очевидно, это связано с ограниченной площадью местообитаний, благоприятных для сурков. В особенности это касается огороженной «Восстановленной степи», площадь которой достаточна только для одной семьи, и нет возможности расселения молодняка. Но на «Пастбище» сурки, видимо, освоили наиболее благоприятную, хотя и небольшую территорию, где их численность стабилизировалась на невысоком уровне. Плотность населения здесь нормальна для байбака в лесостепи, осуществляется воспроизводство популяции.

Реинтродукция байбака в Островцовской лесостепи прошла более успешно. Общая численность животных на 2023 г. (48) сопоставима с числом выпущенных за два года сурков (64), а молодые составляют значительную часть популяции (61%), что указывает на довольно высокую

интенсивность размножения. Происходит расселение животных внутри Островцовской лесостепи.

Плотность населения в обследованных колониях сурков составляет от 2 до 3.6 ос./га, что, видимо, даже несколько выше среднего для искусственно созданных поселений сурков в лесостепи и на соседних территориях. Это свидетельство того, что колонии созданы в подходящих для сурков биотопах и находятся в нормальном состоянии.

В Стрелецкой степи («Пастбище») поселение сурков близко к степному (диффузному) типу. В Островцовской лесостепи поселения байбака имеют структуру балочного типа. Семейные участки расположены «гирляндой» по склону речной долины, полосами от бровки коренного берега к пойме.

Данные по Островцовской лесостепи подтверждают, что байбак может быть вредителем некоторых сельскохозяйственных культур – сочных растений, таких как подсолнечник. С другой стороны, случаев повреждений сурками зерновых культур (пшеницы) не отмечено.

Благодарности. Авторы благодарны О.В. Брандлеру, А.А. Власову и А.Н. Добролюбову за оказанную ими методическую и техническую помощь в проведении исследований.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы ГЗ № ЦИТИС 121051100137-4 Московского государственного университета «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» при поддержке Программы развития МГУ (#1220).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андрейчев А.В., Жалилов А.Б., Кузнецов В.А. 2015. Состояние локальных популяций степного сурка (*Marmota bobak*) в республике Мордовия // Зоологический журнал. Т. 94. № 6. С. 723-730.
- Андрейчев А.В., Жалилов А.Б., Кулахметов Р.М. 2019. Современное состояние популяций степных видов млекопитающих в Мордовии // Млекопитающие России: фаунистика и вопросы териогеографии. Ростов-на-Дону, М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 1-14.
- Бибиков Д.И., Дёжкин А.В., Румянцев В.Ю. 1990. История и современное состояние байбака в Европе // Бюллетень МОИП. Отделение Биологическое. Т. 95. Вып. 1. С. 15-30.
- Брандлер О.В., Вервальд А.М., Власова О.П. 2015. Второй этап реинтродукции степного сурка в Центрально-Черноземном заповеднике // Степной бюллетень. № 43-44. С. 3-66.
- Брандлер О.В., Власова О.П., Власов Е.А. 2012. Реинтродукция степного сурка в Центрально-Черноземном заповеднике // Степной бюллетень. № 35. С. 50-55.
- Брандлер О.В., Колесников В.В. 2014. Первый этап реинтродукции степного сурка в Центрально-Черноземном заповеднике // Степной бюллетень. № 40. С. 40-43.
- Вервальд А.М., Брандлер О.В. 2015. Особенности реинтродукции степного сурка в условиях Центрально-Черноземного заповедника // Сурки Евразии: экология и практическое значение: Материалы XI международного совещания по суркам специалистов стран бывшего Советского Союза, 11-15 марта 2015 г., пос. Родники, Раменский район, Московская область, Россия. М.: Комиссия по изучению сурков ТО РАН. С. 9-34.
- Дмитриев А.В. 2001. Реакклиматизация, охрана и восстановление численности степного сурка (*Marmota bobak* Müller, 1776) в Поволжье. Дисс. канд. ... биол. наук. М. 236 с.
- Добролюбов А.Н. 2015. Реликтовое поселение степного сурка (*Marmota bobak*) в Попереченской степи и его реинтродукция в природные комплексы заповедника // Биологическое разнообразие и динамика природных процессов в заповеднике «Приволжская лесостепь». Попереченская степь. Пенза: ИП Соколова А.Ю. С. 165-169.
- Загуменов М.Н. 2015. Современное распространение степного сурка в Удмуртии через 30 лет после интродукции // Вестник Удмуртского университета. Биология, науки о Земле. Т. 25. Вып. 3. С. 41-50.
- Наумов Р.В., Кузьмин А.А., Титов С.В. 2014. Современное распространение степного сурка в Ульяновской области // Вестник ТвГУ. Серия «Биология и экология». № 4. С. 153-159.
- Новикова Л.А. 2012. Изменение травянистой растительности Островцовской лесостепи в условиях заповедности // Биологическое разнообразие и динамика природных процессов в заповеднике «Приволжская лесостепь». Островцовская лесостепь. Пенза: ИП Тугушева С.Ю. С. 43-66.
- Румянцев В.Ю. 1997. Реакклиматизация байбака: итоги и проблемы. (Сообщение 1 – некоторые методические вопросы) // Возрождение степного сурка. Тезисы докладов Международного семинара по суркам стран СНГ, 26-30 мая 1997 г., с. Гайдары, Харьковская обл., Украина. М.: АБФ. С. 30-32.
- Румянцев В.Ю., Ермаков О.А., Ильин В.Ю., Добролюбов А.Н., Солдатов М.С., Даниленко Е.А. 2012. К истории и современному состоянию степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) в Пензенской области // Аридные экосистемы. Т. 18. № 2 (51). С. 62-73. [Rumyantsev V.Yu., Ermakov O.A., Il'in V.Yu., Dobrolyubov A.N., Soldatov M.S., Danilenko E.A. 2012. On the History and Modern State of the Steppe Marmot (*Marmota bobak*

Müll.) in Penza Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 2. No. 2. Pp. 111-119.]

- Сайт заповедника «Приволжская лесостепь». 2023. Территория Островцовская лесостепь [Электронный ресурс <https://zpls.ru/o-zapovednike/territoriya/ostrovczovskaya-lesostep.html> (дата обращения 09.10.2023)].
- Спрыгин И.И.* 1925. Исчезновение двух степных грызунов сурка и слепца в Пензенской губернии // Труды по изучению заповедников. Вып. 6. М.: Изд-во Отдела охраны природы Главнауки НКП. 20 с.
- Стрелецкий участок Центрально-Черноземного заповедника. 2014. Полевой путеводитель / Ред. А.А. Власова, О.П. Власовой, Н.И. Золотухина, А.В. Рыжкова, В.П. Сошниной, Т.Д. Филатовой. Курск: Изд-во ФГБУ «Центрально-Черноземный государственный заповедник». 105 с.
- Титов С.В., Кузьмин А.А., Наумов Р.В., Ермаков О.А, Закс С.С., Чернышова О.В.* 2015. Динамика ареалов и современное состояние поселений наземных белых в правобережных районах Поволжья. Пенза: Изд-во ПГУ. 124 с.
- Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник имени профессора В.А. Алехина (научно-популярное издание). 2016 / Ред. А.А. Власова, О.В. Рыжкова, Н.И. Золотухина. Курск: Мечта. 320 с.
- Черепанов С.К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). 2-е изд. Санкт-Петербург: Мир и семья-95. 990 с.

**ПОПУЛЯЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПТИЦ СЕМЕЙСТВА ЧАЙКОВЫЕ (*LARIDAE*)
НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИИ
ПРИ УСИЛЕНИИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

© 2024 г. И.Б. Шаповалова

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: ibshapovalova@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.01.2024. После доработки 01.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

В работе приведены сведения о состоянии гнездовой популяции некоторых видов отряда Ржанкообразные (*Charadriiformes*) на основе собственных экспедиционных и литературных данных, полученных при изучении видов птиц болотно-околоводного комплекса, наиболее чувствительных к изменению водного режима водоемов юга Европейской части России (на примере искусственных водоемов Республики Калмыкия), вследствие усиления антропогенной нагрузки и климатических изменений. Дан анализ воздействия водного фактора (осушение/обводнение водоема) на гнездовую популяцию некоторых представителей семейства Чайковые (*Laridae*). Приведены сведения об особенностях гнездовой экологии наиболее типичных для района исследований гнездящихся видов этой таксономической группы, даны их общие количественные показатели и динамика численности за период 2011-2015 гг. Оценен вклад водоемов Сарпинской озерной системы и озера Деэд-Хулсун в сохранение и обогащение биоразнообразия региона. Даны рекомендации по управлению их гидрологическим режимом с целью поддержания и сохранения популяций редких и уязвимых видов птиц.

Ключевые слова: степная зона, водохранилище, аридизация, гидрологический режим, климат, антропогенное воздействие, биоразнообразие, орнитокомплексы, популяция, редкие виды, Красная книга, риск вымирания видов в дикой природе, система классификации видов, факторы воздействия на популяции видов птиц.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-99-116

EDN: XTKDHC

Искусственные водоемы в условиях аридного климата создают уникальные условия для обитания множества разнообразных форм живых организмов, в т.ч. птиц, и таким образом способствуют сохранению и расширению природного биоразнообразия края и России в целом, привлекая на свои территории новые, а также редкие и нуждающиеся в охране виды. Сохранение и восстановление видового разнообразия – важнейшая задача любого региона страны. При этом некоторые представители прибрежной авифауны, в частности, представители отряда Ржанкообразные (*Charadriiformes*): некоторые виды чаек из семейства Чайковые (*Laridae*) и кулики из подотряда Ржанковые (*Charadrii*), обитающие на водоемах степной и полупустынной зон, способны наиболее чутко реагировать на изменение окружающей среды, а также обладают рядом адаптивных механизмов к частым изменениям гидрологического режима водоема. Они представляют особый интерес для изучения ответных реакций живых организмов на изменение среды и могут быть использованы в качестве индикаторных при оценке состояния прибрежных экосистем водоемов аридных территорий.

По наблюдениям ряда авторов, основным фактором воздействия на прибрежные орнитокомплексы является *изменение уровня воды в водоеме* (Мельничук, 1968, 1974; Толчин, Толчина, 1974; Books, 1985; Шаповалова, Завьялов, 2009). На водоемах с зарегулированным стоком, резкие и частые колебания уровня воды разной периодичности (с амплитудой 0.5-1.0 м и более) способны оказывать крайне негативное воздействие на водоплавающих и другие виды птиц болотно-околоводного комплекса, гнездящихся на земле недалеко от уреза воды. Особенно опасны для гнездования в прибрежной зоне залповые сбросы воды в июне. Отмечено, что нестабильность

гидрорежима в гнездовой сезон сопровождается повышенным отходом яиц, ухудшением кормовой базы и гибелью водной растительности (Ушаков, 1969; Еремченко, 1984). В то же время частые колебания воды могут оказывать на некоторые лимнофильные виды и положительный эффект. Так, при понижении уровня воды на побережье в зоне осушки в большом количестве остаются водные беспозвоночные, а при его подъеме в воду попадают наземные беспозвоночные, что способствует расширению кормовой базы птиц, кормящихся с поверхности почвы или воды (Books, 1985). Отмечено, что на водоемах накопительного типа с зарегулированным стоком большинство водоплавающих и околоводных видов птиц, гнездящихся в прибрежной зоне и на мелководьях, испытывает прямое влияние водного фактора и способно выдерживать лишь определенные пороговые значения амплитуды колебаний уровня воды в гнездовой период (до 1.0 м), не превышающие норму реакции вида на этот фактор. В противном случае (при амплитуде суточных или резких сезонных колебаний от 1.0 м и более) наблюдается значительное увеличение процента гибели кладок вследствие заливания гнездовых стаций и общее сокращение численности гнездовой популяции, которое в этом случае может составлять 50% (Толчин, Толчина, 1974; Шаповалова, Завьялов, 2009), а при совпадении подъема уровня воды с пиком насиживания большинства птиц гибель может составлять до 100% кладок (Горшков, 1980). При этом наибольшую опасность представляют островные участки суши, которые при внезапном подъеме уровня полностью заливаются и приобретают роль своеобразных «экологических ловушек» (Болотников и др., 1986). В период гнездования у различных птиц болотно-околоводного комплекса, обитающих в прибрежной зоне зарегулированных участков искусственных водоемов и испытывающих воздействие частого изменения гидрорежима, наблюдается разная ответная реакция на колебания уровня воды. Одни виды могут успешно гнездиться только при колебаниях, не превышающих 5-10 см (большая (*Podiceps cristatus*¹) и серошекая поганки (*P. grisegena*), другие же (лысуха (*Fulica atra*), камышница (*Gallinula chloropus*), красноголовый нырок (*Aythya ferina*), хохлатая чернеть (*A. fuligula*)) способны выдерживать суточное изменение уровня до 40 см (Books, 1985). Однако если амплитуда колебаний уровня начинает превышать норму реакции вида, то птицы (поганкообразные (*Podicipediformes*), гагарообразные (*Gaviiformes*), гусеобразные (*Anseriformes*)) перестают гнездиться на таком водоеме и встречаются там только во время пролета или на летних кочевках (Books, 1985).

Колониально гнездящиеся виды чайковых птиц (сем. *Laridae*), как и большинство других низкогнездящихся представителей авифауны прибрежных экосистем, чувствительны к частым изменениям водного режима. Однако по сравнению с другими видами прибрежных биоценозов приобретенные в процессе эволюции адаптационные механизмы позволяют чайковым выдерживать частые и продолжительные колебания уровня воды и, таким образом, успешно существовать на таких водоемах, быстро заселяя их акватории (Мельников, 1982). Способность представителей *Laridae* быстро приспосабливаться к часто меняющимся условиям среды искусственных водоемов с зарегулированным стоком делает эту группу видов наиболее интересной для изучения при рассмотрении ответных реакций птиц прибрежного орнитокомплекса на частые изменения водного режима искусственных водоемов с зарегулированным стоком, находящихся в интразональных условиях. Поэтому они были выбраны объектом исследования.

Материалы и методы

Район исследований. В работе наиболее подробно были рассмотрены водоемы *Сарпинского озерного орнитогеографического района* Республики Калмыкия (Цапко, 2009). В него входят крупные озера, такие как Барманцаг, Ханата, Сарпа и Деед-Хулсун, которые остались от некогда бывшего протока р. Волга (Цапко, 2009). Они представляют цепочку пресных и солоноводных озер с обширными мелководьями, островками и густыми зарослями надводной растительности из тростника, камыша и рогоза, которые расположены в ложбине древнейшего рукава пра-Волги. Древесная растительность близ этих водоемов практически отсутствует или представлена незначительными кустарниковыми зарослями и редкими лесополосами. В зоогеографическом плане здесь присутствуют виды, относящиеся к Европейскому, Средиземноморскому, Монгольскому,

¹ Русские и латинские названия таксонов птиц приводятся в соответствии со сводками Л.С. Степаняна (2003) и Е.В. Коблика с соавторами (2006).

Китайскому типу фаун, а также широко распространенные виды (Штегман, 1938). Через цепь водоемов Сарпинской низменности пролегают основные пути миграции птиц. Во время пролета здесь перекрываются пути птиц из разных регионов, представителей европейского и ирано-туранского типов фаун (Портенко, 1965), образуя экологические коридоры (Уланова, 2008). Водоемы Сарпа и Деед-Хулсун представляют собой место миграции и гнездования большого числа водоплавающих и околоводных видов, являются своеобразными рефугиумами для редких, исчезающих видов (Сохина и др., 2000), занесенных в Красные книги региона и России (Красная книга ..., 2000, 2013), а также являются частью двух основных охраняемых ключевых орнитологических территорий Калмыкии: «Сарпинские озера» и «Олинг» (Бадмаев, 2008, рис. 1). Эти водоемы были выбраны в качестве основного района исследований.



Рис. 1. Ключевые орнитологические территории Республики Калмыкии: 1 – «Сарпинские озера», 2 – «Олинг» (Бадмаев, 2008).

Основной целью нашей работы был анализ видового разнообразия птиц семейства Чайковые (*Laridae*) и состояния их популяций некоторых видов чайковых, обитающих на побережье искусственных водоемов Сарпа и Деед-Хулсун, расположенных в степной и полупустынной зонах Республики Калмыкии. Особое внимание уделяется природоохранной значимости охраняемых видов (Красная книга Российской Федерации (2000), Красная книга республики Калмыкии (2013), Красный список МСОП (2024)) в зависимости от изменений водного режима водоемов.

Основными задачами исследования были рекогносцировка данных о видовом составе птиц сем. *Laridae*, регулярно гнездящихся или эпизодически отмеченных на территории Калмыкии; анализ состояния гнездящихся популяций этих видов (видовой состав, частота встреч и/или динамика численности, экологическая характеристика, охранный статус) на степных водоемах Сарпа и Деед-Хулсун на основе собственных данных за 2011-2015 гг. и литературных данных; выявление причины

изменения численности (сокращение/восстановление) чайковых на побережье исследуемых водоемов; указание значимость этих водоемов в сохранении биоразнообразия региона.

Подробные исследования состояния гнездовых популяций видов птиц болотно-околоводного комплекса были проведены впервые на примере представителей *Laridae* с точки зрения изучения ответных реакций вида (анализ динамики видового разнообразия, частоты встреч и численности) на изменение водного режима (действие водного фактора) на территории отдельных водоемов Калмыкии.

Водохранилище впервые рассматривается как комплексный экологический фактор воздействия на орнитокомплексы территорий степной зоны юга европейской части России. Приводятся основные критерии (факторы) этого воздействия. Дана оценка вклада искусственных водоемов Калмыкии в формирование и сохранение орнитофауны региона. Выявлены основные диагностические показатели трансформации орнитокомплексов в связи с изменением уровня водохранилища в весенне-летний период, что является предпосылкой к обсуждению предложений по управлению режимом исследуемых искусственных водоемов.

Территория водоемов Сарпа и Деед-Хулсун в настоящее время испытывает сильную антропогенную нагрузку. Это объясняет трансформацию видового разнообразия и численности прибрежных биоценозов.

Озеро Сарпа. В мае 2012 года часть водохранилища за плотиной у пос. Цаган-Нур была спущена в связи с прокладкой газопровода от пос. Эвдык к пос. Цаган-Нур через середину водоема, для чего была разрушена дамба в его хвостовой части. Под угрозой оказались все прибрежные экосистемы восточной части (за плотиной), в т.ч. обитавшие там звери и птицы, включая виды, занесенные в Красные книги РФ (2000) и Республики Калмыкии (2013). Это спровоцировало сильное падение уровня в основной западной части водохранилища (в 2012 г. – понижение на 2 м), а также уровня грунтовых вод (Уланова, 2014). Замеры мы не проводили, однако в ближайших поселках пересохли колодцы, что вызвало сильные перебои с водой. Значительно возросла минерализация воды в оз. Сарпа для этого периода, а показатели перманганатной окисляемости сильно превысили норму (Уланова, 2014). Это отразилось на прибрежных биоценозах. Изменения затронули растительность (наблюдалось угнетение) и животное население. В первую очередь на изменения водного режима отреагировали птицы водно-болотного комплекса. Произошла смена сообществ. С обмелением водоема исчезли крупные водоплавающие лимнофильные виды птиц (сем. Утиные (*Anatidae*), сем. Пеликановые (*Pelecanidae*), сем. Баклановые (*Phalacrocoracidae*) и сем. Цаплевые (*Ardeidae*)) и сильно сократилась численность древесно-кустарниковых видов (дендрофильная группа). На мелководьях такие изменения вызвали непродолжительный всплеск численности отдельных представителей отряда *Charadriiformes* (чаек и куликов), который продолжался до полного обсыхания водоема. В этот период видовое разнообразие представителей этих групп также возросло. Кроме того, территорию стали посещать более мезофильные виды (серый журавль (*Grus grus*), желтая (*Motacilla flava*) и желтоголовая трясогузка (*M. citreola*) и др.).

Озеро Деед-Хулсун. До 70-х годов XX века данный водоем представлял собой небольшой лиман в устье реки Яшкуль, пересыхающий в летнее время. Его гидрологический режим полностью определяется климатическими условиями. Питание озера ограничивалось весенними талыми водами и атмосферными осадками. Однако после строительства в 1960 году Черноземельской обводнительно-оросительной системы и земляной плотины водоем превратился в приемник дренажно-сбросных вод (площадь водосбора – 1938 км²), идущих из оросительной системы по каналу УС-3, откуда поступало основное питание (Уланова, 2010). По каналу вода шла из Чограйского водохранилища (в основном – сбросная вода из бассейнов р. Терек и Кума). В 2006-2008 гг. вода по каналу УС-3 в оз. Деед-Хулсун не подавалась в связи с реконструкцией плотины на водохранилище (при спуске площадь водного зеркала сократилась до уровня мертвого объема). По 2010 год включительно уровень водоема оставался более-менее стабильным (максимальная глубина не превышала 2-2.5 м). Его питание в основном происходило за счет естественного притока (весенние талые воды и атмосферные осадки) и накопленной ранее воды из оросительной системы. С юга-востока Деед-Хулсун сдерживается земляной подпорной дамбой длиной 2550 м и шириной по гребню 4.5 м, которая ограничивает площадь разлива озера. По 2010 года включительно дамба также находилась в аварийном состоянии. Ее ремонт окончательно завершился к 2011 году (наши

данные).

В 2006-2010 гг. на оз. Деед-Хулсун отмечено превышение испаряемости над осадками в течение года, которое сопровождалось ежегодным увеличением минерализации к осени (Уланова, 2008, 2014). После завершения ремонтных работ основных гидросооружений озера (2010-2011 гг.) и плотины Чограйского водохранилища (завершение ремонта – 2008 г., активное наполнение – с апреля 2013 г.) начался активный сброс воды и зарыбление. Это привело к резкому подъему уровня воды с марта 2011 года. Сброс воды был осуществлен в несколько этапов: подъем – в марте 2011 г., повторный большой сброс из канала УС-3 – в мае. Одновременно со сбросом осуществлялся запуск малька промысловых видов рыб: сазана, белого амура, толстолобика, щуки. Подъем уровня водоема привел к обводнению прибрежных территорий. Под водой оказались полоса тростника и прибрежные луговые растительные сообщества с полосой тамарикса. Последовало заиление мелководных участков. Под воду ушла большая часть площади прибрежных пляжей и некоторые внутренние острова аллювиального происхождения. Повторные сбросы воды осуществлялись еще несколько раз в июне того же года. Впоследствии подобные резкие сбросы с похожей периодичностью отмечались на протяжении всего периода исследований по 2015 г. включительно. При каждом сбросе амплитуда колебания уровня за сутки составляла от 20 до 50 см, а сам сброс мог длиться до двух суток.

В мае-июне 2015 года сброс осуществлялся регулярно – через каждые 2 недели, и в итоге к маю вода распространилась далеко в верхнюю часть акватории. На водоеме действовали нагонные ветровые процессы. Все это вызвало трансформацию прибрежных сообществ животных, в первую очередь – орнитофауны. Seriously пострадали многие низкогнездящиеся виды птиц болотно-околоводного комплекса, в т.ч. виды из списка Красных книг России (2000) и Калмыкии (2013) – гнездовые колонии веслоногих семейства *Pelecanidae*, а также колпицы (сем. *Threskiornithidae*) и цаплевых (сем. *Ardeidae*). Под водой оказались гнезда птиц из семейства пастушковых (*Rallidae*), чайковых (*Laridae*), утиных (*Anatidae*), численность которых в 2011 и 2012 годах была снижена вдвое. На водоеме отмечались в основном холостующие (не размножающиеся) особи этих видов. Однако на мелководьях прибрежной зоны в верхней части водоема на заиленных участках были отмечены крупные гнездовые поселения чайковых, адаптировавшихся к часто меняющемуся гидрологическому режиму (залповые сбросы воды с резким многократным подъемом уровня воды в течение месяца) и сохранивших стабильность своих популяций. Кроме того, с 2012 года на побережье отмечено усиление фактора беспокойства (несанкционированная весенняя охота на водоплавающих), который также повлиял на существенное сокращение общей численности гнездящихся видов птиц. Не размножающиеся особи этих видов (пеликаны (сем. Пеликановые (*Pelecanidae*), колпицы (сем. Ибисовые (*Threskiornithidae*), сем. Цаплевые (*Ardeidae*), а также некоторые кулики из о. Ржанкообразных (*Charadriiformes*) и представители сем Чайковых (*Laridae*)) в последующие годы были отмечены кормящимися на летовании в верхней части водоема.

Методы исследования. В работе использована концепция экотонной структуры побережий (Залетаев, 1997); маршрутные эколого-фаунистические обследования территории в сочетании с работой на стационарах, учеты на маршрутах (Равкин, 1967), в трансектах дифференцированной ширины, точечные учеты (Vergeles, 1994), а также анализ литературных данных по региону. Плотность населения птиц определялась как для каждого биотопа, так и для побережий всех водоемов в целом (Ларина и др., 1981). Суммарное обилие всех видов в отдельных ландшафтных выделах принималось как плотность населения; виды птиц были поделены на очень редкие, редкие, малочисленные, обычные, многочисленные и очень многочисленные; каждому присваивалась бальная оценка. Русские и латинские названия таксонов птиц приводятся в соответствии со сводками Л.С. Степаняна (2003) и Е.В. Коблика с соавторами (2006), типы фауны – по Б.К. Штегману (1938) с некоторыми изменениями и дополнениями (Равкин, 1967). При описании населения птиц использовалась предложенная А.П. Кузьякиным (1962) шкала бальных оценок обилия птиц (особей/км²). Все виды в зависимости от их численности разделяются на абсолютно преобладающие (ССС) – 100 и более (встречается более 10 раз за дневную экскурсию), многочисленные (СС) – 10-99 (встречается 1-10 раз за дневной маршрут), обычные (С) – 1-9 (встречается ежедневно), редкие (R) – 0.1-0.9 (встречается регулярно, но не ежедневно), очень редкие (RR) – 0.01-0.09 (встречен 6-10 раз за все годы работ), чрезвычайно редкие (RRR) – 0.001 и меньше (встречен 1-5 раз за все годы работ). Доминантами и содоминантами по обилию считаются все виды, доля которых в сообществе

составляет по соответствующему показателю не менее 10%, а фоновыми – имеющими обилие не менее 1 особи на км². Расчет плотности населения вида (N) проводится по формуле (Равкин, 1967):

$$N \text{ вида} = ((40 \cdot n_1) + (10 \cdot n_2) + (3 \cdot n_3) + n_4) / L,$$

где $n_1 \dots n_4$ – число особей, зарегистрированных, соответственно, на расстояниях 1 – 0-25 м, 2 – 26-100 м, 3 – 101-300 м, 4 – 301-1000 м; 40, 10 и 3 – коэффициенты, «расширяющие» полосу учета до 1 км; L – расстояние, пройденное с учетом в 1 км. Для птиц, встреченных летящими, пройденное расстояние заменяется на суммарное время учета в часах, помноженное на 30 (средняя скорость полета птиц). В графе N данные по плотности «сидящих» и «летающих» птиц суммируются.

В статье приведена информация по имеющимся данным, по материалам литературного обзора, а также по авторским данным, полученным в результате проведенных с 2008 по 2015 гг. исследований на побережье водоемов Сарпа и Деед-Хулсун Республики Калмыкии. Работы велись по стандартным методикам линейных учетов и работы на стационарах. Используются данные литературного обзора научных материалов Калмыкии для анализа результатов наших исследований на внутренних водоемах Цаган-Нур/Сарпа и Деед-Хулсун в Октябрьском и Яшкульском административных районах. Общая протяженность ежедневных пеших маршрутов на водоеме Сарпа и Деед-Хулсун составляла 10-15 км. Всего за весь период исследований на водоеме Сарпа по трем заданным маршрутам пройдено 1045 км, а по двум маршрутам на водоеме Деед-Хулсун – 292 км. Обход осуществлялся дважды в день в утренние и вечерние часы (05:00 – 11:00 и 16:00 – 19:00) и составлял в среднем 5-6 и 3-4 часа соответственно. В ходе работы были описаны и учтены параметры гнезд некоторых видов птиц сем. *Laridae*, проведен оологический анализ по стандартным методикам. Ооморфологический анализ проведен по методикам Ю.В. Костина (1977) и С.М. Климова с соавторами (1989). Длину и ширину яиц определяли штангенциркулем с точностью до 0.1 мм. Цвет фоновой окраски яиц оценен по А.С. Бондарцеву (1954). Объем яиц вычисляли по формуле А.Л. Романова и А.И. Романовой (1959), уточненной Д. Хойтом (Ноут, 1979):

$$V = 0.51 \cdot b \cdot B \cdot 2,$$

где V – объем (см³), b – длина (см), B – ширина (см) яйца.

Результаты и обсуждение

По разным источникам, всего на территории Республики Калмыкии за разные годы исследований было отмечено около 314 видов птиц (Цапко, 2009), из которых только 187 (60% всей авифауны региона) было зарегистрировано на водоемах Сарпа (187 видов) и Деед-Хулсун (124 вида) в гнездовой период исследований 2010-2015 гг. Они относятся к 16 отрядам, 42 семействам и 100 родам. Отмечен 51 редкий и малочисленный вид, из которых 26 занесено в Красные Книги РФ (2000) и Калмыкии (2013) с различным статусом охраны. Среди всех видов, встреченных за весь период исследований, регулярно были отмечены на гнездовании 145 видов на оз. Сарпа и 113 видов на оз. Деед-Хулсун. По экологической структуре в прибрежных экосистемах степных водоемов в условиях интразональности в гнездовой период преобладают представители лимнофильной (до 68% всей авифауны) и дендрофильной (20% всей авифауны) группировок.

Отмечено, что на обоих водоемах доминируют 6 отрядов: воробьинообразные (*Passeriformes*), ржанкообразные (*Charadriiformes*), соколообразные (*Falconiformes*), гусеобразные (*Anseriformes*), журавлеобразные (*Gruiformes*) и аистообразные (*Ciconiiformes*). Среди них на исследуемых водоемах наибольшим видовым богатством и численностью обладают воробьинообразные (68 видов) и ржанкообразные (47 видов). Из отряда Ржанкообразные (*Charadriiformes*) особо можно отметить семейства Ржанковые (*Charadriidae*), Бекасовые (*Scolopacidae*) и Чайковые (*Laridae*), которые выделяются по видовому богатству и численности. Наибольшее внимание в нашей работе уделено сем. *Laridae*, как самой адаптированной к частым изменениям гидрорежима таксономической группе птиц.

На исследуемых водоемах Сарпа и Деед-Хулсун в весенне-летний период на гнездовании и летовании за весь период исследований было зарегистрировано 14 видов сем. *Laridae*, среди которых на гнездовании в прибрежной зоне отмечены хохотунья (*Larus cachinnans*), озерная чайка (*L. ridibundus*), а также речная (*Sterna hirundo*), светлокрылая (*Chlidonias leucopterus*), черная (*Ch. niger*), чайконосая (*Gelochelidon nilotica*) и малая крачка (*S. albifrons*). На летовании и весеннем пролете также встречаются черноголовый хохотун и очень редко – морской голубок (*Larus genei*).

Наиболее обычны и многочисленны на водоемах хохотунья, озерная чайка, а также речная, светлокрылая и черная крачки, которые образуют большое количество поселений в прибрежной зоне. Эти виды рассмотрены в работе наиболее подробно.

Основные места гнездования. Большинство представителей сем. *Laridae* – колониальные птицы, которые часто создают смешанные колонии, состоящие сразу из нескольких видов (чайки, крачки). На водоемах Цаган-Нур/Сарпа и Деед-Хулсун колонии чайковых чаще всего были отмечены в прибрежной зоне, на открытых заиленных, заболоченных и хорошо прогреваемых мелководных участках водоема, среди куртин низкорослой гидрофильной растительности (камыша, осоки), на кочках либо среди сильно подгнившей гидрофильной растительности и ее остатков (тростника обыкновенного, рогоза узколистного, злаковых), которую они используют для постройки гнезд. Поселения также отмечены на невысоких островах или отмелях с остатками растительности и на сплавинах. Гнезда этой группы обычно располагаются прямо на земле и часто представляют собой небольшое углубление (ямку) со скудной выстилкой из частей соседствующих растений или без нее. Часто гнезда располагаются на некотором удалении от берега, в недоступном для человека и хищников топком месте, на небольшом островке или отмели аллювиального происхождения, поросшей гидрофильной растительностью. У речной крачки и болотных видов (светлокрылая, черная, белошекая крачки) часто встречаются гнезда на сплавинах и заламах тростника или даже плавающие гнезда (Мельников, 2011). Их колонии обычно расположены на открытых, хорошо прогреваемых заболоченных участках и отмелях, часто в окружении большого количества погруженной болотной растительности (нитчатые зеленые водоросли, рдесты). Кладка большинства чайковых состоит из 1-3 яиц, реже – 4; иногда находили кладки по 5 и более яиц (скорее всего, сдвоенные кладки). Окраска яиц – защитного цвета и сильно варьирует от грязно-голубоватых и зеленовато-оливковых до темно-бурых оттенков с черным каплевидным рисунком с исчерченностью. Иногда встречаются яйца белой или кремовой окраски почти без рисунка или с полным его отсутствием. В постройке гнезда и в насиживании яиц обычно принимают участие оба партнера.

Черноголовая чайка (*Larus melanocephalus* Temminck, 1820; рис. 2). На водоемах редка. На оз. Сарпа до 2012 года была крайне редка, а встречи носили нерегулярный единичный характер. Обычно на побережье в мае – первой половине июня отмечали отдельных холостующих птиц или небольшие группы в 5-11 особей совместно с другими чайковыми, такими как речная чайка, речная и чайконосная крачки. Однако после спуска в 2012 году восточной части озера (за плотиной) в мае был отмечен (12-16.05.2012) ряд многочисленных поселений этого вида: 1 – 47° 19.629' с.ш., 45° 18.388' в.д. (400 гнездящихся пар), 2 – 47° 19.477' с.ш., 45° 18.556' в.д. (541 пара), 3 – 47° 19.454' с.ш., 45° 18.579' в.д. (350 пар), 47° 19.423' с.ш., 45° 18.621' в.д. (1047 пара), 47° 19.420' с.ш., 45° 18.650' в.д. (564 пары), 47° 19.411' с.ш., 45° 18.662' в.д. и 47° 19.384' с.ш., 45° 18.688' в.д. (434 пары).



Рис. 2. Гнездовая колония *Larus melanocephalus* (Linnaeus, 1857), 17.05.2012, восточная часть оз. Сарпы, Октябрьский район, Республика Калмыкия (автор фото здесь и далее – И.Б. Шаповалова).

Гнездовые поселения черноголовой чайки были обнаружены в верхней части Сарпы, в восточной зоне осушения ложа (около пос. Чарлакта), в довольно топком, труднодоступном для наземных хищников месте, на значительном удалении от бывшего берега. Гнезда располагались в смешанных колониях совместно с чайконосой крачкой (50-250 пар в каждой колонии), а также с отдельными гнездами речной и малой крачек и шилоклювки. Черноголовая чайка избегает соседства с хохотуньей и вблизи ее колоний не селится (Клименко, 1950; Зубакин, Костин, 1977; Cramp, Simmons, 1983).

Колонии находились на оголенных, не полностью осушенных участках илистого дна, на месте бывших тростниковых зарослей, среди их отмерших частей. Материалом для гнёзд служили сухие стебли травянистой растительности, небольшие сухие веточки перекати-поля, тамарикса, сухие водоросли и отдельные перья. Поселения имели довольно большую плотность. Расстояние между гнездами составляло в среднем 30-40 см, реже – 60-80 см и до 1.5 м (Клименко, 1950; авторские данные). Каждое отдельное гнездо имело вокруг себя небольшую охраняемую территорию (Зубакин, 1976). Откладка яиц у черноголовых чаек в регионе начинается ближе к середине мая (10-15 мая) и иногда растягивается до конца месяца. В обнаруженных колониях черноголовой чайки размер полной кладки варьировал от 1 до 3-4 яиц, однако были отмечены (16.05.2012) отдельные гнезда с кладками из 5 яиц.

Вид довольно агрессивен. Кроме того, птицы обладают повышенной чувствительностью к фактору беспокойства и могут покинуть колонию после нескольких тревожных взлетов, тогда колония гибнет. При сильном беспокойстве колонии, особенно на ранних стадиях насиживания, из-за хищнических наклонностей вида и большой плотности поселений, ряд авторов отметил расклёвывание и поедание чайками яиц собственного вида по причине одновременного возвращения птиц на гнёзда после тревоги, а также при наличии холостующих особей, кормящихся на территории колонии. Также птицы могут убивать чужих птенцов. В результате плотность колонии может уменьшиться настолько, что оставшимся парам будет не хватать социальной стимуляции для продолжения насиживания, и тогда они покидают колонию (Клименко, 1950; Зубакин, Костин, 1977).

Оологический анализ показал, что яйца черноголовой чайки имеют сильную изменчивость. На территории восточной Сарпы было обследовано 328 гнезд ($n = 328$). Установлено, что длина их яиц варьирует в пределах 47.1-60.7 мм (54.38 ± 0.17 мм); ширина – в пределах 34.5-40.9 мм (37.11 ± 0.08 мм), объем – 29.01-48.03 см³ (38.04 ± 0.18 см³). У этого вида в окраске яиц преобладают светло-песочный, оливково-песочный и светло-дымчатый фон скорлупы с равномерно распределенным каплевидным рисунком разной формы темно-бурого цвета с исчерченностью. У яиц преобладает овально-коническая форма, с сужением к острому концу (рис. 3). Окраска яиц светлее, чем у озёрных чаек. Насиживают кладку оба партнёра.



Рис. 3. Расположение отдельных гнезд черноголовой чайки (*L. melanocephalus*) в колонии, 16.05.2012 г., восточная часть оз. Сарпы, Октябрьский район, Республика Калмыкия.

Озерная чайка (*L. ridibundus* L., 1766). Многочисленный, регулярно гнездящийся на оз. Сарпа и Деед-Хулсун вид. В прибрежной зоне образует большие, часто смешанные колонии с другими видами чайковых – в основном с болотными видами крачек (светлокрылая и черная). Вид обладает пластичностью к часто трансформирующемуся гидрологическому режиму, постоянных мест гнездовых не образует и склонен их менять при изменении условий. Гнездование озерной чайки на водоемах в районе исследований, как и образование колоний, носило нерегулярный, спонтанный характер и было приурочено к заиленным, заросшим водорослями, хорошо прогреваемым участкам мелководий. Так, во время спуска восточной части Сарпы (за плотиной) на оставшихся небольших участках обмелевшего водоема с открытой водой, окруженных тростниковыми плавнями, 16.05.2012 была отмечена смешанная колония из 250 пар *L. ridibundus* (рис. 4) и 128 пар *St. hirundo* (географические координаты: 47° 20.669' с.ш., 45° 14.311' в.д.).

Гнезда располагались на кочках, образованных невысокими экземплярами прибрежных макрофитов (тростник, камыш, рогоз), а также залитыми солянками и низкорослой порослью тамарикса. Также были отмечены плавающие гнезда, построенные на поваленных и уже подгнивших стеблях и листьях тростника или рогоза. Протяженность колониальных поселений озерных чаек вдоль берега не превышала 50-60 м. В последующем 2013 году эта часть водоема подверглась еще большому осушению, и, хотя вода ушла не полностью, повторного гнездования чайковых, в т.ч. озерной чайки, на этом участке больше не наблюдалось. В 2014-2015 годы произошла полная осушка ложа этой части Сарпы с последующей трансформацией прибрежных сообществ в зональные ценозы (сукцессионные процессы растительных и фаунистических сообществ с заменой на степные виды).



Рис. 4. Гнезда озерной чайки (*L. ridibundus*) на оз. Деед-Хулсун, Калмыкия: а) 25.06.2011, б) 20.06.2012.

В 2011-2015 гг. на оз. Деед-Хулсун в Яшкульском районе Калмыкии поселения *L. ridibundus* наблюдались ежегодно: 25.06.2011 – 46° 18.573' с.ш., 45° 07.893' в.д. и 46° 18.576' с.ш., 45° 07.879' в.д.; 20.06.2012 – 46° 18.483' с.ш., 45° 07.949' в.д. и 46° 18.485' с.ш., 45° 07.921' в.д.; 15.05.2013 – 46° 18.621' с.ш., 45° 07.731' в.д., 46° 18.474' с.ш., 45° 07.837' в.д. и 46° 18.347' с.ш., 45° 07.977' в.д.; 26.05.2014 – 46° 18.567' с.ш., 45° 07.877' в.д., 46° 18.586' с.ш., 45° 07.860' в.д. и 46° 18.580' с.ш., 45° 07.881' в.д.; 09.06.2015 – 46° 18.575' с.ш., 45° 07.886' в.д., 46° 18.573' с.ш., 45° 07.893' в.д. и 46° 18.574' с.ш., 45° 07.866' в.д. Впервые гнездовые поселения озерной чайки (451 пара) в составе смешанных колоний с другими чайковыми были обнаружены в июне 2011 г. – после первых залповых сбросов воды из р. Кумы по каналу УС-3 в марте-апреле (после завершения реконструкции плотины на Чограйском водохранилище). Три небольших смешанных колонии озерной чайки (*L. ridibundus*) с белокрылой крачки (*Ch. leucopterus*) были отмечены недалеко друг от друга, в каждой из которых находилось по 240-350 гнезд (пар). Протяженность таких поселений не превышала 200 м вдоль береговой линии. В 2011 году в составе смешанной колонии в достаточном количестве располагались гнезда белокрылой крачки (*Ch. leucopterus*; 360 пар, 40% от всей колонии), черной крачки *Ch. niger* (81 пара, 8-9% колонии) и единичные гнезда *St. hirundo* (9 пар, около 1%).

Гнезда располагались компактно, по 2-5 шт. на 10 м², на отдельных участках – до 6-7 шт. на 10 м², на расстоянии от 60-80 до 150-180 см друг от друга. Сама колония располагалась на удаленном от берега, открытом и хорошо прогреваемом прибрежном участке, в низкорослых отдельно растущих куртинах тростника, камыша и прочей гидрофильной растительности. Часть гнезд чайковых найдена на залитых кочках солянок и солероса с участием подроста тамарикса. Гнезда были окружены большим количеством хорошо развитой погруженной растительности (нитчатые водорослями и рдестами). Они представляли собой ямку в кочке и лоток, стенки которого были небрежно выстланы сухими частями травянистых растений (тростника, веточками тамарикса), сухих водорослей и отдельных перьев. Размеры лотка варьировали от 25-50 см в диаметре на сухих участках до 80 см в воде при частом изменении уровня водоема (в результате надстройки гнезда). В высоту гнезда были от 20-22 до 30-40 см, в отдельных случаях – до 60 см. Кладки обычно состояли из 1-3 яиц (чаще – из 2), редко – из 4. Размеры яиц составляли $53.7 \pm 0.17 \times 35.9 \pm 0.14$ мм (n = 180). Цвет имел большую изменчивость: общий фон варьировал от темно-бурого и темно-оливкового до более светлых грязно-голубых оттенков с относительно равномерно распределёнными каплевидными темными пятнами неправильной формы буровато-сероватого (почти черного) цвета. Отмечены также совсем светлые голубоватые яйца, практически лишённые рисунка.

За период исследований (2011-2015 гг.) на оз. Деед-Хулсун была отмечена зависимость динамики числа гнездящихся пар в колониях озерной чайки от водного фактора в связи с увеличением обводненности водоема. Первые поселения этого вида в 2011 году были незначительными (451 гнездящаяся пара) и наблюдались в составе совместных колоний с другими видами чайковых (*Ch. leucopterus*, *Ch. niger*, *St. hirundo*). Наибольшая численность в колонии озерных чаек отмечена в 2012 и 2013 гг. (соответственно, 1547 гнездящихся пар с протяженностью поселений 540 м и 2554 гнездящихся пар с протяженностью колонии 612 м), т.е. в годы регулярных сбросов воды в апреле-мае и стабильно высокого уровня стояния воды в мае-июне (без резких высокоамплитудных скачков уровня). В эти и последующие 2014-2015 годы в местах расположения колоний чайковых из-за подъема уровня воды к маю большинство видов погруженной растительности ушло под воду, в т.ч. нитчатые водоросли. С этого момента из колонии исчезли виды болотных крачек, а гнездование малой крачки стало носить единичный характер. Поэтому в период с 2012 по 2015 гг. на этих территориях были отмечены лишь моновидовые колонии озерной чайки. Число соседствующих поселений в них, общая протяженность колонии вдоль берега, плотность расположения гнезд и число гнездящихся пар в колонии также изменялось в разные годы. В весенне-летний период оно стало варьировать в зависимости от сезонных сроков изменения водного режима (площадь водного зеркала, сезонные и суточные колебания уровня) и климатических условий (температурный режим, осадки). В 2014 и 2015 годы численность гнездящихся особей в моновидовых колониях озерной чайки по сравнению с предыдущими годами существенно снизилась: 689 пар в 2014 г. и 532 пары в 2015 г., протяженность колонии сократилась до 350 м, число поселений в ней сократилось до 2, плотность гнезд составила 1-3 пары на 10 м².

Выявлена адаптивная реакция озерной чайки (*L. ridibundus*) в ответ на сроки и продолжительность заливания прибрежной зоны, а также на сезонные колебания уровня воды в гнездовой период (высокоамплитудные колебания более 15 см в сутки, их продолжительность), которые выражались в *смещении сроков гнездования и надстройке гнезд* (увеличение высоты гнезда). Отмечено, что сроки начала массового откладывания яиц в колонии чайковых смещались на 1-2 недели после окончания последних залповых сбросов большого объема воды из канала УС-3 в оз. Деед-Хулсун. К откладке яиц птицы приступали только при относительной стабилизации уровня воды. Так, в 2012 году начало массового откладывания яиц в колонии озерной чайки было смещено на вторую декаду июня – на 15-20 июня (последний залповый сброс – в первой половине мая), в 2013 г. чайки начали гнездиться во второй декаде мая – 10-15 мая (последний сброс – во второй половине апреля), в 2014 г. начало гнездования пришлось на конец мая – 24-26 мая (последний залповый сброс – в первых числах мая), а в 2015 г. оно началось в первой декаде июня – 6-9 июня (залповый сброс – во второй декаде мая).

Другой ответной реакцией чайковых на длительное заливание их гнездовых территорий после залповых сбросов воды была *надстройка гнезд*. Отмечено, что большинство птиц колонии надстраивало дно лотка и его боковые стенки, поднимая его выше уровня воды (болотные крачки

надстраивали дно лотка, тогда как боковые стенки препятствовали скатыванию яиц в воду). При надстройке часто изменялись размеры гнезд, варьируя в зависимости от уровня подъема воды в разные годы. Высота отдельных гнезд могла достигать 40-50 см, а ширина лотка – 60-70 см. Надстроенные гнезда хорошо заметны при понижении уровня и имеют вид высокой кочки. Установлено, чем чаще случаются ежегодные, ежесезонные залповые сбросы, тем быстрее птицы на них реагируют. При резких суточных подъемах воды с амплитудой выше 15 см отмечались брошенные гнезда с уже завершенной кладкой (в мае 2015 г. – до 80% всей колонии), т.к. большинство птиц не успевало быстро их надстроить. Сведения о подобной реакции птиц в ответ на изменение водного режима подробно изложены в ряде других работ (Хроков, 1975; Фефелов, 1996; Мельников, 2011). Также при разборе некоторых гнезд было отмечено, что их подстилка иногда разваливалась на несколько отдельных слоев надстройки, которые птицы добавляли при неоднократных колебаниях уровня воды в течение гнездового сезона (Мельников, 2011). По этим слоям можно определить количество и примерную амплитуду колебаний уровня воды за сезон размножения.

На успешность гнездования и общую численность популяции чайковых помимо регулярных залповых сбросов воды (2015 г. – сброс каждые 2 недели в течение всего гнездового сезона) также большое влияние оказывают сгонно-нагонные ветровые процессы (в мае-июне 2015 г. отмечены в хвосте оз. Деед-Хулсун) и повышенный фактор беспокойства (охота на водоплавающих и трал рыбы в мае-июне 2015 г.). Эти факторы существенно влияют на разнообразие и численность популяций птиц болотно-околоводного комплекса, в т.ч. чайковых.

Светлокрылая (болотная) крачка (*Chlidonias leucopterus* Temminck, 1815; рис. 5). На гнездование в регион прилетает ближе к середине мая. Для вида характерно непостоянство мест гнездования. На оз. Сарпа в 2012 году после спуска восточной части водоема отмечены две смешанные колонии: первая – совместно с *Ch. niger* (47° 20.641' с.ш., 45° 14.414' в.д. – 16.05.2012), вторая – совместно с *St. hirundo* среди поваленных подгнивших частей тростника. Также у этих видов были отмечены плавающие гнезда (47° 20.648' с.ш., 45° 14.456' в.д. – 16.05.2012). В 2013 г. и в последующие 2014-2015 гг. после полного осушения ложа восточной части Сарпы колонии светлокрылых крачек на этих территориях больше не были обнаружены.



Рис. 5. Гнезда светлокрылой крачки (*Chlidonias leucopterus*) на побережье оз. Деед-Хулсун, Яшкульский район, Республика Калмыкия, 25.06.2011.

На оз. Деед-Хулсун массовое гнездование этого вида было отмечено лишь однажды в конце июня 2011 г. (25.06.2011) в составе совместной колонии с озерной чайкой и другими видами крачек (*Ch. niger* и *St. hirundo*) на мелководных заиленных участках, поросших куртинами гидрофильных макрофитов (низкорослым тростником, камышом, залитыми куртинами солянок и низкорослого тамарикса). В последующие 2012-2015 годы после подъема уровня воды в мае вследствие неоднократных залповых сбросов из канала УС-3 (в 2015 г. частые сбросы были отмечены в мае и

первых числах июня) светлокрылая крачка на гнездовании более не была отмечена.

Для постройки гнезда этот вид использует окружающую растительность: отмершие и зеленые стебли тростника, камыша, пучки нитчатых водорослей, иногда части солянок и сухие веточки тамарикса, а также пучки собранной на побережье травы. Отмечены несколько увеличенные размеры гнезд в условиях часто меняющегося гидрорежима водоема. Диаметр гнезда на оз. Деед-Хулсун составлял ($n = 25$) 18-26 см, высота – 7-12 см, хотя обычно диаметр гнезда этой крачки не превышает 18 см, а высота – 3-5 см (Птицы СССР, 1988; Глушенко и др., 2023; Куркамп, 2014), диаметр лотка – 9-11 см, глубина – 1-3 см. Расстояние между соседними гнездами (от центра гнезд) в колонии обычно составляло 0.7-3.5 м, но в отдельных случаях могло достигать 5-7 м. Размеры яиц ($n = 57$) составили 32.8-39.5 x 23.8-27.5 мм. Фон яиц сильно варьировал нередко даже в одном гнезде. Чаще всего яйца имели оливково-коричневый тон окраски, но встречались экземпляры и более светлых тонов – грязно-голубого, оливково-песочного или оливково-зеленого. Рисунок яиц представлен в виде каплевидных пятнышек и крапинок коричнево-бурого или почти черного цвета. Пятна могут быть различной величины, формы и часто сгруппированы ближе к тупому концу.

Отмечено интересное поведение заботы о потомстве у озерной чайки. Удалось наблюдать подобие так называемых «детских садов», когда две взрослые птицы (возможно, родители) присматривали в воде за 11 недавно поплывшими птенцами, тогда как обычно выводок состоит из 1-3 птенцов и озерные чайки агрессивно относятся к чужим птенцам. Возможно, это были птенцы из совместной (сдвоенной) кладки, которые могут наблюдаться у озерной чайки при дефиците гнездовых мест в случае заливания гнездовых территорий при высоких паводках (Кумари, 1953; Мельников, 1977).

Черная крачка (*Chlidonias niger* L., 1758) имеет схожую биологию со светлокрылой крачкой. Сходна и реакция вида на изменения гидрологического режима.

Малая крачка (*Sterna albifrons* Pallas, 1964). На водоемах Сарпа и Деед-Хулсун вид довольно малочислен (рис. 6). На гнездовании крачка встречается регулярно, однако на побережье распределена спорадически и не имеет выраженной привязанности к прошлым местам гнездования, часто меняя их, поскольку имеет слабый гнездовой консерватизм (McNicholl, 1975). В отличие от болотных видов крачек, имеющих плавающие гнезда, малая крачка предпочитает гнездиться на твердом субстрате (Мельников, 2011). Отмечены единичные случаи гнездования на обоих водоемах (Сарпа – 3-5 пар, Деед-Хулсун – 5-7 пар). В восточной части оз. Сарпа в мае 2012 года были отмечены единичные гнезда этого вида в составе смешанной колонии с черноголовой чайкой, чайконосой крачкой и шилоклювкой. На оз. Деед-Хулсун ежегодно в течение всего периода исследований (2010-2015 гг.) отмечались одиночные гнезда на илистых отмелях. Две пары малой крачки с гнездовым поведением были отмечены 25.06.2011 (46° 18.576' с.ш., 45° 07.879' в.д.) в составе смешанной колонии озерной чайки. Птицы были отмечены на сухих участках – на сплавинах из низкорослого тростника, однако гнездование не было подтверждено.



Рис. 6. Малая крачка (*Sterna albifrons*) на оз. Деед-Хулсун, Республика Калмыкия, 15.05.2013.

Хохотунья (*L. cachinnans* L., 1758; рис. 7) – это типичный обитатель степных и солёных полупустынных озёр Калмыкии. Моногам. Имеет выраженное демонстративное поведение, особенно в период образования пары. Гнездиться предпочитает на островах различного происхождения или же на обособленных отмелях, поросших тростником. К гнездованию в регионе птицы приступают в первых числах мая. Для этого на островах они выбирают более-менее открытые участки, но с хорошо развитой травянистой растительностью, так, чтобы был хороший обзор и в то же время у птенцов была возможность спрятаться от палящего солнца. Из-за агрессивного поведения, как правило, колонии этого вида моновидовые. Иногда вместе с хохотуньями в колониях можно было наблюдать отдельные пары черноголовых хохотунов, но обычно это были не размножающиеся птицы. Спектр питания хохотуньи очень разнообразен: они охотно поедают рыбу, моллюсков, насекомых (часто саранчовых), мелких млекопитающих (мышевидных грызунов), яйца более мелких птиц и их птенцов, рептилий, а также могут питаться падалью и различного рода пищевыми отходами.



Рис. 7. Колония хохотуньи (*Larus cachinnans*) на оз. Деед-Хулсун, о. Чаячий, 08.05.2010.

На оз. Деед-Хулсун в период исследований (2010-2015 гг.) были отмечены два места расположения колонии хохотуньи. Первая локация отмечена в 2010-2011 гг. – на о. Чаячий (координаты: 46° 18.603' с.ш., 45° 09.417' в.д. и 46° 18.601' с.ш., 45° 09.423' в.д. – 08.05.2010; 46° 18.597' с.ш., 45° 09.402' в.д. – 12.06.2011). Колонии располагались на густо заросшем тростником острове, в центре которого имелся довольно большой по площади открытый участок с хорошо развитой рудеральной растительностью: марь белая (*Chenopodium album* L.), горец птичий (*Polygonum aviculare* L.), остица простертая (*Asperugo procumbens* L.), латук компасный (*Lactuca serriola* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), а местами – вейник седоватый (*Calamagrostis canescens* (Weber) Roth) и некоторые злаки. Количество гнезд в колонии варьировало в разные годы. Насиживают яйца и ухаживают за потомством оба родителя. Наибольшее число гнездящихся пар (около 350) на острове было обнаружено в 2010 г.; в 2011 году их количество сократилось (в июне было отмечено около 200 гнездовых участков).

После сброса больших объемов воды в марте-апреле 2011 года остров сильно зарос, площадь свободного от тростника участка сократилась примерно наполовину, а с ней и число гнездовых участков. В последующие 2012-2015 годы сильное зарастание открытого участка, вызванное

регулярными залповыми сбросами воды, а также действующий фактор беспокойства (трал рыбы, выпуск охотничьих собак на остров, весенняя охота; рис. 8) вынудили птиц окончательно переместиться в хвост водоема ($46^{\circ} 18.954'$ с.ш., $45^{\circ} 08.287'$ в.д. – 18.05.2012 и 14.05.2013; $46^{\circ} 19.075'$ с.ш., $45^{\circ} 07.906'$ в.д. – 27.05.2014 и 08.06.2015). В колонии гнезда хохотуны располагались довольно разреженно, на расстоянии от 2-5 до 10-15 м, а иногда и больше. Диаметр гнезд составлял около 30-40 см. Выстилка гнезд состояла из различных частей травянистых растений (травы, веточек тамарикса, сухих частей тростника и рогоза), отдельных перьев, шерсти животных и антропогенного мусора. В большинстве гнезд обычно находилось от 1 до 3 яиц, очень редко 4. Яйца овальной формы, светло-песочного или светло-буро-оливкового цвета, с равномерно распределенным каплевидным рисунком, с исчерченностью пятнами темно-бурого или коричневого цвета разного размера и густоты. Окраска основного фона яиц сильно варьировала от светло-песочного и светло-зеленовато-голубого до темного насыщенного буро-оливкового оттенка. Размер яиц ($n = 25$) составил $61.9-78.2 \times 42.3-51.8$ мм. Массовое вылупление птенцов отмечалось в середине мая (Казаков, Языкова, 1982; авторские данные). Вылупившиеся птенцы в возрасте 3-4 дней могут выходить из гнезда, а при опасности – прятаться в траве. Однако далеко с гнездового участка птенцы не уходят, т.к. туда родители приносят им корм (Бианки, 1967; авторские данные). На о. Чайчий в 2010-2011 гг. из-за особенностей месторасположения гнездовых и отсутствия беспокойства бродячие и уже подрошенные птенцы могли довольно долго находиться рядом со своими гнездовыми участками, вплоть до момента, когда начинали летать.



Рис. 8. Охотничьи собаки на острове Чайчий, оз. Деед-Хулсун, Калмыкия, 14.05.2012 (фото М.М. Чемидова).

В июне 2011 года колония была поражена одним из штаммов *Pseudopestis avium* (болезнь Ньюкасла или «вертячка»). На острове было отмечено множество мертвых и больных птенцов, а также несколько молодых летных птиц в тяжелом состоянии (рис. 9). К концу месяца отход птенцов составил более 70%.

На оз. Сарпа зарегистрировано два поселения хохотуны. В западной части – на вдхр. Цаган-Нур ($47^{\circ} 29.418'$ с.ш., $45^{\circ} 02.650'$ в.д. – 29.05.2014) и в восточной части – за плотиной в год ее спуска ($47^{\circ} 20.771'$ с.ш., $45^{\circ} 14.133'$ в.д. – 16.05.2012). Обе колонии располагались в заливах на поросших тростником островах аллювиального происхождения. В обеих колониях гнездовых пар черноголового хохотуна (*L. ichthyaetus*) не отмечено.

Черноголовый хохотун (*L. ichthyaetus* Pallas, 1773). В период 2010-2015 гг. в мае-июне на побережье Сарпы и Деед-Хулсуна регулярно отмечались холостующие особи этого вида совместно с хохотуньей (*L. cachinnans*) на протяжении всего периода исследований. Единичные случаи гнездования черноголового хохотуна (5 пар) отмечены 08.05.2010 на оз. Деед-Хулсун на острове Чайчий в совместной с хохотуньей колонии ($46^{\circ} 18.589'$ с.ш., $45^{\circ} 09.433'$ в.д.). На оз. Сарпа его

гнездование отмечено не было, однако отдельные пары зарегистрированы 16.05.2012 среди колониальных поселений хохотуны (47° 20.771' с.ш., 45° 14.133' в.д.) без подтвержденного гнездования. Известно (Мензбир, 1895), что ранее на Сарпинских озерах этот вид гнезвился, однако позже на протяжении ряда лет XX века на гнездовании здесь не отмечался (Кривенко, 1983). В связи с чем мы предполагаем, что вид может гнездиться на этих водоемах, но крайне редко и нерегулярно.



Рис. 9. Болезнь Ньюкасла у птенцов *Larus cachinnans* в колонии на о. Чаячий, оз. Деед-Хулсун, 24.06.2011.

Морской голубок (*L. genei* Grèbe, 1839). На оз. Деед-Хулсун отмечена единичная встреча этого вида (одионочная холостующая особь) на илистом пляже 26.05.2014 (46° 16.816' с.ш., 45° 12.841' в.д.).

Выводы

Ведущим фактором, который способен оказывать существенное воздействие на количественные показатели гнездовой фауны околородных птиц, является гидрологический режим водоемов. Изменение площади водяного зеркала (увеличение/уменьшение), суточные (амплитуда более 15-20 см) и сезонные колебания уровня воды способны оказывать существенное влияние на состояние популяций (численность/плотность населения) большинства низкогнездящихся в прибрежной полосе видов болотно-околородного комплекса, в т.ч. чайковых. Отмечено, что в процессе эволюции чайковые виды выработали ряд ответных реакций (адаптаций), которые помогают им успешно переживать неблагоприятное воздействие водного фактора. Основными ответными реакциями чайковых на изменения гидрологического режима являются смещение сроков гнездования и надстройка гнезд. Резкое суточное повышение уровня воды часто приводит к заливанию их кладок, побуждая птиц быстро реагировать на изменение среды. Сильное осушение водоема также губительно воздействует на популяции чайковых и весь прибрежный орнитокомплекс, приводя к кратковременному (годовому) увеличению численности этих видов, после которого следует полная гибель водно-околородной экосистемы (исчезновение прежних видов водно-болотного комплекса, сукцессионная смена сообществ зональными ценозами). Наиболее губительными для низкогнездящихся популяций чайковых являются частые высокоамплитудные сбросы воды, на которые они не успевают вовремя реагировать, что приводит к большим потерям кладок и птенцов, вплоть до 80% всей колонии. Это наносит большой урон численности популяций и видовому разнообразию чайковых. При очень больших суточных сбросах воды они покидают места своих гнездовий. Плавное ежегодное изменение уровня водоема (суточная амплитуда колебаний менее 10-15 см) с длительными периодами стабилизации в ключевые сроки гнездования (май-июнь) не наносит большого ущерба населению чайковых. Для стабильности популяций большинства чайковых основополагающей является успешность гнездования на определенной территории (хотя у некоторых видов чайковых такая привязка к гнездовому району отсутствует), а также присутствие фактора беспокойства (воздействие хищников, рекреация, охота и хозяйственная деятельность человека), резкое изменение климатических условий и гидрологического режима. Все это определяет сезонную динамику численности гнездовой популяции этих видов.

Таким образом, чайковые являются наиболее пластичными, но в то же время наиболее чувствительными видами к изменению водного режима среди всех представителей авифауны болотно-околоводного комплекса. При эксплуатации искусственных водоемов эволюционные адаптации (ответные реакции) этих видов могут помочь в оценке степени негативного воздействия водного фактора на прибрежные экосистемы. Поэтому чайковые могут выступать в качестве индикаторных видов для большинства искусственных водоемов, находящихся в интразональных условиях.

Рекомендации. Необходимо разработать наиболее оптимальный (щадящий) эксплуатационный режим для водоемов Сарпа и Деед-Хулсун, которые являются ключевыми орнитологическими территориями России. В частности, создать условия для поддержания гидрологического режима этих водоемов в относительно стабильном состоянии (без резких скачков уровня) и обеспечить «зоны покоя» на прилегающих к ним территориях в пик гнездового сезона (май-июнь) и период массовых сезонных миграций в местах массовых миграционных скоплений.

Благодарности. Автор выражает особую благодарность главному редактору и рецензентам журнала «Аридные экосистемы» за участие в подготовке статьи к публикации. Особую благодарность выражаю Ж.В. Кузьминой и Е.И. Тоболовой.

Финансирование. Работа выполнена по теме НИР фундаментальных исследований Института водных проблем РАН за 2022-2024 гг. «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий» (№ FMWZ-2022-0002), № государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бадмаев В.Э. 2008. Ключевые орнитологические территории России в Калмыкии // Экология. № 1. С. 23-28.
- Бианки В.В. 1967. Кулики, чайки и чистиковые Кандалакшского залива // Труды Кандалакшского заповедника. Мурманск: Книжное издательство. Вып. 6. 366 с.
- Болотников А.М., Еремченко М.И., Литвинов М.А. 1986. Дестабилизация и формирование новых орнитокомплексов под влиянием антропогенного пресса // Изучение птиц СССР, их охрана и рациональное использование. Тезисы докладов I Съезда ВОО и IX Всесоюзной орнитологической конференции, 16-20 декабря 1986 г. Л. Ч. 2. С. 135-136.
- Бондарцев А.С. 1954. Шкала цветов (Пособие для биологов при науч. и науч.-прикладных исследованиях). М.-Л.: Изд-во АН СССР. 28 с.
- Глуценко Ю.Н., Коробов Д.В., Туунов И.М., Сотников В.Н., Вялков А.В. 2023. Гнездящиеся птицы Приморского края: белокрылая крачка *Chlidonias leucopterus* // Русский орнитологический журнал. Т. 32. Экспресс-выпуск № 2274. С. 633-643.
- Горшков Ю.А. 1980. Гибель утиных кладок на Куйбышевском водохранилище // Влияние хозяйственной деятельности человека на популяции охотничьих животных и их среду обитания. Материалы к научной конференции, 14-16 мая 1980 г. Киров. Т. 2. С. 78.
- Еремченко М.И. 1984. Водоплавающие птицы Камского Предуралья // Современное состояние ресурсов водоплавающих птиц. Тезисы докладов Всесоюзного семинара, 20-23 октября 1984 г. М. С. 37-38.
- Зубакин В.А. 1976. Некоторые вопросы индивидуального опознавания у чайковых птиц (*Laridae*) // Бюллетень МОИП. Отделение Биология. Т. 81. № 3. С. 31-37.
- Зубакин В.А., Костин Ю.В. 1977. Гнездящиеся птицы Чонгарских островов // Орнитология. М.: Изд-во МГУ. Вып. 13. С. 49-55.
- Залетаев В.С. 1997. Структурная организация экотонов в контексте управления // Экотоны в биосфере. М.: РАСХН. С. 11-29.
- Доклад главы администрации Яшкульского районного муниципального образования Республики Калмыкия
- Казаков Б.А., Языкова И.М. 1982. Отряд Ржанкообразные // Ресурсы живой фауны. Ч. 2: Позвоночные животные суши. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета. С. 204-230.
- Климов С.М., Овчинникова Н.А., Архарова О.В. 1989. Методические рекомендации по использованию оологического материала в популяционных исследованиях птиц. Липецк: ЛГПИ. 9 с.
- Клименко М.И. 1950. К экологии чайковых северного Черноморского побережья // Труды Черноморского государственного заповедника. Киев: Изд-во Киевского университета. Вып. 1. С. 53-69.
- Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. 2006. Список птиц Российской Федерации. М.: Т-во научных изданий КМК. 256 с.

- Костин Ю.В.* 1977. О методике ооморфологических исследований и унификации описаний оологических материалов // Методики исследования продуктивности и структуры видов птиц в пределах их ареалов. Сборник научных статей. Вильнюс. Ч. 1. С. 14-22.
- Красная книга Российской Федерации. 2000. М.: Астрель. 863 с.
- Красная книга республики Калмыкии. 2013. Т. 1: Животные / Ред. В.М. Музаев. Элиста: Джангар. 200 с.
- Красный список МСОП – The IUCN Red List of Threatened Species. 2024 [Электронный ресурс <https://www.iucnredlist.org/> (дата обращения 07.02.24)]
- Кривенко В.Г.* 1983. Черноголовый хохотун // Красная книга РСФСР: Животные / Сост. В.А. Забродин, А.М. Колосов. М.: Россельхозиздат. С. 273-275.
- Кузякин А.П.* 1962. Зоогеография СССР // Ученые записки Московского областного педагогического института имени Н.К. Крупской. Т. 109. С. 3-182.
- Кумари Э.В.* 1953. Пролет и зимовка птиц на территории Эстонской ССР и задачи их исследования // Перелеты птиц в европейской части СССР. Рига: Изд-во АН Латв. ССР. С. 44-55.
- Куркамн Г.Х.* 2014. Белокрылая крачка // Полный определитель птиц европейской части России / Ред. М.В. Калякина. М. Ч. II. С. 195-198.
- Ларина Н.И., Голикова В.Л., Лебедева Л.А.* 1981. Учебное пособие по методике полевых исследований экологии наземных позвоночных. Саратов: Изд-во Саратовского университета. 120 с.
- Мельников Ю.И.* 1977. Экология белокрылой крачки Восточной Сибири // Экология птиц Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во ИГУ. С. 59-92.
- Мельников Ю.И.* 1982. О некоторых адаптациях прибрежных птиц // Экология. № 2. С. 64-70.
- Мельников Ю.И.* 2011. Изменчивость реакции надстройки гнезда при повышении уровня воды у околородных и водоплавающих птиц Прибайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». Т. 4. № 1. С. 33-46.
- Мельничук В.А.* 1968. О водоплавающих птицах Киевского водохранилища // Ресурсы водоплавающей дичи в СССР и их воспроизводство. М. Ч. 1. С. 78-79.
- Мельничук В.А.* 1974. О закономерностях формирования орнитофауны водохранилищ на равнинных реках // Материалы VI Всесоюзной орнитологической конференции. М. С. 341-342.
- Мензибир М.А.* 1895. Птицы России М.А. Мензибир, профессора Императорского Московского Университета. М.: Типо-литография Товарищества И. Н. Кушнерев и К°. Т. 1. 836 с.
- Птицы СССР. 1988. Чайковые. Т. 3. М.: Наука. 416 с.
- Равкин Ю.С.* 1967. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае (Северо-Восточная часть). Новосибирск: Наука. С. 66-75.
- Романов А.Л., Романова А.И.* 1959. Птичье яйцо. М.: Пищепромиздат. 620 с.
- Степанян Л.С.* 2003. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М.: Академкнига. С. 1-808.
- Сохина Э.Н., Чернобай В.Ф., Линьков А.Б.* 2000. Сарпинские озера и озеро Деед-Хулсун // Водно-болотные угодья России. Т. 3: Водно-болотные угодья, внесенные в Перспективный список Рамсарской конвенции. М.: Wetlands International. Global Series No. 3. С. 198-204.
- Толчин В.А., Толчина С.Н.* 1974. Влияние колебаний уровня Братского водохранилища на приводных птиц // Материалы VI Всесоюзной орнитологической конференции, 1-5 февраля 1974 г. Ч. 2. М.: МГУ. С. 360.
- Уланова С.С.* 2008. Геоэкологическая оценка искусственных водоемов Калмыкии и экотонных систем «вода-суша» на их побережьях. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М. 19 с.
- Уланова С.С.* 2010. Эколого-географическая оценка искусственных водоемов Калмыкии и экотонных систем «вода-суша» на их побережьях / Ред. Н.М. Новикова. М.: РАСХН. 254 с.
- Уланова С.С.* 2014. Изучение воздействия искусственных водоемов Прикаспийской низменности на экотонные территории (в пределах республики Калмыкии) // Вода: химия и экология. № 5. С. 20-26.
- Ушаков В.А.* 1969. К изучению роли птиц в формировании фаунистических комплексов побережья Куйбышевского водохранилища // Вопросы формирования прибрежных биогеоценозов водохранилищ. М.: Наука. С. 71-86.
- Фефелов И.В.* 1996. Роль гидрологического режима дельты реки Селенги в динамике населения уток. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: Изд-во ИГУ. 18 с.
- Хроков В.В.* 1975. Реакция прибрежных птиц на затопление их гнезд // Экология. № 3. С. 102-104.
- Цапко Н.В.* 2009. Эколого-географический анализ орнитофауны Калмыкии. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Ставрополь. 25 с.
- Шаповалова И.Б., Завьялов Е.В.* 2009. Орнитокомплексы островов Волгоградского водохранилища: состав, структура и динамика / Ред. Н.М. Новикова. М.: РАСХН. 222 с.
- Штегман Б.К.* 1938. Основы орнитогеографического деления Палеарктики // Фауна СССР: Птицы. Т. 1. Ч. 2. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 160 с.
- Books G.G.* 1985. Avian Interactions with Mid-Columbia River Water Level Fluctuations // Northwest Science.

Vol. 59. No. 4. P. 304-312.

Cramp S., Simmons K. 1983. The Birds of the Western Palearctic. Oxford, London, New-York: Oxford University Press. Vol. 3. 913 p.

Hoyt D.F. 1979. Practical Methods of Estimating Volume and Fresh Weight of Birds Eggs // *Auk*. Vol. 96. P. 7377.

McNicholl M. 1975. Larid Site Tenacity and Group Adherence in Relation to Habitat // *Auk*. Vol. 92. No. 1. P. 98-104.

Vergeles Yu.I. 1994. Quantitative Counts of Bird Population: A Methodological Review // *Berkut*. No. 3 (1). P. 43-48.

ЛЕСНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ И ПАСТБИЩНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРИКАСПИИ

© 2024 г. А.С. Манаенков, Л.П. Рыбашлыкова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: ludda4ka@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2023. После доработки 04.04.2024. Принята к публикации 05.04.2024.

Нарушение номадных форм использования пастбищ приводит к деградации растительности, периодическим масштабным вспышкам дефляции и опустыниванию, трансформации физико-химических свойств песчаных почв аридной зоны. Практика показала, что эффективным средством восстановления их продукционного потенциала является создание многоярусного растительного покрова – лесопастбищных угодий. Цель исследования – оценить современное состояние, кормовую продуктивность, привлекательность, устойчивость лесопастбищ и разработать предложения по их оптимизации. Исследования проводили путем комплексного изучения натуральных объектов на временных пробных площадях с использованием типовых методик агролесомелиоративных, геоботанических и почвенных исследований, статистической обработки данных. Установлено, что на мощных переветренных песках Ногайской степи в лесопастбищах с древесным ярусом из *Robinia pseudoacacia* и *Ulmus pumila* урожайность корма увеличивается до 2-3 т/га (в пересчете на сено) и по сезонам года в 1.5-3.5 раза превышает таковую на природных пастбищах. На мелкобархных песках Черных земель лесопастбища, образованные насаждениями *Krascheninnikovia ceratoides* и *Calligonum aphyllum* в возрасте 30-40 лет продуцируют 1.5-3 т/га сухого корма, что в 1.4-2 раза выше, чем в окружающей степи. На слабо- и непереветренных песках Астраханского Заволжья в 20-60-летних лесопастбищах с защитно-кормовыми насаждениями *Haloxylon aphyllum*, *C. aphyllum* и *K. ceratoides* поедаемая масса кустарников составляет 0.1-4 т/га, травостоя – 0.3-1 т/га, что на 20% больше, чем в открытой степи. Выпасы с древесным и кустарниковым ярусом привлекают животных и являются более устойчивыми к дефляции. Функциональная долговечность лесопастбищ зависит от технологии их создания, режима содержания и эксплуатации. Наиболее важные мероприятия – охрана от пожаров и нормирование пастбищной нагрузки.

Ключевые слова: аридная зона, песчаные почвы, пастбища, опустынивание, лесопастбища, кормовая продуктивность, устойчивость.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-117-124

EDN: XVPRSW

На территории аридного пояса Земли природные эволюционные движения наряду с использованием достижений научно-технического прогресса при ненормированном природопользовании запустили процессы опустынивания ландшафтов (Зонн и др., 2017). Эти процессы приближают глобальные экологические кризисы, такие как изменение климата и утрата биологического разнообразия (Gamoun et al., 2012; Лазарева и др., 2014).

Еще в конце минувшего века обеспокоенная международная общественность пришла к необходимости принятия конкретных мер для устойчивого развития природопользования в мире и борьбе с опустыниванием (Конвенция ..., 1994; 28 конференция ООН ..., 2023), в т.ч. на территории Российской Федерации, к примеру, разработав, международный проект Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП/ЦМП) «Поддержка деятельности по борьбе с опустыниванием в Содружестве Независимых Государств (СНГ)». Эти меры формализованы в серии Национальных программ действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО, 1994-1999 гг.), практическая реализация которых нуждается в дополнительном научном обеспечении.

Так, смена номадных форм использования кормовых угодий на стационарные во второй

половине XX столетия на территории Прикаспия спровоцировала серию вспышек деградации пастбищных экосистем и масштабное дефляционное опустынивание земель (Кулик и др., 2007; Kulik et al., 2018; Дедова и др., 2020). На обширной территории с легкими почвами произошла необратимая трансформация почвенно-растительного покрова, существенно снизились его продуктивность и устойчивость к вторичной дефляции утрачено экологическое и биологическое разнообразие ландшафта. Богатая видами белопопынно-злаково-прутняковая ассоциация на зональных почвах подавляющей части территории заместились однолетниковыми (*Poa bulbosa*, *P. annua*, *Alyssum desertorum*, *Bromus tectorum*, *Eremopyrum orientale*, *E. triticeum*, *Ceratocarpus arenarius*), ковыльно-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Stipa capillata*, *S. lessingiana*) и другими малоценными в кормовом отношении травянистыми сообществами на бугристых и других геоморфах в разной степени перевеянных и заросших песков. Получили распространение крупные современные очаги и массивы дефляции с повышенной энергией переноса песка и неоднородностью фитоэкологических условий, с отсутствием естественного зарастания и затуханием дефляции (Манаенков, 1987; Manaenkov, Rybashlykova, 2020). Оказался подорванным регенеративный потенциал пастбищных экосистем. Деградационные процессы либо замедляют, либо изменяют направленность прогрессивных сукцессий, обеспечивающих восстановление белопопынных и других угодий ценными многолетними растениями. До критического уровня вырос как сезонный, так и погодичный дисбаланс запаса подножного корма и резко возросла динамика поголовья скота вследствие бескормицы и падежа (Лазарева, 2018; Бананова и др., 2021). Устойчивое ведение пастбищного хозяйства стало невозможным без эффективного лесо-лугомелиоративного освоения земель.

Многолетняя практика выполнения этих работ на тысячах гектарах деградированных земель семиаридной зоны (Касьянов, 1979; Озолин, 1979; Петров и др., 1985; Асмачкин и др., 1989; Манаенков, Кулик, 2016; Манаенков, 2018) привела к формированию ряда крупных объектов рукотворных лесопастбищ: на полиминеральных песках относительно гумидной части Западного Прикаспия (в Терско-Кумском междуречье) преимущественно с участием узкополосных, кулисных и редкостойных насаждений *Robinia pseudoacacia*¹, *Ulmus pumila*, *Pinus pallasiana* и других пород деревьев; в наиболее засушливой центральной части региона (в Кумо-Волжском междуречье) – разнотравно-терескеновых и эфемерово-джужгуновых на мелкобарханных комплексах полевошпатово-кварцевых песков современных очагов дефляции, а в Волго-Уральском междуречье – на подвижных песках и бугристо-увалистых равнинах с легкими почвами и сильно сбитым растительным покровом.

Цель работы – оценить современное состояние, кормовую продуктивность, привлекательность и устойчивость к перевыпасу рукотворных лесопастбищных угодий на песчаных землях засушливой зоны и разработать предложения по их оптимизации.

Материалы и методы

Исследования проводились на функционирующих мелиорированных и природных пастбищах. Кормовую продуктивность травостоя, тип, структуру и состояние лесопастбищ изучали на границе субаридной и сухой субгумидной зоны Ставропольского края (Ногайская степь), в субаридной зоне Черных земель Республики Калмыкия и Астраханского Заволжья. Перевеянные участки легких почв представлены сложными комплексами преимущественно мелкобарханных и в разной степени заросших мелко- и средне-бугристых песков, которые и являются основным мелиоративным фондом пастбищных земель. Теплообеспеченность территории высокая. Потенциальная испаряемость влаги составляет 800-1000 мм/год, что в 2.5-4 раза превышает количество выпадающих осадков (220-340 мм/год). Амплитуда колебания абсолютных температур воздуха достигает 80°C. Почти ежегодно случаются затяжные засухи, которые наряду с недоступной или мало доступной для растений грунтовой влагой по характеру их водного питания приближают исследуемую территорию к пустынной зоне.

Исследования лесопастбищ проводили на пробных площадях (0.25-0.30 га) прямоугольной формы в начале и конце лета с использованием общепринятых в почвоведении и лесоводстве

¹ Номенклатура видов сосудистых растений приведена по сводке А.П. Кораблева с соавторами (2020) и веб-сайту The Plant List (2024).

(Методика системных исследований ..., 1985; Анучин, 1982; Битвинкас, 1974), геоботанике (Исследования структуры ..., 1973; Общесоюзная инструкция ..., 1984) методов и оценки их состояния в период выполнения полевых работ. Предварительно изучали историю их создания и эксплуатации.

Учет урожайности травяной растительности в междурядьях насаждений и на открытых участках (между полосами, кулисами, редко стоящими деревьями) проводили укосным методом. Пробные площадки размером 1 м² в количестве 30 штук закладывали на трансектах, расположенных поперек рядов деревьев и кустарников. В период наблюдений угодья под выпас не использовались. На каждом участке определяли запас, проводили описание видового разнообразия и структуры надземной фитомассы травяного яруса и веточно-листового корма. Для обработки полевых экспериментальных данных была использована программа Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Сохранность и кормовая продуктивность лесопастбищ на слабозаросших бугристых песках. Относительно безопасные и благоприятные условия для роста травостоя и выпаса скота на глубоко перевейных песках в засушливой Ногайской степи создают древесные насаждения высотой 6-8 м. В Бажиганском массиве (Ставропольский край) лесопастбища представлены кулисными насаждениями – лесными полосами шириной 40-50 м из *Ulmus pumila* и *Robinia pseudoacacia* с расстоянием между кулисами около 50 м, узкополосными 4-рядными насаждениями из тех же пород шириной 15 м и межполосным расстоянием 100-120 м, а также саванными насаждениями – сплошными редкостоями с числом деревьев от 70-80 до 110 штук на 1 га.

Кормовая продуктивность лесопастбищ (табл. 1) складывается из фитомассы травянистых растений на открытых участках, под пологом древостоя и доступной скоту веточно-листовой массы деревьев и кустарников. Установлено, что под защитой насаждений в среднем на 10-40% увеличивается урожайность, улучшается качественный состав травостоя. Совокупная урожайность корма лесопастбищ составляет 2-3 т/га (в пересчете на сено) и по сезонам года в 1.5-3.5 раза выше, чем на природном пастбище. Доступная (расположенная на высоте 1.5-1.7 м) веточно-листовая масса и листовая опад лесопастбищ является резервом и страховым запасом корма на случай слабого развития или отсутствия трав в засушливый и поздносенний период выпаса. В 1 кг веточно-листового корма *R. pseudoacacia* и *U. pumila* содержание протеина весной составляет 9.5-18,2%, летом – 10.9-19.2%, осенью – 8.7-17.4%. По результатам статистического анализа травяного корма под пологом древесного яруса установлены значимые различия по фактору А (типы лесопастбищ) – в пользу «саванного» (равномерно-редкостойного) размещения древостоя – на 0.41-0.44 т/га по сравнению с контролем и по фактору В (древесная порода) – в пользу светолюбивой робинии в сравнении с вязом – на 0.31 т/га.

Лесопастбищные массивы привлекают и охотно посещаются всеми видами сельскохозяйственных животных. Кроме того, лесонасаждения снижают возможность дефляции почвы, создают микроклиматический комфорт при жаркой и холодной погоде, выполняя, таким образом, зоогигиеническую функцию.

Сохранность и кормовая продуктивность лесопастбищ, созданных в современных очагах дефляции на Черных землях Калмыкии. В результате многолетнего опыта борьбы с опустыниванием на Черноземельских пастбищах было установлено, что наиболее эффективным способом фитомелиоративного освоения крупных очагов дефляций является закрепление подвижных песков посадкой кустарника. Это позволяет блокировать процессы разрушения почвы и создать условия для ввода и естественного поселения кормовых трав. Исследования показали, что насаждения *Krascheninnikovia ceratoides* и *Calligonum aphyllum*, независимо от срока и способа создания сохраняют свою защитную и ценозообразующую эффективность 30-40 лет и более. Под их влиянием формируется многоярусный травяной покров, обладающий повышенной устойчивостью к пастбищной нагрузке, толерантностью к засухам, продуктивностью и зооэкологической комфортностью в холодные периоды выпаса (табл. 2, 3). На основании данных дисперсионного анализа установлено, что помимо поедаемой части кустарников, превышение продуктивности травяного корма на восстановленных пастбищах в сравнении с контролем (прилегающей степью) составляет 0.1-0.3 т/га.

Общая урожайность корма в лесопастбищах в 1.4-2 раза выше, чем в открытой степи. Под защитой кустарника создается благоприятный микроклимат для поселения и развития ценных кормовых растений (житняка, прутняка, астрагалов).

Таблица 1. Динамика кормовой продуктивности веточно-лиственной массы насаждений с запасом травостоя под древесным ярусом за период 2018-2022 гг.

Порода	Запасы веточно-лиственного корма и травостоя под древесным ярусом, т/га*								
	весна			лето			осень		
	древесный корм	травяный корм	∑ фито-массы	древесный корм	травяный корм	∑ фито-массы	древесный корм	травяный корм	∑ фито-массы
кулисное лесопастбище									
Вяз	0.61	0.10	0.71	0.81	0.08	0.88	0.76	0.31	1.07
Робиния	0.71	0.16	0.83	0.47	0.84	1.31	0.48	0.60	1.08
полосное лесопастбище									
Вяз	0.30	0.36	0.66	0.40	0.24	0.64	1.85	0.18	2.03
Робиния	0.52	0.43	0.93	0.36	0.38	0.74	0.19	0.25	0.44
саванное лесопастбище									
Вяз	0.14	0.27	0.41	0.19	0.39	0.58	0.23	0.87	1.13
Робиния	0.11	0.46	0.57	0.09	1.47	1.56	0.06	1.03	1.09
по трем рассмотренным лесопастбищам									
Среднее	0.40	0.30	0.70	0.40	0.57	0.97	0.59	0.54	1.13
НСР ₀₅ фактор А ² (древесный корм по типам лесопастбищ) = 0.48									
НСР ₀₅ фактор В (древесный корм, порода) = 0.39									
НСР ₀₅ фактор А (травяный корм по типам лесопастбищ) = 0.35									
НСР ₀₅ фактор В (травяный корм под пологом травостоя) = 0.29									

Примечание к таблице 1: т/га* – в воздушно-сухом состоянии.

Таблица 2. Запас корма и состояние кустарникового яруса лесопастбищ на Черных землях в 2023 г.

Объект / урочище	Культура	Возраст, лет	Таксационные показатели, см		Поедаемая масса куста, г	Кол-во сохранившихся кустов на 1 га	Кормовая продукция кустарника, т/га
			высота	диаметр кроны			
Молодежный – терескен	Терескен	38	48.5 ± 1.4	40.8 ± 1.8	203.6	12000	2.4
Молодежный – джугун	Джугун	38	110.0 ± 8.4	122.6 ± 23.5	363.4	1100	0.4
	Терескен		27.6 ± 2.3	27.3 ± 3.7	76.8	1300	0.1
Приканальное	Терескен	38	64.7 ± 1.5	50.9 ± 2.1	148.6	13200	2.0
Ацан-худук	Джугун	37	87.15 ± 5.0	127.6 ± 10.1	254.4	700	0.2
Ацан-худук	Терескен	40	40.2 ± 1.5	39.0 ± 2.8	158.9	10000	1.6

Важно отметить, что в крупных очагах дефляции с небольшой исходной массой подвижного

² НСР₀₅ фактор А – (наименьшая существенная разница между вариантами фактора А при 95% уровне значимости). Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа.

песка (на пастбищах с легкими зональными почвами) преимущество имеют лесопастбища, образованные *K. ceratoides*. При редком размещении барханных цепей полукустарник обладает способностью перманентно омолаживаться, расширять занятую площадь и повышать свое присутствие в фитоценозе за счет успешного развития самосева. В деструктивной области очагов и на обширных участках обнажений подстилающей породы в барханной области формируются устойчивые ковыльно-терескеново-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Stipa capillata*, *S. lessingiana*, *S. sareptana*) фитоценозы повышенной продуктивности с небольшим присутствием сорного разнотравья. Напротив, с увеличением массы эолового песка и при облегченном гранулометрическом составе неперевеянных (подстилающих) отложений, повышаются сохранность и габитус кустов *C. aphyllum*, долговечность образованных им лесопастбищ, а урожайность кормовой массы снижается вследствие слабого развития ковыля, эфемеров и других поедаемых трав.

Недостатком кустарниковых лесопастбищ в крупных современных очагах дефляции является медленное заселение их ценными многолетниками (*Artemisia lercheana* и *Bassia prostrata*), обусловленное отсутствием источника семян. Поэтому при их освоении и в процессе эксплуатации лесопастбищ целесообразно создавать очаги обсеменения из этих растений.

Таблица 3. Кормовая продуктивность 35-40-летних лесопастбищ в крупных очагах дефляции на Черных землях за период 2021-2023 гг.

Объект / урочище	Запас веточно-листового корма и травостоя, т/га		
	древесный корм	травяной корм	общая масса
Молодежный – терескен	2.42	0.94	3.36
Контроль	–	0.70	0.70
	–	НСР ₀₅ = 0.05	–
Молодежный – джугун	0.53	0.85	1.38
Контроль	–	0.63	0.63
	–	НСР ₀₅ = 0.05	–
Приканальное	2.02	0.72	2.74
Контроль	–	0.64	0.64
	–	НСР ₀₅ = 0.02	–
Ацан-худук	1.64	0.90	2.54
Контроль	–	0.59	0.59
	–	НСР ₀₅ = 0.09	–

Сохранность и кормовая продуктивность лесопастбищ на заросших песках Астраханского Заволжья. Природные пастбища в Астраханском Заволжье продуцируют 0.14-1.25 т/га подножного корма с большими колебаниями его запаса по годам и сезонам года. Пастбища с эфемеровым растительным покровом в засушливые годы практически выпадают из хозяйственного оборота. Для восстановления истощенных угодий на полого-увалистых песках, повышения их продуктивности и качества корма 20-60 лет назад были созданы лесопастбища с защитными полосами и мелиоративно-кормовыми насаждениями из *Haloxylon aphyllum*, *C. aphyllum*, *K. ceratoides*. По данным многолетних наблюдений, преимущество в приживаемости и развитии имели растения при создании лесопастбищ на глубоко обработанной почве. В настоящее время сохранность кустарника составляет 40-70% (в зависимости от возраста насаждений). *H. aphyllum* при умеренном стравливании (60% прироста) продуцирует 0.7-0.9 т/га сухой массы, *K. ceratoides* – 0.8-1.0 т/га, *C. aphyllum* – до 4 т/га (табл. 4). Установлено также, что кустарниковые насаждения из этих пород способствуют лучшему весеннему накоплению почвенной влаги, росту и формированию биомассы ценных в кормовом отношении зональных пастбищных растений. Существенное влияние кустарниковый ярус оказывает на сезонную динамику отрастания и состав травостоя. Под влиянием джугуновых и черносаксауловых полос на белополынных пастбищах увеличивается масса эфемеров и прутняка, а общая урожайность корма возрастает в 1.2 раза (табл. 5). В зоне влияния кустарниковых рядов и кулис масса злаковых растений увеличивается в 3.5-4.0 раза. В июне-июле несколько

повышается участие в травостое маревых и бобовых растений, а масса разнотравья снижается в 4,0-4.5 раза. По данным учета установлено статистически значимое превышение кормовой продуктивности лесопастбищ в сравнении с контролем. Даже в засушливые 2021 и 2022 годы превышение составило 0.08 и 0.11 т/га.

Таблица 4. Продуктивность и состояние кустарниковых насаждений на улучшенных пастбищах Астраханского Заволжья в 2023 г.

Объект / урочище	Культура	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, м	Кормовая продуктивность воздушно-сухой массы, т/га	Кол-во сохр. кустов на 1 га
Придорожное	саксаул	44	1.84±0.08	1.62±0.08	0.80	210
	терескен		0.45±2.33	0.40±2.33	0.12	820
Кордон	джузгун	24	1.35±0.04	1.28±2.22	4.12	2230
	саксаул	24	1.89±0.12	0.75±0.07	0.72	68
	терескен	24	0.63±1.6	0.62±2.23	0.38	1620
	саксаул	58	2.16±0.12	1.5±0.11	0.93	108
Соколовский	саксаул	47	2.28±0.12	1.12±0.08	0.65	19

Таблица 5. Влияние кустарникового яруса на продуктивность травостоя пастбищ Астраханского Заволжья за период 2021-2023 гг.

Год исследования	Сухой вес, т/га		Превышение над контролем	
	под защитой кустарников	открытое пастбище (контроль)	т/га	%
2021.	<u>0.27</u>	<u>0.19</u>	<u>0.08</u>	<u>42.1</u>
	0.21	0.14	0.07	50.0
НСР₀₅ по фактору А = 0.06, по фактору В = 0.06				
2022	<u>1.05</u>	<u>0.87</u>	<u>0.18</u>	<u>20.7</u>
	1.18	1.01	0.17	16.8
НСР₀₅ по фактору А = 0.06, по фактор В = 0.06				
2023	<u>1.39</u>	<u>1.25</u>	<u>0.14</u>	<u>11.2</u>
	0.64	0.55	0.09	16.4
НСР₀₅ по фактору А = 1.2, по фактору В = 1.2				
В среднем	<u>0.90</u>	<u>0.75</u>	<u>0.15</u>	<u>20</u>
	0.68	0.57	0.11	19.3

Примечание к таблице 5: в числителе – урожай сена в мае, в знаменателе – урожай в августе.

Выводы

Таким образом, лесопастбищное освоение опустыненных кормовых угодий Прикаспия является надежным и эффективным средством восстановления и повышения их продуктивности, формирования экологически благоприятной среды для скота. В настоящее время нами широко апробирован научно-технологический опыт проведения лесной мелиорации и формирования лесопастбищ на разных типах нарушенных песчаных земель обширного аридного региона. Менее изученной является проблема повышения кормоемкости, функциональной долговечности и организации рационального использования мелиорированных угодий.

Изучение и анализ накопленного опыта свидетельствуют о том, что решение этой проблемы является перманентной задачей. Оно включает в себя целый комплекс мероприятий, осуществляемых на протяжении всего периода формирования искусственных многоярусных фитоценозов.

На начальном этапе решения этой проблемы важным является выбор технологии создания лесопастбищ, обоснованный грамотной оценкой фитоэкологической обстановки на подлежащих мелиорации объектах, породного состава деревьев и кустарников.

Так, на слабозаросших, а также с сильно истощенным растительным покровом бугристых песках наиболее важной агротехнической задачей обработки почвы является сохранение их противодефляционной устойчивости и экономное расходование влаги промоченного осадками слоя почв и подстилающих отложений. Лучшие результаты по приживаемости, развитию древесного и кустарникового яруса дает весенняя посадка комбинированными машинами типа МПП-1 (в одновременно нарезаемые борозды 1-2-летних сеянцев *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Pinus pallasiana*, *Calligonum aphyllum*, а в наиболее засушливых районах – *Krascheninnikovia ceratoides*), с периодической культивацией борозд КЛБ 1.7 на задернелых участках в течение 2-3 лет методом седлания рядов.

Освоению растительностью крупных современных очагов дефляции препятствует интенсивный перенос песка и небольшой запас доступной почвенной влаги в подстилающих отложениях. Эффективным средством улучшения фитоэкологической обстановки является повышение шероховатости эродированной поверхности подстилающих отложений бороздами-валами и создание противодефляционных кулис из *Leymus ramosus*. Экономия энергии, материальных и финансовых ресурсов, а также запаса почвенной влаги обеспечивает создание регенеративно-кормовых фитоценозов в виде отдельных рядов или небольших куртин – очагов обсеменения между бороздами-валами и противодефляционными кулисами (по технологиям Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации – ВНИАЛМИ).

В лесопастбищах с древесным ярусом большое значение для повышения продуктивности угодий имеют лесохозяйственные мероприятия: проведение рубок осветления и прочистки в молодняках с заготовкой древесной зелени (для формирования запаса страхового корма на случай наступления засухи и других неблагоприятных явлений); периодическое проведение выборочных санитарных рубок (в сформировавшихся насаждениях в сочетании с заготовкой веточного корма на недоступной для скота высоте стволов) деревьев внутренних рядов; своевременная (не допуская значительного старения) смена поколений древостоя лесовозобновительными рубками.

На лесопастбищах с кустарником эффективным приемом является периодическое омолаживание кустов, реконструкция травянистого покрова, а также предупреждение пожаров, способных уничтожить ценные виды растений.

Основной причиной недобора пастбищного корма и животноводческой продукции на лесопастбищных угодьях, как и в большинстве случаев на открытых природных пастбищах, является деградация растительного покрова вследствие бессистемной и чрезмерной эксплуатации. В связи с этим, важнейшей задачей их рационального использования является организация загонной системы выпаса скота (пастбищеоборот). Ее решение облегчает наличие границ-рубежей в виде древесных и кустарниковых насаждений.

Финансирование. Данное исследование было выполнено в рамках Государственного задания № 122020100309-0 «Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 28 конференция ООН по климатическим изменениям (КС-28). 2023 [Электронный ресурс <https://www.cop28.com/> (дата обращения 03.02.2024)].
- Анучин Н.П. 1982. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность. 552 с.
- Асмачкин А.П., Лепеско В.В., Терюков А.Г. 1989. Состояние и перспективы развития защитного лесоразведения в Астраханской области. Волгоград. 155 с.
- Бананова В.А., Лазарева В.Г., Петров К.М. 2021. Тенденции процессов опустынивания в северо-западной части Прикаспийской низменности // Геология, география и глобальная энергия. № 1 (80). С. 77-86.
- Битвинкас Т.Т. 1974. Дендроклиматические исследования. Ленинград: Гидрометеоздат. 172 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.]
- Зонн И.С., Куст Г.С., Андреева О.В. 2017. Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальный действий // *Аридные экосистемы*. Т. 23. № 3 (72). С. 3-16. [Zonn I.S., Kust G.S., Andreeva O.V. 2017. Desertification Paradigm: 40 Years of Development and Global Efforts // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 2. P. 140-147.]
- Исследования структуры и строения растительного покрова. 1973. Сборник статей / Ред. Н.И. Горышин. Ленинград: Ленинградский унив. 284 с.
- Касьянов Ф.М. 1979. Защитные лесонасаждения для повышения продуктивности лугов и пастбищ. Агролесомелиорация. М.: Лесная промышленность. С. 132-148.
- Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание. 1994. UN General Assembly. A/AC.241/27. 12 September 1994 [Электронный ресурс <http://www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-rus.pdf> (дата обращения 03.02.2024)].
- Кораблев А.П., Ликсакова Н.С., Мирин Д.М., Орешкин Д.Г., Ефимов П.Г. 2020. Новый список видов растений и лишайников России для программы Turboveg for Windows // *Растительность России*. № 38. С. 151-156.
- Кулик К.Н., Габуницина Э.Б., Кружилин И.П., Куст Г.С., Манаенков А.С., Павловский Е.С., Савостьянов В.К., Тулхонов А.К., Петров В.И. 2007. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны. Лобня: Всероссийский научно-исследовательский институт кормов им. В.Р. Вильямса. 86 с.
- Лазарева В.Г. 2018. Трансформация пространственной структуры растительного покрова Северо-Западного Прикаспия в связи с антропогенным воздействием // *Известия Самарского научного центра*. Т. 20. № 2. С. 116-123.
- Лазарева В.Г., Бананова В.А. 2014. Тенденции изменения ботанического разнообразия под влиянием опустынивания в Республике Калмыкия // *Аридные экосистемы*. Т. 20. № 2 (59). С. 87-96. [Bananova V.A., Lazareva V.G. 2014. Trends of Changes in the Botanical Diversity under the Influence of Desertification in the Republic of Kalmykia // *Arid Ecosystems*. Vol. 4. No. 2. P. 119-136.]
- Манаенков А.С. 1987. Лесомелиорация пастбищ на бугристых песках Северо-Западного Прикаспия // *Лесомелиорация аридных пастбищ*. Волгоград: ВНИАЛМИ. № 2 (91). С. 90-104.
- Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е изд. перераб. и доп. Волгоград: ВНИАЛМИ. 428 с.
- Манаенков А.С., Кулик А.К. 2016. Закрепление и облесение песков засушливой зоны. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт. 55 с.
- Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. 1985 / Ред. Е.С. Павловский, М.О. Долгилевич. М.: ВАСХНИЛ. 112 с.
- Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического исследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт. 1984. М.: Колос. 77 с.
- Озолин Г.П. 1979. Древесные и кустарниковые породы, применяемые в защитном лесоразведении юго-восточных районов страны // *Агролесомелиорация*. М.: Лесная промышленность. С. 148-160.
- Петров В.И., Фомичев Г.Д., Васильев Ю.И. 1985. Новые виды защитных лесонасаждений для целей животноводства // *Бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации*. № 1 (44). С. 27-30.
- Gatoun M., Hanchi B., Neffati M. 2012. Dynamic of Plant Communities in Saharan Rangelands Tunisia // *Аридные экосистемы*. Vol. 18. No. 2 (51). P. 54-61. [Гамун М., Ханчи Б., Неффати М. 2012. Динамика растительных сообществ на Сахарских пастбищах в Тунисе // *Аридные экосистемы*. Т. 18. № 2 (51). С. 54-61.]
- Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S. 2018. On the 30th Anniversary of the "General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures" // *Arid Ecosystems*. Vol. 8. No. 1. P. 5-12. [Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. 2018. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // *Аридные экосистемы*. Т. 24. № 1 (74). С. 3-10.]
- Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. 2020. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 4. P. 358-367. [Манаенков А.С., Рыбашлыкova Л.П. 2020. Повышение эффективности восстановления растительного покрова в современных очагах дефляции на пастбищах Северо-Западного Прикаспия // *Аридные экосистемы*. Т. 26. № 4 (85). С. 116-126.]
- The Plant List. 2024 [Электронный ресурс <http://www.theplantlist.org/1/> (дата обращения 03.02.2024)].

УДК 631.547.15

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЖУЗГУНА БЕЗЛИСТНОГО В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина, Ю.Н. Подопрigorov

*Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН
Россия, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-он, с. Соленое Займище, кв. Северный, д. 8
E-mail: gbulaht@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.12.2023. После доработки 01.03.2024. Принята к публикации 10.04.2024.

В статье представлены результаты исследований, проведенных в 2020-2023 гг. в Астраханской области на базе Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН. Цель проводимых опытов – разработать наиболее экологический и ресурсосберегающий способ выращивания посадочного материала джужгуна безлистного (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) для использования в фитомелиорации аридных деградированных пастбищных экосистем и создания защитных лесных насаждений в аридной зоне Северного Прикаспия. В задачи исследований входило изучить различные способы посадки джужгуна безлистного (саженцами, черенками, семенами) и выявить более эффективный для светло-каштановых почв Астраханской области; определить оптимальную норму высева и влагу почвы (% от наименьшей влагоемкости) для выращивания посадочного материала джужгуна; провести оценку в период вегетации посадочного материала, в т.ч. поражаемости вредителями и болезнями, состояния посевов (визуальная оценка) и биометрических показателей по вариантам опыта. В проведенных исследованиях использовалась методика Б.А. Доспехова (2011), для определения соответствия посадочного материала стандарту использовали Технические условия ОСТ 56-98-93 (1994). По результатам проведенных исследований мы выявили, что на светло-каштановых почвах Астраханской области оптимальный способ посадки джужгуна безлистного – это посадка саженцами. Также в этих почвенно-климатических условиях были разработаны элементы технологии выращивания саженцев джужгуна безлистного, в том числе норма высева – 250 кг/га, влага почвы в вегетационный период посев-всходы - 60-70% от наименьшей влагоемкости; поддерживаемая влага почвы в период вегетации - 20-25% от наименьшей влагоемкости.

Ключевые слова: элементы технологии, джужгун безлистный, посадочный материал, норма высева, влага почвы, капельное орошение.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-125-131

EDN: WCTYIN

Деградация и опустынивание в России являются основными проблемами на землях площадью свыше 100 млн. га. Только в Калмыкии и Астраханской области таких земель более 6 млн. га. В этих регионах, где характерен засушливый климат, крайне высокие дневные температуры в период вегетации растений, засоленные и обедненные почвы, проблема полноценного кормления животных встает особенно остро (Лозицкий, 2012; Грингоф, Бабушкин, 2010).

Ряд ученых (Аличаев и др., 2022) отмечает, что в процессе аридной деградации просматриваются две стадии. Причем, если первая – это естественные процессы устойчивого почвообразования, связанные с изменением климата и функционированием живых организмов, то вторая стадия обусловлена антропогенным воздействием, которое создает неустойчивый почвенный покров.

Проведя многолетние исследования в аридных регионах России, Узбекистана, Туркмении и Монголии, ученые утверждают (Золотокрылин, 2005; Золотокрылин и др., 2007; Гунин и др., 2018), что целесообразно говорить об антропогенной деградации, а не об опустынивании экосистемы только в том случае, если не наблюдается усиление аридности климата.

При этом эффект синергизма от взаимодействия природных и антропогенных факторов создает

особенную угрозу масштабных деградационных процессов (Кульжанова и др., 2017; Пугачёва и др., 2022; Сергиенко, Константинов, 2016).

Так, в Калмыкии и Астраханской области после жесточайшей летней засухи и осенних песчаных и пыльных бурь 2020 года произошло резкое снижение поголовья скота – почти на 1 млн. голов с мая 2020 года по февраль 2021 года (Кулик и др., 2021). А в Терско-Кумском междуречье резко возросшее поголовье скота привело к неизбежной экологической катастрофе – массовому оголению и движению песков на большей части (около 60%) территории песчаных пастбищ (Кулик, 2004).

Таким образом, процессы опустынивания и деградации на фоне изменений климата в XXI веке в аридных регионах еще сильнее обостряют стоящую перед человечеством серьезную проблему продовольственной безопасности, затрагивающей все направления сельского хозяйства. Эта проблема потребует ускоренного перехода взаимодействия человека с природой на принципы «зеленого земледелия», в основе которого лежит применение природоподобных (англ. «nature-based») технологий использования природных ресурсов, рационализирующих потребление водных, почвенных, энергетических и других ресурсов планеты (Гусев и др., 2021). Установлено, что фитомелиорация является основой адаптивного земледелия, что под сомкнутым травостоем за счет конденсации транспирационного и адвективного паров воды в почве образуется влага, сравниваемая с осадками. Также доказана существенная роль лесомелиорации, которая необходима для охраны почв и устойчивости полевых агроландшафтов с применением кустарниковых и древесных насаждений. Эти насаждения предотвращают эрозионные процессы, способствуют дополнительному снегозадержанию в зоне их влияния, уменьшению глубины промерзания зимой и увеличению влажности почвы в летний период (Бобушев, Султаналиев, 2020; Дедова и др., 2020; Раков, Сирота, 2015; Бородычев и др., 2014; Золотов и др., 2020; Дубенок и др., 2009; Okonov, Dedova, 2015).

Крупным научным успехом развития лесомелиорации признана технология создания лесопастбищ на открытых песках с использованием кустарникового пескозакрепителя – джугуна безлистного. Он используется для их облесения и последующего залужения многолетними травами широких (5-6 м) междурядий культур в целях скорейшего пастбищного освоения мелиорируемых земель (Петров и др., 1986; Сурхаев и др., 2019).

В Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН была создана база данных по адаптивному потенциалу кормовых древесно-кустарниковых растений в качестве фитомелиорантов для рекультивации полупустынных пастбищных экосистем и создания защитных лесных насаждений Северного Прикаспия (Булахтина и др., 2021). Наряду с такими видами растений, как лох серебристый, вяз узколистный, терескен серый и солянки, в качестве основного фитомелиоранта мы исследовали джугун безлистный, также известный как жузгун или кандым (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke), – род растений семейства Гречишных (Подопригоров, Хюпинин, 2023). Хозяйственное значение этого кустарника очень значительно. Его молодые ветви и плоды хорошо поедаются овцами и верблюдами, а древесина служит хорошим строительным материалом и топливом. Джугун является превосходным закрепителем песков и используется в целях фитомелиорации на подвижных песках. Он способен образовывать новые боковые (придаточные) корни в основании своих стволиков после засыпания их песком. Джугун неприхотлив, хорошо растет на бедных и засоленных почвах, обладает высокой засухоустойчивостью и морозостойкостью (Соколов и др., 1980).

Цель нашей работы – разработать наиболее экологический и ресурсосберегающий способ выращивания посадочного материала джугуна безлистного для использования в фитомелиорации аридных деградированных пастбищных экосистемах и создания защитных лесных насаждений в аридной зоне Северного Прикаспия. В задачи исследований входило изучить различные способы посадки джугуна (саженцами, черенками, семенами) и выявить более эффективный для светло-каштановых почв Астраханской области; определить оптимальную норму высева и влагу почвы (% от наименьшей влагоемкости (НВ)) для выращивания посадочного материала джугуна; провести оценку в период вегетации посадочного материала, в т.ч. поражаемости вредителями и болезнями, состояния посевов (визуальная оценка) и биометрических показателей по вариантам опыта.

По программе исследования на светло-каштановых почвах в условиях аридного климата был заложен опыт по выявлению оптимального способа посадки джугуна безлистного в Астраханской

области. Время проведения – 2020-2022 гг. Богарный полевой однофакторный опыт. Способы посадки: посев семенами, посадка черенками и саженцами. Способ посева (посадки) – широкорядный, площадь одной делянки – 150 м², междурядье – 3 м, общая площадь под один способ – 450 м². Опыт имеет три повторности.

Посадка саженцев джужгуна проводилась 10-20 октября, высев семян – 10-15 ноября, черенками – 15-24 февраля. Для посадки черенки срезались размером 30-40 см. Количество семян пересчитывались на 100% всхожесть.

Материалы и методы

Объекты исследования – посадочный материал джужгуна безлистного. Метеорологические данные по годам исследования были получены на метеостанции с. Черный Яр Астраханской области. Визуальная оценка состояния посева определялась по методике Б.А. Доспехова (2011) по 5-балльной шкале, в одни и те же часы, при расположении солнца «за спиной»: 0 – полная гибель, 1 – очень плохое, 2 – плохое, 3 – удовлетворительное, 4 – хорошее, 5 – отличное. Учет поражения болезнями и повреждение вредителями проводили по методике Б.А. Доспехова по 5-балльной шкале: 0 – отсутствие повреждений, 1 – повреждено до 10%, 2 – повреждено 10-25%, 3 – повреждено 25-50%, 4 – повреждено 50-75%, 5 – повреждено более 75%. Определение стандарта посадочного материала проводили по толщине стволика у корневой шейки и высоте сеянца по Техническим условиям ОСТ 56-98-93 (1994).

Результаты и обсуждение

В период вегетации проводился подсчет количества всходов после посева и вегетирующих после высадки посадочного материала для выявления лучшего способа (табл. 1).

Результаты исследования выявили, что посадка джужгуна саженцами является наиболее эффективным способом, поскольку живых растений было получено на 87.8-89.5% больше, чем при посеве семенами, и на 54.8-64.6% больше, чем при посадке черенками. Дисперсионный анализ результатов опыта показал наличие существенной разности между вариантами опыта.

Таблица 1. Выживаемость посадок джужгуна безлистного по вариантам опыта.

Варианты опыта	Количество посаженных (посеянных) растений, шт.			Количество живых растений (всего), шт./%					
	2020г.	2021г.	2022г.	2020г.		2021г.		2022г.	
				шт.	%	шт.	%	шт.	%
Саженцы	50	55	56	46	92	45	90	51	91
Семена	5860	6018	5942	164	2.8	210	3,5	186	3.1
Черенки	50	50	50	18	36	20	40	19	38
НСР ₀₅					1.1		2.2		1.8

Таким образом, если в результате трех лет исследования было выявлено, что лучший способ посадки джужгуна безлистного на светло-каштановых почвах – это посадка саженцами, то следующим этапом была разработка элементов технологии выращивания посадочного материала на капельном орошении. Был заложен двухфакторный полевой опыт: фактор А – в период посев-полные всходы – 60-70% от НВ, поддерживаемая влага почвы в период вегетации: 20-25; 30-35 и 40-45% от НВ; фактор В – норма высева семян: 10, 50, 100, 150, 250 кг/га в пересчете на 100% всхожесть. Семенной материал был взят в питомнике интродукции аридных кормовых растений Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН, где выращивается дикорастущий вид джужгуна. Масса 1000 семян – 64 г. Способ посева – широкорядный, площадь одной делянки – 14 м², междурядье – 2.8 м, общая площадь под одну норму высева – 42 м². Опыт имел три повторности.

При выращивании сеянцев на поливе использовался способ капельного орошения. Оно является наиболее эффективным и экономически выгодным способом, поскольку вода поступает напрямую к корням или в непосредственной близости, при поливе вода не попадает на растения, не обжигает на палящем солнце, не испаряется сверху почвы, а корневая система имеет хорошую

вентилируемость в течение всего роста растения и посадки меньше зарастают сорняками.

Посев проводили 22-24 апреля. Начало всходов было отмечено 12-16 мая, полные всходы – 19-22 мая. Влажность почвы регулировалась различным количеством поливов и длительностью каждого полива. Каждая поливная лента была оснащена водяным счетчиком, а посадки – стационарным влагомером (рис.).



Рис. Организация посевов джужгуна безлистного с оснащением поливных лент водяным счетчиком.

В связи с тем, что джужгун является очень засухоустойчивым растением и уже к третьей декаде августа по размерам соответствовал Техническим условиям ОСТ 56-98-93 (1994) для саженцев, полив был прекращен на всем участке. Выкопка посадочного материала проводилась 6-9 ноября.

По итогу проведенных исследований (табл. 2) было выявлено:

- в варианте нормы высева 250 кг/га получено сеянцев в среднем на 52, 75, 90 и 99% больше, чем в вариантах 150, 100, 50 и 10 кг/га соответственно;
- сохранность сеянцев за вегетационный период была высокая и составила 78-100%;
- более высокая сохранность отмечена в варианте с влагой почвы 40-45% от НВ – 88-100%;
- самая высокая сохранность сеянцев (97-100%) отмечена в вариантах с меньшей нормой высева 50 и 10 кг/га.

По окончании вегетационного периода был произведен расчет суммарного водопотребления джужгуна по вариантам опыта (табл. 3).

Таким образом, водопотребление посадочного материала джужгуна за весь период вегетации по вариантам опыта в сумме составило 3612 м³/га (20-25% НВ), 3969 м³/га (30-35% НВ) и 4326 м³/га (40-45% НВ), где поливная вода – 49, 54 и 58% соответственно. Биометрические показатели посадочного материала перед выкопкой по вариантам опыта приведены в таблице 4.

По результатам изучения выращивания посадочного материала джужгуна безлистного были сделаны следующие выводы:

- состояние посевов по вариантам опыта в период вегетации было определено, как отличное (5 баллов);
- поражения сеянцев болезнями и вредителями отсутствовали (0 баллов);
- на высоту сеянцев не оказало влияние ни норма высева, ни разный режим орошения, поскольку разность по вариантам оказалась в пределах ошибки;
- менее ветвистые (1.1 шт.), а значит, более пригодные для высадки, сеянцы были отмечены в варианте с минимальной влагой почвы (20-25% от НВ) при норме высева 250 кг/га;

Таблица 2. Результаты выращивания посадочного материала джугуна безлистного по вариантам опыта (средние данные).

Варианты опыта		Количество на опытной деланке		Сохранность за вегетационный период, %	Количество сеянцев в пересчете на 1 га, шт.
Влажность почвы, Фактор А	Норма высева, Фактор В	Всходов, шт.	Сеянцев, шт.		
20-25% от НВ	250кг/га	991	776	78.3	184762
	150 кг/га	456	366	80.2	87143
	100 кг/га	251	217	86.4	51666
	50 кг/га	81	79	97.5	18809
	10 кг/га	10	10	100	2381
30-35% от НВ	250 кг/га	1004	815	81.2	194048
	150 кг/га	462	386	83.6	91905
	100 кг/га	221	192	87.1	45714
	50 кг/га	69	68	99	16190
	10 кг/га	12	12	100	2857
40-45% от НВ	250 кг/га	1007	893	88.7	212619
	150 кг/га	487	446	91.6	106190
	100 кг/га	233	224	96.2	53333
	50 кг/га	81	81	100	19286
	10 кг/га	11	11	100	2619
НСР ₀₅ (А)		32.5	5.2		
НСР ₀₅ (В)		42.02	6.7		
НСР ₀₅ (АВ)		32.5	5.2		

- средний вес сеянцев увеличивался с увеличением нормы полива и уменьшением нормы высева: более легкий (247 г) и наиболее удобный для транспортировки посадочный материал был отмечен в вариантах с влагой почвы 20-25% от НВ и при норме высева 250 кг/га;

- толщина стволика у всех сеянцев по вариантам опыта составила не менее 3.0 мм, что соответствует Техническим условиям ОСТ 56-98-93 «Отраслевой стандарт. Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород» (1994).

Дисперсионный анализ показал наличие существенной разницы между вариантами опыта.

Таблица 3. Суммарное водопотребление джугуна безлистного по вариантам опыта.

Показатели	Варианты опыта, влажность почвы, % от НВ								
	20-25			30-35			40-45		
	мм	м ³ /га	%	мм	м ³ /га	%	мм	м ³ /га	%
Осадки за вегетационный период	152.3	1523	42	152.3	1523	38	152.3	1523	35
Поливная вода		1786	49		2143	54		2500	58
Продуктивный запас влаги на начало вегетации		303	9		303	8		303	7
Продуктивный запас влаги на конец вегетации	0	0	–	0	0	–	0	0	–
Суммарное водопотребление		3612	100		3969	100		4326	100

Таблица 4. Биометрические показатели посадочного материала джужгуна безлистного по вариантам опыта (средние данные).

Варианты опыта		Высота надземной части, м	Количество побегов 1 и 2 порядка, шт.	Толщина стволика у корневой шейки, мм	Масса саженца, г
Влага почвы, Фактор А	Норма высева, Фактор В				
20-25% от НВ	250кг/га	1.1	1.1	4.6	247
	150 кг/га	1.1	1.3	5.2	310
	100 кг/га	1.2	1.7	6.8	403
	50 кг/га	1.2	2.0	7.1	573
	10 кг/га	1.1	2.7	8.2	623
30-35% от НВ	250 кг/га	1.0	1.3	5.1	286
	150 кг/га	1.1	2.3	5.9	345
	100 кг/га	1.1	3.0	8.0	470
	50 кг/га	1.2	3.9	10.2	603
	10 кг/га	1.1	4.7	11.4	1680
40-45% от НВ	250 кг/га	1.2	2.0	5.6	323
	150 кг/га	1.2	2.7	6.8	453
	100 кг/га	1.0	3.1	7.6	670
	50 кг/га	1.1	4.3	11.7	866
	10 кг/га	1.2	5.5	12.5	1880
НСП ₀₅ (А)		0,07	0.06	0.194	5.3
НСП ₀₅ (В)		0,09	0.08	0.250	6.8
НСП ₀₅ (АВ)		0,07	0.06	0.194	5.3

Выводы

Таким образом, по результатам проведенных исследований нами было выявлено, что на светлокаштановых почвах Астраханской области оптимальный способ посадки джужгуна безлистного – это посадка саженцами. Также в этих почвенно-климатических условиях были разработаны элементы технологии выращивания саженцев джужгуна безлистного, в т.ч. норма высева – 250 кг/га, влага почвы в вегетационный период посев-всходы – 60-70% от НВ; поддерживаемая влага почвы в период вегетации – 20-25% от НВ.

Финансирование. Работа выполнена по теме НИР ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» № FNMW-2022-0008 “Разработать научно обоснованные агрофитомелиоративные технологии предотвращения опустынивания и деградации аридных кормовых угодий, пойменных лесных фитоценозов и земель сельхозназначения, повышения их продуктивности, увеличения биоразнообразия для восстановления почвенного плодородия и формирования стабильных степных, полупустынных и лесных экосистем”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аличаев М.М., Султанова М.Г., Мусалаева П.Д.* 2022. Дифференциация почвенных процессов по стадиям их развития в регионах засушливого климатического пояса // Аридные экосистемы. Т. 28. № 4 (93). С. 46-54. [Alichayev M.M., Sultanova M.G., Musalayaeva P.D. 2022. Differentiation of Soil Processes by Stages of Soil Formation in the Regions of a Dry Climatic Belt // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 4. P. 382-288.]
- Бобушев Т.С., Султаналиев К.Э.* 2020. Оценка и адаптация подхода НБДЗ к классификации земельных ресурсов в Кыргызской Республике // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 43-47. [Bobushev T.S., Sultanaliyev K.E. 2020. Evaluation and Adaptation of the Land Degradation Neutrality Approach to Land Classification Resources in the Kyrgyz Republic // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 123-126.]
- Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Кониева Г.Н., Пюрбеев Б.Г.* 2014. Возделывание риса в лиманном агроландшафте Сарпинской низменности Республики Калмыкия // Плодородие. № 1 (76). С. 4-5.
- Грингоф И.Г., Бабушкин О.Л.* 2010. Климат, погода и пастбищное животноводство. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-

МЦД, 352 с.

- Гунин П.Д., Панкова Е.И., Голованов Д.Л., Мандахбаяр Ж. 2018. Экосистемы природных оазисов пустынной зоны Центральной Азии. Ч. 1: Эхийн-гол – природниковый оазис Заалтайской Гоби. М.: Тов-во научных изданий КМК. 216 с.
- Гусев Е.М., Насонова О.Н., Ковалев Е.Э. 2021. Изменение влагообеспеченности территории речных бассейнов, расположенных в различных регионах земного шара, в связи с возможными изменениями климата // Аридные экосистемы. Т. 27. № 3 (88). С. 3-15. [Gusev E.M., Nasonova O.N., Kovalev E.E. 2021. Change in Water Availability in Territories of River Basins Located in Different Regions of the World due to Possible Climate Changes // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 3. P. 221-230.]
- 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.]
- Доспехов Б.А. 2011. Методика полевого опыта. М.: Альянс. 350 с.
- Дубенок Н.Н., Дедова Э.Б., Адыев С.Б. 2009. Фитомелиоративная роль культур-освоителей засоленных земель Калмыкии // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. № 6. С. 22-25.
- Золотокрылин А.Н. 2005. Гетерогенность аридизации в центральной Азии в конце 20 века // Аридные экосистемы. Т. 11. № 26-27. С. 100-105.
- Золотокрылин А.Н., Гунин П.Д., Виноградова В.В., Бажа С.В. 2007. Изменение климата и состояние растительного покрова Монголии в 20 веке // Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охрана. М.: Типография Россельхозакадемии. С. 89-100.
- Золотов Д.В., Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Першин Д.К., Малыгина Н.С., Грибков А.В. 2020. Изменение землепользования в Алтайском крае: проблемы и перспективы достижения Нейтрального Баланса Деградации Земель // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 25-33. [Zolotov D.V., Chernykh D.V., Biryukov R.Yu., Pershin D.K., Malygina N.S., Gribkov A.V. 2020. Change of Land Use in Altai Krai: Problems and Prospects for the Achievement of Land Degradation Neutrality // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 106-113.]
- Кулик К.Н. 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ. 248 с.
- Кулик К.Н., Булахтина Г.К., Тютюма Н.А. 2021. Изучение факторов влияния мелиоративно-кормовых лесных насаждений на аридные пастбищные экосистемы // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. № 2. С. 28-39.
- Кульжанова С.Н., Байдюсен А.А., Ботабекова Б.Т., Жумадилова Н.Б., Кенжегулова С.О. 2017. Особенности влияния антропогенных факторов на степные растения и их трансформация // Кормопроизводство. № 7. С. 7-12.
- Лозицкий А.Я. 2012. Многокомпонентность как источник стабильности урожаев полупустынных пастбищ Прикаспия // Земледелие. № 6. С. 19-20.
- Петров В.И., Зюзь Н.С., Подгорнов А.С. 1986. Создание лесопастбищ на подвижных песках Юго-Востока европейской части СССР. Рекомендации. М.: Госагропромиздат СССР. 25 с.
- Подопригоров Ю.Н., Хюпинин А.А. 2023. Джугзун безлистный (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) – эффективный фитомелиорант в засушливых условиях Северного Прикаспия // Известия НВ АУК. № 2 (70). С. 288-298.
- Пугачёва А.М., Беляев А.И., Трубакова К.Ю., Ромадина О.Д. 2022. Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами // Аридные экосистемы. Т. 28. № 4 (93). С. 13-21. [Pugacheva A.M., Belyaev A.I., Trubakova K.Yu., Romadina O.D. 2022. Regional Climate Changes in Arid Steppes and their Connection with Droughts // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 4. P. 353-360.]
- Раков А.Ю., Сирота М.А. 2015. Фитомелиорация – основа охраны почв, повышения эффективности и биологизации сельского хозяйства // Вестник АПК Ставрополя. № 2. Спецвыпуск. С. 147-153.
- Сергиенко В.Г., Константинов А.В. 2016. Прогноз влияния изменения климата на разнообразие природных экосистем и видов флористических и фаунистических комплексов биоты России // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. № 2. С. 29-44.
- Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. 1980. Ареалы деревьев и кустарников СССР. Л.: Наука. Т. 2. 144 с.
- Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г., Кулик К.Н. 2019. Опыт лесомелиорации экосистем песчаных массивов Терско-Кумского междуречья Стародубцева // Экосистемы: экология и динамика. Т. 3. № 4. С. 5-23.
- Технические условия ОСТ 56-98-93. 1994. Отраслевой стандарт. Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород [Электронный ресурс <https://dikipedia.ru/document/5348540> (дата обращения 05.12.2023)].
- Okonov M.M., Dedova E.B. 2015. Assessment of the Current State of Meliorative Regime of Natural and Anthropogenic Complexes in Kalmykia // Biosciences, Biotechnology Research Asia. Vol. 12. No. 3. P. 1011-1033.

===== ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ =====

УДК 911.2; 711.625

**ПРОБЛЕМЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ И ЗАПЫЛЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
АРИДНЫХ ГОРОДОВ ПРИАРАЛЬЯ**

© 2024 г. И.С. Шукуров*, Л.И. Шукурова*, С.П. Маракулина**

*Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет
Республика Узбекистан, 140400, г. Самарканд, ул. Лялязар, д. 70. E-mail: shukurov2007@yandex.ru

**Государственный университет по землеустройству
Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15. E-mail: s.marakulina@inbox.ru

Поступила в редакцию 04.02.2024. После доработки 30.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Одними из неблагоприятных метеорологических факторов для городов Приаралья являются пыльные бури и мгла. Среднегодовое число дней с мглой в городах Центральной Азии составляет от 10 до 20. Пыль ухудшает внешний вид территорий, но ее влияние на градостроительство малоизучено, а мониторинг содержания мелкодисперсных частиц пыли в воздухе городов до настоящего времени не проводился.

Особенно выделяется ветер «афганец» (гармсилъ – огненный, горячий, сухой ветер с пылью) – внезапно начинающаяся пыльная буря в пустынях Афганистана и с высохшего дна Аральского моря, которое теперь называют Аралкумом (тюр. «кум» – песок). Это настоящая соляная пустыня, содержащая опасные для здоровья населения пестициды и химикаты, которые попадали в реки в виде удобрений, используемых людьми, а потом стекали в море. И теперь они наносят существенный ущерб городам и экономике стран Центральной Азии.

В статье рассматривается вопрос ветропереноса пыли от природных источников и, как следствие, запыленности городской среды, которая актуальна для большинства крупных городов Центральной Азии, но недостаточно изучена. Даже в районах с активной пылеветровой деятельностью, таких как Приаралье, обусловленной природно-климатическими условиями, недостаточно учитывается фактор запыленности при принятии градостроительных решений.

В настоящее время во многих городах уничтожается и переводится под застройку все больше прохладных сельскохозяйственных земель, что может очень сильно сказаться на качестве жизни уже в ближайшие несколько лет. Запыленность, ещё не так давно рассматриваемая всего лишь, как фактор, создающий дискомфортные условия, сегодня коррелирует с заболеваемостью и смертностью населения. Высокая запыленность воздуха вредит зеленым насаждениям, особенно вдоль автомагистралей и улиц.

Защита зданий от прямых солнечных лучей и запыленности состоит в использовании солнцезащитных устройств, панелей и вентилируемых фасадов. Одна из современных тенденций архитектуры – это внедрение технологии кинетических фасадов, которые формируются из элементов разных форм и материалов.

При практической реализации предлагаемых способов создается реальная возможность улучшить качественные показатели атмосферного воздуха городов, имеющих сложное ландшафтное расположение, что непосредственно скажется на улучшении здоровья людей.

Ключевые слова: пыльные бури, мгла, опустынивания, процессы аридизации, антропогенное воздействие, воздух, ветер, город, сердечно-сосудистые заболевания, дисперсность, озеленение, благоустройство.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-132-139

EDN: UBLIAC

Одними из неблагоприятных метеорологических факторов являются пыльные бури и мгла (Shukurov, Majorzadehzahiri, 2020). Среднегодовое число дней с мглой в городах Центральной Азии составляет от 10 до 20.

Вопрос ветропереноса пыли от природных источников и, как следствие, запыленности городской

среды актуален для многих городов Центральной Азии, но является недостаточно изученным. Даже в районах с активной пылеветровой деятельностью, обусловленной природно-климатическими условиями, при принятии градостроительных решений недостаточно учитывается фактор запыленности.

В городах Приаралья часто наблюдается ветер «афганец» (гармсилъ – горячий сухой ветер с пылью) – внезапно начинающаяся *пыльная буря* в пустынях Афганистана. Он представляет собой вихрь раскаленного воздуха, насыщенного пылью и песком, который сопровождается резкими изменениями атмосферного давления (рис. 1).

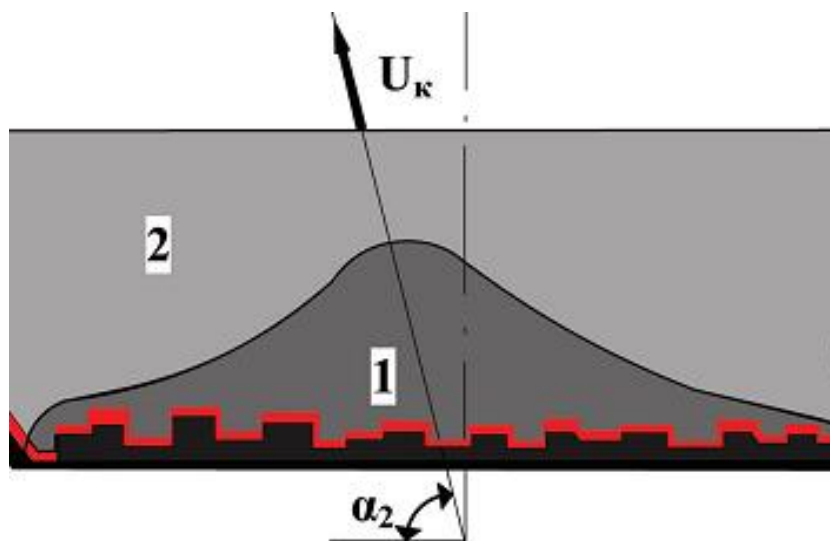


Рис. 1. Схема распространения загрязнения и воздушного потока в городах: 1 – наиболее интенсивная часть, 2 – менее интенсивная часть.

Внезапные пыльные бури, представляющие серьёзную опасность для населения, угрозу здоровью и не только, наблюдались летом 2018-2021 гг. во всех городах Центральной Азии.

Пустыни наступают, отчего сейчас самым неочевидным образом могут пострадать многие города. Все основные города Узбекистана расположены в бассейнах рек, но многие реки, снабжающие их водой и прохладой, справляются с этим всё хуже и хуже из-за истощения ресурсов. В настоящее время агломерация городов уничтожается, а под застройку переводится все больше прохладных сельскохозяйственных земель, что может очень сильно сказаться на качестве жизни уже в ближайшие несколько лет. Высокая температура воздуха в жаркие дни и пониженная его влажность, все более интенсивная запыленность способствуют увеличению смертности городского населения. Запыленный воздух, висящий над городом разгорячённым куполом и сдерживающий поток ультрафиолетовых лучей, способствует развитию рака легких, бронхитов и эмфизем, а также многих инфекционных заболеваний.

Пыль ухудшает внешний вид территорий, но ее влияние на градостроительство малоизучено, а мониторинг содержания мелкодисперсных частиц пыли в воздухе городов до настоящего времени не проводился.

Материалы и методы

Пыль – это частицы твердых веществ, взвешенные в воздухе, которые наносят существенный ущерб экономике стран Центральной Азии. По происхождению пыль можно классифицировать как земную и космическую, естественную и искусственную, промышленную и бытовую, минеральную и органическую, растительную и животную и т.д. Физические и химические свойства пылевых частиц определяются величиной, весом, плотностью, формой, гигроскопичностью, растворимостью, величиной pH, электрическим зарядом, химическим составом, радиоактивностью и дисперсностью.

При гигиенической оценке пыли большое значение имеет размер ее частиц, дисперсность. Частицы диаметром 1-10 мкм легко проникают в легкие. Более крупная пыль задерживается

в верхних дыхательных путях (нос, трахея) и мерцательном эпителии бронхов. В носовой полости человека осаждаются в среднем около 50% вдыхаемой пыли (Константинова, 1981). Длительное вдыхание сильно запыленного воздуха раздражает слизистую оболочку носа. В легочных альвеолах специальные клетки (фагоциты) захватывают частицы пыли и растворяют их или переносят в бронхи или лимфатические пути, удаляя таким образом из легких. Значительная часть задержанной пыли выделяется при чихании и кашле. Для здоровья человека наибольшую опасность представляют частицы размером до 5 мкм. Они легко проникают в легкие и там оседают, вызывая бронхиты, астму и разрастание соединительной ткани, которая не способна передавать кислород из вдыхаемого воздуха гемоглобину крови и выделять углекислый газ.

Нормируют пыль в зависимости от ее природы и механизма воздействия на организм человека. Например, кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 10 до 70% обладает преимущественно фиброгенным действием и нормируется следующим образом: ПДК максимально-разовая – 6 мг/м³, ПДК среднесменная – 2 мг/м³.

Оторвав частицу от поверхности, ветровой поток способен транспортировать ее как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, при этом количественные показатели в обоих случаях зависят от размеров частиц. Частицы пыли в условиях поверхностного пылеобразования способны перемещаться тремя способами: а) сальтацией, б) перекачиванием, в) во взвешенном состоянии. Частицы размером 100 мкм и менее перемещаются во взвешенном состоянии; частицы размером 100-500 мкм передвигаются с помощью сальтации (наибольшее количество частиц перемещается сальтацией); частицы крупнее 500 мкм – перекачиванием (Стеценко, 2007).

Внешние факторы, провоцирующие пыльные бури в Приаралье:

- резкое сокращение количества осадков в соседних странах (Казахстане, Туркменистане и Афганистане) из-за глобального изменения климата (Карамышев, 1975);
- деградация орошаемых земель на фоне высыхания водоемов и особенно Аральского моря усиливает опустынивание в странах, сильные ветра поднимают и переносят на территорию городов песок и пыль;
- песок и пыль из пустынных районов Северного Афганистана (горячий и пыльный ветер «афганец») и частично с территории Туркменистана переносятся ветром на территории всех областей (Романов, 1970).

Внутренние факторы, влияющие на появление пыльных бурь:

- рост масштабов опустынивания и деградации пастбищ внутри страны;
- увеличение количества строительных площадок приводит к тому, что с ветром в воздух поднимаются частицы пыли и песка;
- выбросы вредных испарений в атмосферу промышленными предприятиями и автомобилями;
- огромные массы почвы сдуваются ветрами, не встречая преград в лишенных естественной растительности и распаханых землях, и переносятся в виде черных облаков на большие расстояния вплоть до гор на востоке. В результате среди населения распространяется пыльная пневмония и многие вынуждены покидать свои дома, чтобы выбраться из особо неблагоприятных территорий.

Основные причины пылевых бурь:

- применение глубокой вспашки в 60-70-е годы XX века; вырубание тугайных лесов и деревьев, саксаулов с глубокими корнями для новых сельхозугодий, где сажали много хлопчатника. Спустя 50 лет эксплуатации земля истощилась, а в 2020-е годы сюда пришли засуха и пылевые бури (рис. 1);
- колхозы и совхозы Приаралья многократно увеличили урожай, занимая все новые площади и хищнически эксплуатируя почву, что привело к ее эрозии.

Городская среда изменила отдельные свойства воздуха, прежде всего понизив его влажность. Температура воздуха на городских площадях и улицах в летний солнечный день на 2.0-2.5°C выше, чем в зеленом пригороде, а относительная влажность воздуха на 10-35% ниже. На разных уровнях улиц и крыш городской застройки образуются большие площади твердых, сухих, водонепроницаемых поверхностей. Кирпич и асфальт, подобно гигантским батареям, аккумулируют тепло днем и отдают его ночью. Отчетливо прослеживается влияние запыленности воздуха в верхних слоях атмосферы на аккумуляцию тепла. Купол пыли над городом способствует созданию так называемого эффекта горячих островов. Степень проявления этого эффекта зависит от плотности

населения и размеров города, а также от дней недели. С эффектом горячих островов связано локальное увеличение интенсивности циркуляции конвекционных потоков воздуха, одновременно значительно (на 30-50% по сравнению с пригородом) уменьшается горизонтальное движение воздушных масс (рис. 2).

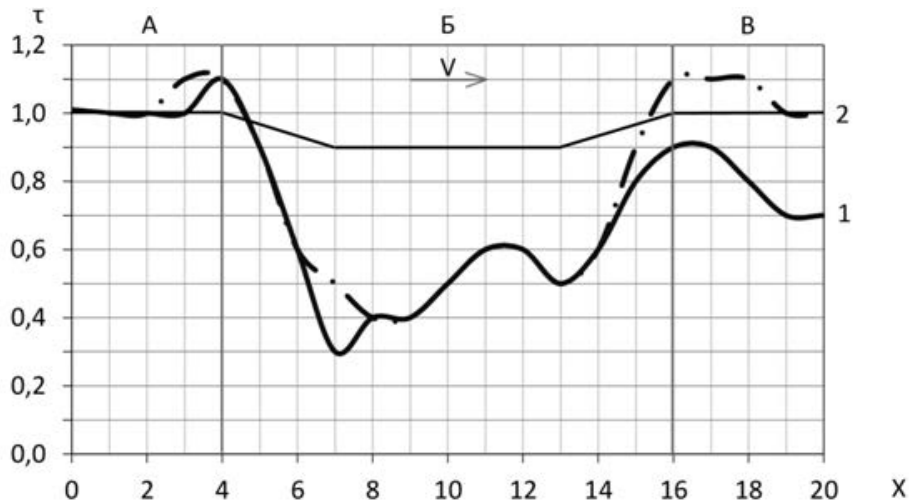


Рис. 2. График трансформации коэффициентов конвекционных потоков воздуха. *Условные обозначения:* 1) составлен по результатам исследования модели в Solidworks 2015 Simulations, 2) составлен по результатам исследования модели в аэродинамической трубе (исходный).

Прямая солнечная радиация в крупных городах летом уменьшается на 20, зимой – до 50%. Запылённость воздуха может снижать видимость в горизонтальном направлении на 80-90%. Критическая (пороговая) скорость ветра в пределах от 1 до 20 м/с приводит к движению и отрыву частиц от поверхности земли в зависимости от сил сцепления грунта, определяемых его влажностью, в результате чего начинается процесс пылепереноса (Махенько, 1968).

Скорость осаждения пыли также зависит от размеров ее частиц и плотности. Крупные частицы оседают быстрее. На частицы размером 0.1-1 мкм оказывают влияние воздушные тепловые потоки и броуновское движение, они гораздо дольше находятся во взвешенном состоянии. При движении частиц в воздухе возможно их столкновение, в результате чего отдельные частицы мелкодисперсной пыли соединяются (коагулируют) в более крупные (Янин, 2003).

Исследованиями установлено, что процесс переноса природной пыли начинается с движения частиц диаметром 100-500 мкм. Так как давление внутри воздушного потока уменьшается с высотой, то вследствие разности аэродинамического давления частица почти вертикально подбрасывается вверх и попадает в турбулентные потоки воздуха (Евгеньев, 1980). Отрыв частицы происходит в тот момент, когда аэродинамическая сила, действующая на частицу, превышает ее массу, поэтому чем меньше размеры и масса, тем вероятнее отрыв частицы от поверхности. Под действием силы тяжести и давления воздуха частица возвращается к поверхности почвы под углом 6-12° либо снова подпрыгивает, либо тратит свою энергию на выбивание из поверхности новых частиц. Упавшая частица может остаться на поверхности или продолжать движение. Движущаяся далее крупная частица, ударяясь о поверхность почвы, поднимает в воздух частицы меньших размеров (100 мкм и менее), которые затем подхватываются ветром и переносятся в виде пыли на большие расстояния (Кратцер, 1958).

Для изучения запыленности, связанной с аэродинамикой воздуха городов Центральной Азии, мы провели натурные наблюдения. Целью таких наблюдений является определение типа возникновения пыли и ее аэродинамическая характеристика (пылеперенос) в зависимости от скорости и направления ветра в жилой застройке. Проведен анализ гранулометрического состава дорожного смёта, установлено содержание в нем пылеватых и глинистых частиц от 15 до 30% (в зависимости от городов), способных под воздействием ветровых потоков подниматься в воздух и оставаться там от нескольких часов до нескольких суток.

В натурных наблюдениях измерения содержания мелкодисперсной пыли, осуществлялись в атмосферном воздухе городской среды при помощи электроаспираторов ПУ-3Э/12. Для вычисления коэффициентов уравнения регрессии использован модуль «Нелинейное оценивание» пакета программ статистического анализа «БТАИЗИСА 6.0». Значимость коэффициентов проверяли, сопоставляя табличные значения критерия Стьюдента с расчетными при доверительной вероятности $p = 95\%$. Проверка адекватности уравнений, проводилась по критерию Фишера.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследование аэродинамики (пылепереноса) среды позволили выделить три основных типа возникновения и распространения пыли: внешний – макро, внутригородской – мезо, локальный – микро.

1. Внешний или макропылеперенос возникает в результате интенсивного перемещения воздушных масс. В этом случае пыль очень мелких фракций на большой высоте транспортируется на дальние расстояния и в период устойчивых штилевых погод оседает (Киялбаев и др., 2006). Градостроительные мероприятия по макропылепереносу рекомендуется выполнять на больших пригородных территориях.

2. Внутригородской или мезопылеперенос происходит как при прорыве на территорию города внешних запыленных ветровых потоков, так и в результате подъема в воздух пыли, находящейся на территории самого города. Пыль при этом содержит фракции более крупные, чем при макропылепереносе. Мезопылеперенос природной пыли зарождается далеко от города, на участках с нарушенным почвенно-растительным покровом (например, в пустыне). Градостроительные мероприятия по мезопылепереносу рекомендуется организовывать в ближней пригородной зоне (Евгеньев, 1980).

3. Локальный или микропылеперенос возникает под действием локальных ветров и происходит в основном в приземном слое атмосферы. Пыль может переноситься местными пыльными бурями, пыльными суховеями и пыльными поземками и оседать при снижении скорости ветра ниже пороговой (менее 1 м/с).

Результаты наблюдения показали, что пробы пыли, взятые из городского воздуха, состоят большей частью из почвенных первичных частиц. Этот факт позволил сделать вывод, что даже при больших площадях поверхностей с искусственным покрытием современных городов регулировать внутригородской пылеперенос в режиме поверхностного пылеобразования можно, определив его пороговую скорость. Для этого необходимо иметь данные пороговых скоростей пылепереноса наиболее типичных местных почв (Ретгер, 1969).

В исследованиях также были применены технологии компьютерного моделирования, которые позволяют значительно упростить анализ запыленности и ветрового режима. Цель состояла в сравнении результатов натурных наблюдений микропылепереноса с применением программы SolidWorks 2015, с дополнением Flow Simulation. Испытания моделей в данной программе позволили установить качественную и количественную картину обтекания моделей воздушным потоком в зависимости от формы модели, параметров поперечного сечения модели, в т.ч. относительной высоты застройки.

Для первой серии экспериментальных исследований были приняты две модели застройки с различной длиной ($L = 6h$, $L = 10h$). Общие настройки, заданные перед проведением исследования в программе SolidWorks: тип задачи – внешняя; текучая среда – Air (газы); тип течения – только турбулентное; интенсивность турбулентности – 2%; масштаб турбулентности – 0.0001; влажность – отсутствует; измерения скорости воздушного потока проводились на высоте $H = 10$ м от поверхности земли (или 10 мм на модели), что соответствует высоте расположения флюгера метеостанции. Все измерения проводились в масштабе 1 : 4000. Во всех вариантах размеры моделируемой территории застройки составляют 740×740 м, т.е. 51.84 га, количество расчетной точки – 20.

При запуске исследования были получены эпюры распространения воздушного потока с учетом заданных условий. Скорости потока на различных участках обозначены характерным цветом. Далее с помощью эпюр рассчитывались значения коэффициента трансформации для каждой точки по формуле $\tau = U_i/U$, где U – скорость невозмущенного потока, заданная во входных данных, U_i – скорость на модели в выбранной точке. Полученные результаты были оформлены графически.

На основе полученных данных построены эпюры и графики, совмещающие результаты исходных и проведенных исследований (рис. 3).

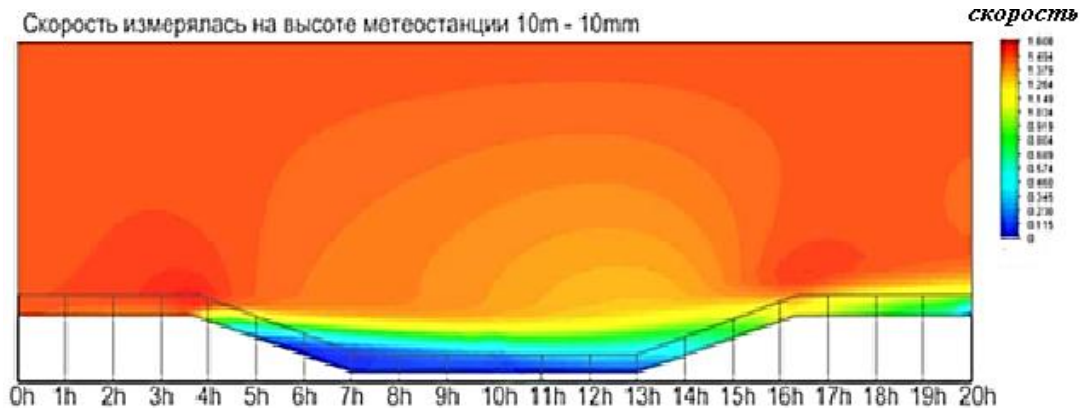


Рис. 3. Эпюра зависимости значений коэффициента трансформации от x (различной длины застройки) для $L = 6h$.

Коэффициенты трансформации набегающего воздушного потока в каждой из точек обрабатывались при помощи линий одинаковой скорости, которые проводились через каждые 0.2 значения коэффициента, т.е. соединялись точки с показателями 0.6, 0.8, 1.0 и т.д. (рис. 2).

Результаты для исследования с $L = 6h$, $h/a = 15/12$, где a – крутизна склона:

а) участок Б – исходный (2) и полученный (1) графики повторяют друг друга, отклонение экспериментальной зависимости в точке $x = 7h$ составляет 14.2%;

б) участок В – графики (1) и (2) имеют одинаковый контур, но график (1) опущен относительно графика (2): скорость в полученной зависимости (1) возрастает медленнее. Максимальное отклонение в точке $x = 19h$ составляет 21.4%.

При наличии высотных и протяженных домов на территории города эти случаи могут возникать непосредственно и в самой застройке города.



Рис. 4. Установка системы сбора фильтрации воздуха и систему сбора пыли для растений на крыше.

При проектировании генплана интеграции жилой застройки (блочные дома, отдельно стоящие дома) необходимо учитывать рельеф местности, ориентацию улиц, преобладающий ветер, высоту застройки; обеспечить максимально возможную плотность застройки, озеленение, дающее густую тень (горизонтальное и вертикальное озеленение), для создания микроклимата и фильтрации воздуха, а также размещение малых архитектурных форм (беседки, галереи, навесы), которые создают затенение от солнца; учитывать организацию небольших общественных площадей внутри жилого квартала для местных жителей.

Система озеленения территории города является необходимым условием формирования

полноценной среды города. Во многих городах Центральной Азии на 1 человека приходится от 0.8 до 2.0 м² площади озелененных территорий общего пользования, т.е. от 11 до 33% от нормативного показателя по ШНК 2.07.01-03 (2009).

Для успешного проведения работ по озеленению необходимо:

- вводить адаптированный к местным условиям ассортимент деревьев и кустарников (Миронов, Евгеньев, 1986);
- учитывать архитектурно-планировочную и ландшафтную организацию территории парков, скверов;
- осуществлять регулярный уход.

Парки, сады, скверы и бульвары должны быть оборудованы водопроводом, обводнением, канализацией, освещением, а также хозяйственными помещениями, т.к. зеленые насаждения в городе улучшают микроклимат городской территории, создавая хорошие условия для отдыха на открытом воздухе, и предохраняют от чрезмерного перегрева территории, почву, стены зданий и тротуары.

Парки и скверы, привязанные при строительстве к рельефу, могут быть активными проводниками чистого воздуха в центральные районы города. Качество воздушных масс значительно улучшается, если они проходят над парками и скверами. При этом количество взвешенных примесей снижается на 10-40%. Практика показала, что это является достаточно эффективным средством борьбы с вредными выбросами автомобильного транспорта, эффективность которых может варьироваться в довольно широких пределах – 7-35% (Шукуров, Ахмед Эламин, 2016).

Защита от микропылепереноса должна обеспечиваться на территории жилой застройки города, а на крышах каждого здания следует установить систему сбора фильтрации воздуха и систему сбора пыли для растений, расположенных на этих крышах (рис. 4).

Приспособление зданий к защите от прямых солнечных лучей и запыленности состоит в использовании солнцезащитных устройств, панелей и вентилируемых фасадов. Сегодня современной тенденцией архитектуры является технология кинетических фасадов, которые формируются из металлических или деревянных элементов (панелей) разных форм и материалов. Панели фасада открываются и закрываются в зависимости от движения солнца, защищая здание от жары, бликов и пыли, снижают перегрев помещений и запыленность на 70%, уменьшают потребность энергии кондиционирования, вентиляции и снижают температуру внутри здания (рис. 5).

Кинетические фасады могут быть мощным инструментом для подхода к вековым вопросам архитектуры – красоте, устойчивости, комфорту, – а также смелым, новым и технологически ориентированным способом. Применение кинетических технологий фасадов способствует оптимальной адаптации жилища к жарким и запыленным климатическим условиям и является перспективным и эффективным подходом для развития застройки городов Приаралья.

Таким образом, при практической реализации предлагаемых способов создается реальная возможность улучшить качественные показатели атмосферного воздуха городов, имеющих сложное ландшафтное расположение, в летнее время, что непосредственно скажется на улучшении здоровья людей.

Выводы

1. Запыленность жилой застройки определяется прежде всего внутригородским пылепереносом, обусловленным проникновением на территорию города внешних запыленных ветровых потоков или подъемом в воздух пыли, находящейся на территории самой застройки;

2. Полученные закономерности изменения скорости вблизи обтекаемой жилой застройки позволяют перейти к изучению давления и определения аэродинамических коэффициентов пылепереноса;

3. Защита от микропылепереноса должна обеспечиваться на территории жилой застройки города и на крышах зданий. Применение кинетических технологий фасадов способствует оптимальной адаптации жилища к жарким и запыленным климатическим условиям.

4. Предлагаемый способ создает реальную возможность улучшить качественные показатели атмосферного воздуха городов, имеющих сложное ландшафтное расположение, что непосредственно скажется на улучшении здоровья людей.

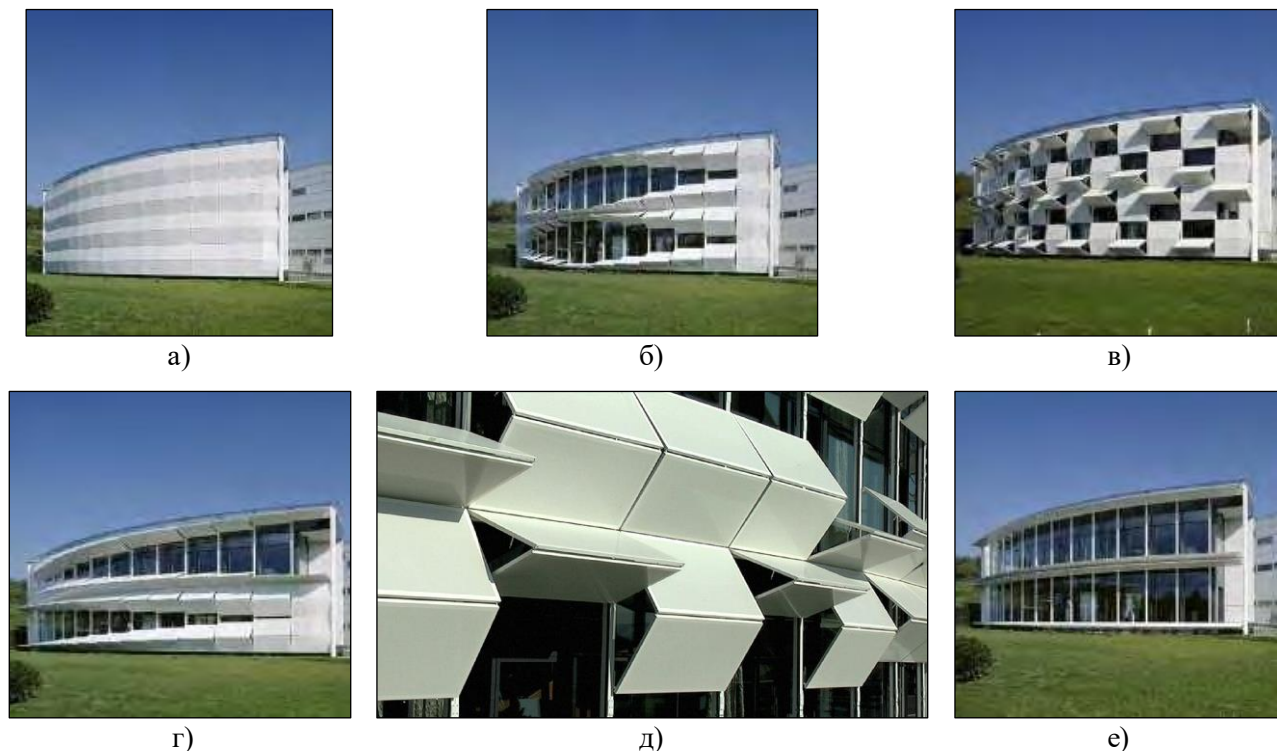


Рис. 5. Варианты трансформации кинетического фасада здания Kiefer Technic (архитектурная студия Ernst Giselsbrecht + Partner, Австрия).

Финансирование. Работа выполнена за счет собственных средств авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Стеценко С.Е. 2007. Учет фактора запыленности в формировании городской застройки. Автореферат дисс. канд. тех. наук. М. 223 с.
- Евгеньев И.Е. 1980. Защита окружающей среды при строительстве автомобильных дорог // Обзорная информация ВПТИТрансстроя Минтрансстроя СССР. Вып. 1. М. 45 с.
- Карамышев В.А. 1975. Город строится в пустыне. Алма-Ата: Казахстан. 128 с.
- Киялбаев А.К., Рахатов С.З., Джакешов К.С. 2006. Теоретические предпосылки образования запыленности воздуха в городах и прирассовых зонах населенных пунктов // Вестник КаздорНИИ Алматы. № 3-4 (12). С. 68-72.
- Константинова З.И. 1981. Защита воздушного бассейна от промышленных выбросов. М.: Стройиздат. 104 с.
- Кратцер П.А. 1958. Климат города. М.: Изд-во иностранной литературы. 239 с.
- Махонько К.П. 1968. Возникновение ветрового переноса пыли над подстилающей поверхностью. Обнинск: Изд-во ГМЦ СССР. 60 с.
- Мионов А.А., Евгеньев И.Е. 1986. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды. Томск: Изд-во Томского университета. 284 с.
- Реттер Э.В. 1969. Моделирование при изучении микроклимата зданий и их комплексов // Климатическое районирование для проектирования жилищ. М. 113 с.
- Романов Н.Н. 1970. Пыльные бури в Средней Азии. Ташкент. 345 с.
- ШНК 2.07.01-03. 2009. Градостроительство. Планирование развития застройки территорий городских и сельских населенных пунктов.
- Шукуров И.С., Ахмед Эламин М.А. 2016. Влияние Голубого и Белого Нила на градоэкологию прибрежных урбанизированных территорий Хартума // ПГС. № 3. С. 15-19.
- Янин Е.П. 2003. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГРЭ. 82 с.
- Shukurov I.S., Majorzadehzahiri A. 2020. Dustiness and Aerodynamics of Air in Central Asian Cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 753. Ch. 3. P. 042013.

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 502/504; 556.512; 556.53

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В РЕЧНЫХ ВОДАХ
В СТЕПНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНАХ РУССКОЙ РАВНИНЫ**

© 2024 г. С.В. Долгов*, Н.И. Коронкевич*, В.О. Швыдкий**,
Ю.Ю. Алентьев*, Е.В. Штамм***

**Институт географии РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4. E-mail: koronkevich@igras.ru

***Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН*

Россия, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4. E-mail: svdolgov1978@yandex.ru

****Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН*

Россия, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4.

Поступила в редакцию 31.03.2024. После доработки 01.04.2024. Принята к публикации 10.04.2024.

Обосновано использование фоновых показателей для контроля содержания биогенных веществ в поверхностных и подземных водах в степной и лесостепной зонах Русской равнины. Предложены подходы к определению фонового содержания биогенных веществ. Выявлены особенности формирования стока биогенных элементов в период половодья, летне-осенний и осенне-зимний периоды. Полученные результаты целесообразно использовать для оценки антропогенных изменений содержания аммонийного азота, азота нитратов и нитритов, минерального фосфора в поверхностных и грунтовых водах, а также в сточных водах. Показано, что нормативы содержания нитратов и аммонийного азота в речных и сточных водах целесообразно скорректировать с учетом уровня регионального природно-антропогенного фона.

Ключевые слова: Русская равнина, лесостепь и степь, речные бассейны, поверхностные и подземные воды, содержание азота и фосфора.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-140-146

EDN: ZDLQDN

Лимитирующим фактором использования водных ресурсов в лесостепной и степной зоне Русской равнины, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку, является не только небольшое их количество, но и невысокое качество. Нередко оно обусловлено повышенным содержанием в речных водах биогенных веществ, в том числе соединений азота и фосфора, способствующего развитию эвтрофирования и другим негативным процессам. Генезис гидроэкологической ситуации, зачастую негативной (несмотря на уменьшение в последние годы сброса сточных вод и загрязняющих веществ в их составе), остается в значительной мере неизвестным, что осложняет разработку эффективных водоохраных мер.

За исключением поверхностного склонового стока, главным образом весеннего (Хрисанов, Осипов, 1993; Ясинский, Гуров, 2006; Кондратьев и др., 2018), миграция биогенных веществ с другими элементами водного баланса обычно не анализируется, априори полагая, что вклад их незначительный. Однако за последние десятилетия произошли весьма существенные изменения в структуре водного баланса – значительно сократился поверхностный склоновый сток, но возросла инфильтрация талых и дождевых вод в почво-грунты зоны аэрации (Долгов и др., 2020). В изменившихся за последние десятилетия климатических условиях акцентирование внимания лишь на периоде весеннего половодья может приводить к существенному недоучету выноса биогенов в водные объекты с их водосборов.

Цель исследования заключается в оценке сезонного фонового содержания биогенных веществ в речных водах в лесостепи и степи Русской равнины с учетом генетической их неоднородности и сравнение его с нормативными показателями.

Материалы и методы

В основу методологии данного исследования положены представления о полиструктуре водного баланса (Коронкевич, 1990), высотно-пространственной гидрологической структуре равнинной территории (Долгов, Коронкевич, 2010), элементы которой по-разному трансформируют осадки в сток и по-разному изменяют их химический состав. Используемый комплексный гидролого-гидрохимический подход ориентирует на учет генетической неоднородности водного и химического стока, обусловленной особенностями формирования его поверхностной и подземной составляющих, а также влиянием природно-климатических и антропогенных факторов. Предлагаемый подход реализован путем определения и сравнения природно-антропогенных фоновых величин содержания биогенов для ряда элементов водного баланса. При этом полностью исключить влияние антропогенных факторов не представляется возможным, поскольку рассматриваемая территория в значительной мере распахана и подвержена проведению различных агролесомелиоративных мероприятий. Вместе с тем при анализе исключены участки рек, в которые сбрасываются промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды и которые находятся в зоне влияния городских агломераций. Таким образом, для исследования использованы те участки, которые расположены среди типичных для лесостепной и степной зон агроландшафтов.

Под условным природно-антропогенным фоновым содержанием биогенных веществ в речных водах приняты его значения, соответствующие 50, 75 и 95% обеспеченности (вероятности превышения). Они определялись по пространственным кривым обеспеченности, построенных при обобщении результатов химических анализов для определенной фазы водного режима рек изучаемой территории. При других одинаковых условиях с наименьшими ошибками рассчитывается величина 50% обеспеченности. Она принята нами в качестве основной.

Различные аспекты оценки фоновых значений гидрохимических показателей в основном на локальном уровне рассмотрены в немногочисленных публикациях (Методические основы ..., 1981; Никаноров и др., 2007; Закруткин и др., 2004). Чаще всего определяется влияние на качество речных вод населенных пунктов, отдельных предприятий промышленности, сельского и водного хозяйства путем сопоставления гидрохимических данных в нижнем створе по отношению к верхнему фоновому (контрольному), расположенному вне пределов влияния изучаемых объектов. На возможность такой оценки, главным образом относительно влияния крупных населенных пунктов, и ориентирована сеть гидрохимических наблюдений Росгидромета. Однако она недостаточно репрезентативная для региональной гидроэкологической оценки, поскольку не проводятся наблюдения на многих малых и средних реках, испытывающих наиболее широко распространенную сельскохозяйственную нагрузку, в результате которой загрязненных вод образуется больше, чем подлежит учету водохозяйственной статистикой (Коронкевич и др., 2023).

Недостающая информация Росгидромета компенсировалась результатами полевых работ, выполненных при реализации проекта Российского научного фонда в 2020-2022 гг. (руководитель – А.Г. Георгиади) на участках рек, как указано выше, не подверженных влиянию сточных вод с урбанизированных территорий. Анализируемые показатели, такие как концентрация в воде аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, химического потребления кислорода (ХПК), определены в Институте биохимической физики РАН на основе фотометрического метода. В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) принято: для аммонийного азота – 0.4 мг N-NH₄⁺/л, азота нитритов – 0.02 мг N-NO₂⁻/л, азота нитратов – 9.1 мг N-NO₃⁻/л, фосфора фосфатов – 0.2 мг P-PO₄³⁻/л, ХПК для питьевого водоснабжения – 15 мг О/л. Для каждого из перечисленных показателей были построены кривые обеспеченности (вероятности превышения). В качестве примера на рисунке 1 приведена кривая обеспеченности концентрации фосфора в речных водах в зимнюю межень.

Кривые обеспеченности построены: для снежного покрова по 12 образцам, для речных вод в половодье – по 13 образцам, для летне-осенней межени – по 58 пробам, для зимней межени – по 38 пробам, для подземных вод – по 46 пробам, для стекающих со склонов поверхностных вод – по 19.

Результаты и обсуждение

Фоновые значения концентрации биогенных веществ в речных водах в лесостепи и степи в разные фазы водности. Результаты ориентировочной оценки фоновых величин анализируемых показателей для лесостепных и степных рек приведены на рисунке 2 (в единицах ПДК – отношении фоновой величины данного показателя к его ПДК).

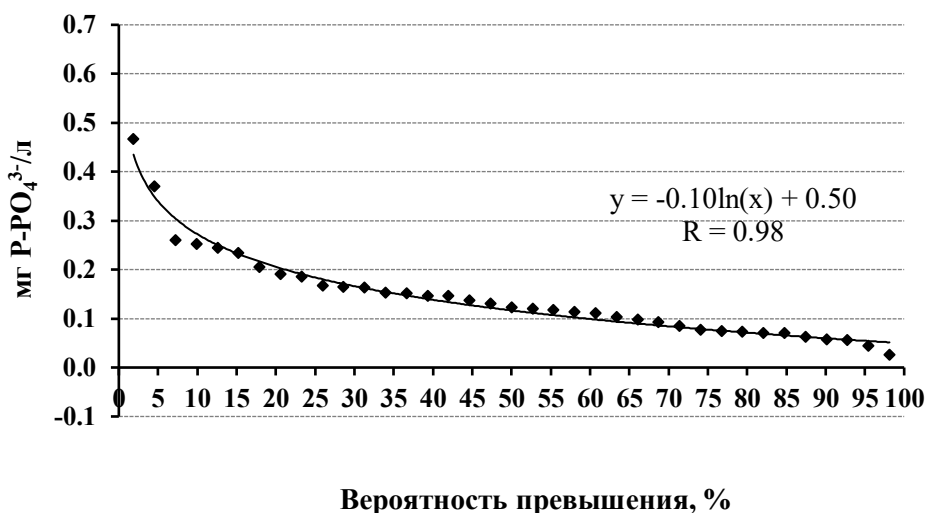


Рис. 1. Эмпирическая кривая вероятности превышения содержания минерального фосфора в реках лесостепной зоны в зимнюю межень 2021-2022 гг. Условные обозначения: R – коэффициент корреляции.

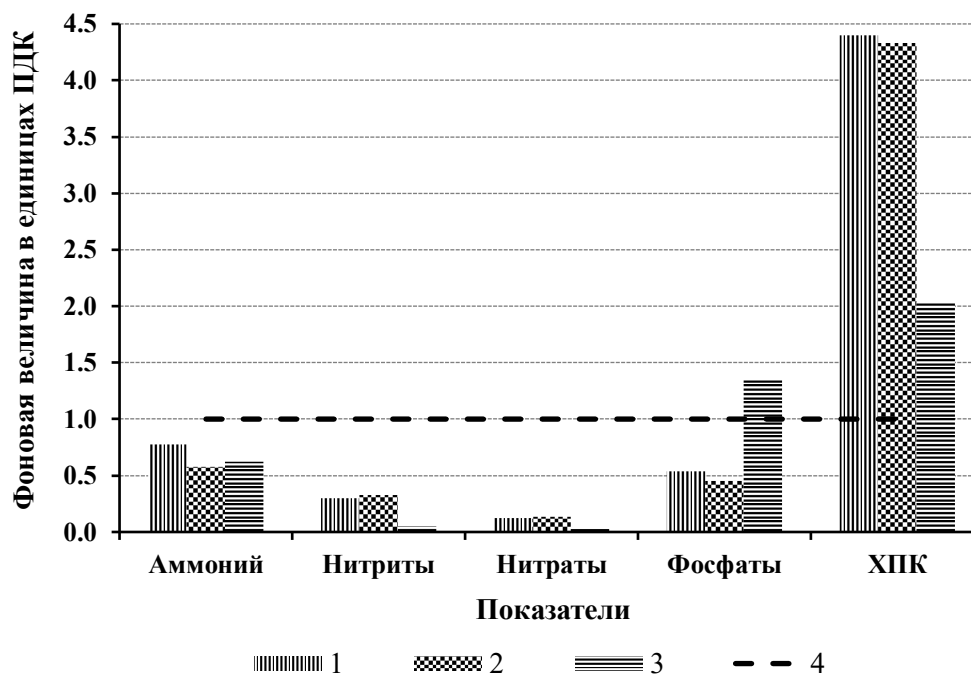


Рис. 2. Фоновые гидрохимические показатели речных вод в лесостепи и степи в разные фазы водности. Условные обозначения: 1 – зимняя межень, 2 – половодье, 3 – летне-осенняя межень, 4 – ПДК.

Расчеты показали следующее.

1. Региональные фоновые значения гидрохимических показателей существенно изменяются в зависимости от фазы водного режима. Наибольшая фоновая величина минерального азота отмечается в зимнюю межень и весной во время половодья: 50% обеспеченности – соответственно, 1.50 и 1.45 мг/л, 75% обеспеченности – 1.10 и 0.55 мг/л. В летне-осеннюю межень (вероятно, вследствие потребления водной растительностью) снижается более чем в 2 раза: 50% обеспеченности – 0.62 мг/л, 75% – 0.35 мг/л. Фоновая величина минерального фосфора P-PO₄³⁻ 50% обеспеченности составила в зимнюю межень 0.107 мг/л, в половодье – 0.090 мг/л, в летнюю межень – 0.270 мг/л; фоновая величина 75% обеспеченности – соответственно, 0.073, 0.070 и 0.195 мг/л.

2. Используемые в настоящее время величины ПДК по отдельным гидрохимическим показателям могут значительно превышать региональные фоновые значения, в т.ч. 50% обеспеченности. Для аммония это превышение в разные сезоны составило 1.3-1.7 раз, для нитритов – более 3 раз, достигая максимума для нитратов – более 8 раз. В связи с этим целесообразна корректировка используемых в настоящее время в гидроэкологических исследованиях показателей допустимой величины содержания различных форм минерального азота – в сторону их снижения, особенно в отношении нитратов. Правда, для такой корректировки целесообразна более детальная оценка региональных фоновых величин, в т.ч. на основе предложенных нами методических подходов.

3. В отличие от других рассмотренных показателей региональная фоновая величина ХПК интегрального показателя содержания в воде органических веществ, напротив, существенно больше ПДК – в 4-4.5 раза в зимнюю межень и в 2 раза в половодье. Наибольшие фоновые значения ХПК 50% обеспеченности отмечаются для зимней межени и весеннего половодья и составляют, соответственно, 66 и 65 мг О/л, снижаясь в летнюю межень более чем в 2 раза – до 30 мг О/л.

Особенностей формирования стока биогенных веществ в период половодья. Несмотря на значительное сокращение в последние десятилетия стока половодья (Долгов и др., 2020) оно остается весьма важной в гидроэкологическом отношении фазой водного и гидрохимического режима рек. Из сопоставления фоновых значений биогенов в речных водах в половодье с их содержанием в снежном покрове, в поверхностном и подземном стоке с речных водосборов следует нижеуказанное (рис. 3).

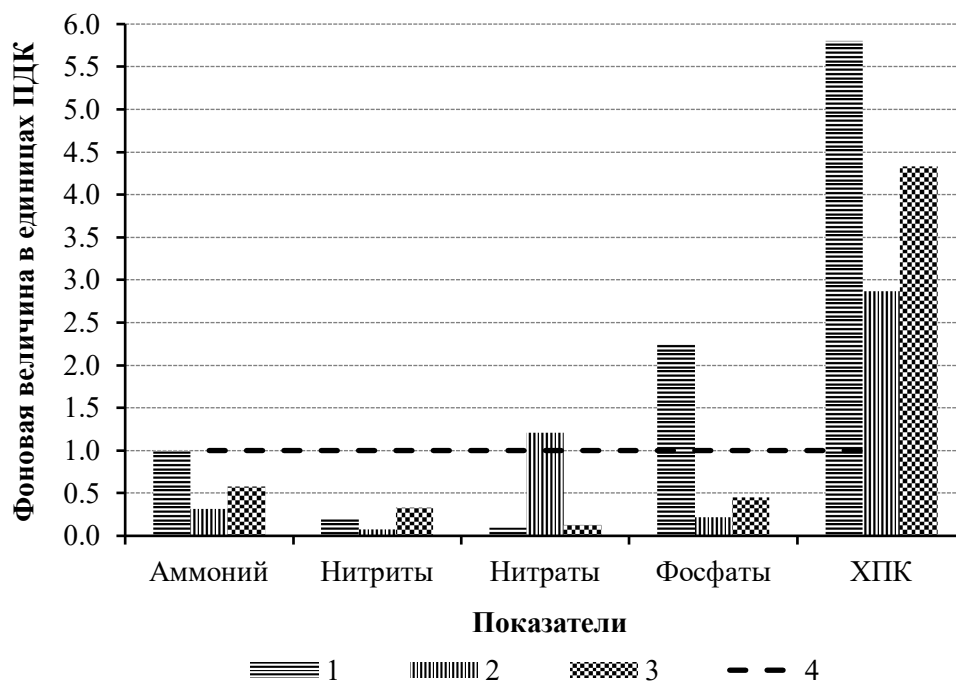


Рис. 3. Фоновые гидрохимические показатели для речного стока, поверхностного и подземного стока с водосборов в половодье (по данным за 2020–2022 гг.). Условные обозначения: 1 – поверхностный сток с водосборов, 2 – подземный сток с водосборов, 3 – речной сток в половодье, 4 – ПДК.

1. В миграции в речную сеть минерального азота в растворенном виде заметную роль играют атмосферные осадки. Перед началом весеннего половодья фоновая концентрация (50% обеспеченности) минерального азота в снеге составляет 0.93 мг/л. На следующей стадии формирования речного стока в стекающих по поверхности водосборов водах содержание азота возрастает примерно на 30% и достигает 1.20 мг/л.

2. Весьма важную роль в поступлении азота в реки играет подземный сток, особенно в последние десятилетия вследствие значительного сокращения весеннего поверхностного склонового стока. В дренируемых речной сетью грунтовых водах лесостепи и степи фоновая концентрация

минерального азота (50% обеспеченности) существенно выше, чем в других элементах водного баланса, и составляет 11 мг/л. В основном минеральный азот в грунтовых водах накапливается в форме нитратов, обладающих высокой миграционной способностью. Региональная фоновая величина содержания нитратов в дренируемых реками подземных водах даже превышает ПДК в 1.2 раза.

3. В отличие от минерального азота основную роль в поступлении в реки фосфора играет поверхностный сток с их водосборов. Фоновая величина 50% обеспеченности концентрации минерального фосфора в этом элементе водного баланса составляет 0.45 мг/л и по сравнению с другими его элементами в наибольшей степени превышает ПДК в 2.3 раза.

4. Региональная фоновая величина интегрального показателя содержания в воде органических веществ (ХПК) для всех рассмотренных воднобалансовых элементов существенно больше ПДК – в 2-6 раз. Наибольшие фоновые значения ХПК отмечаются для весеннего поверхностного стока с водосборов (87 мгО/л), речного стока в зимнюю межень и во время прохождения половодья (66 и 65 мгО/л соответственно).

Рассчитанные величины фоновых гидрохимических показателей носят ориентировочный характер и в дальнейшем при получении более детальной информации о пространственно-временной изменчивости миграции биогенов могут корректироваться. Тем не менее, полученные на данном этапе результаты могут использоваться для выявления негативных гидроэкологических ситуаций и поиска путей улучшения экологического состояния речных вод.

Оценка содержания биогенных веществ в речных водах на основе региональных фоновых величин гидрохимических показателей. Географо-гидрологический анализ результатов полевых работ, выполненных в период летней межени в 2020-2022 гг., в ходе которых было отобрано 79 проб воды, позволил выявить участки рек с наиболее высоким содержанием биогенных веществ, более чем в 2-3 раза превышающим фон.

Наиболее высокое содержание минерального азота зафиксировано в р. Сейм у пос. Прямыцыно – в 8 раз больше региональной фоновой величины 50% обеспеченности, в р. Усмань у г. Усмань – 4 раза, р. Перевозинка в г. Новоаннинском – 5 раз, в истоке и верховьях р. Дон – 3-12 раз и р. Сейм у пос. Карла Либкнехта – 3 раза. Наибольшее превышение фоновой концентрации минерального фосфора зафиксировано в р. Усмань в Воронежском заповеднике – 7-8 раз и у г. Усмань – 3.5 раза, р. Осередь в г. Бутурлиновка – 4 раза, в верховьях р. Дон у г. Донской – 4 раза, р. Сейм у пос. Прямыцыно и пос. Карла Либкнехта – 3 и 2.2 раза. На многих перечисленных участках рек наблюдается также превышение фоновой величины показателем ХПК до 2 раз и более.

Чаще всего аномально высокое превышение фоновых величин содержания биогенных веществ в речных водах изучаемой территории обусловлено хозяйственной деятельностью (прежде всего – сбросом сточных вод), реже – природными факторами (например, в истоках рек вследствие повышенной концентрации биогенов в выходящих на дневную поверхность грунтовых водах). Причина негативной гидроэкологической ситуации в Воронежском заповеднике, проявляющейся, в частности, в аномально высоком содержании биогенных веществ в р. Усмань, заключается не только в сбросе сточных вод в г. Усмань, но и в гидрохимическом влиянии лесной растительности – постоянного источника их поступления в грунтовые воды и далее в речную сеть. В не испытывающих существенной антропогенной нагрузки и протекающих по территории заповедника реках Ивнице и Лесной также зафиксировано превышение фоновых величин концентрации биогенов (по аммонийному азоту – в 3 раза, минеральному азоту – 1.3-1.5 раза) и показателю ХПК – в 2-3 раза.

Оценка эффективности очистки сточных вод на основе природно-антропогенного фона. Региональный природно-антропогенный фон целесообразно учитывать не только при оценке экологического состояния речных вод, но и для решения ряда других задач, в т.ч. для определения предельно допустимого содержания загрязняющих веществ в сточных водах. Ориентация при этом лишь на ПДК представляется недостаточно обоснованной.

Так, без учета природно-антропогенного фона можно прийти к сомнительному выводу, что сточные воды, например, Белгородской, Курской и Воронежской областей, не загрязняют нитратами речные воды. Однако региональное фоновое содержание нитратов в реках значительно ниже ПДК (рис. 4). Поэтому в данном случае целесообразно ужесточить нормативы в сторону снижения концентрации нитратов в сточных водах до фонового регионального уровня.

Подобная ситуация, хотя и выраженная не в столь явном виде, наблюдается и в отношении аммонийного азота, фоновое содержание которого изменяется в течение года от 0.6 до 0.8 ПДК (рис. 2).

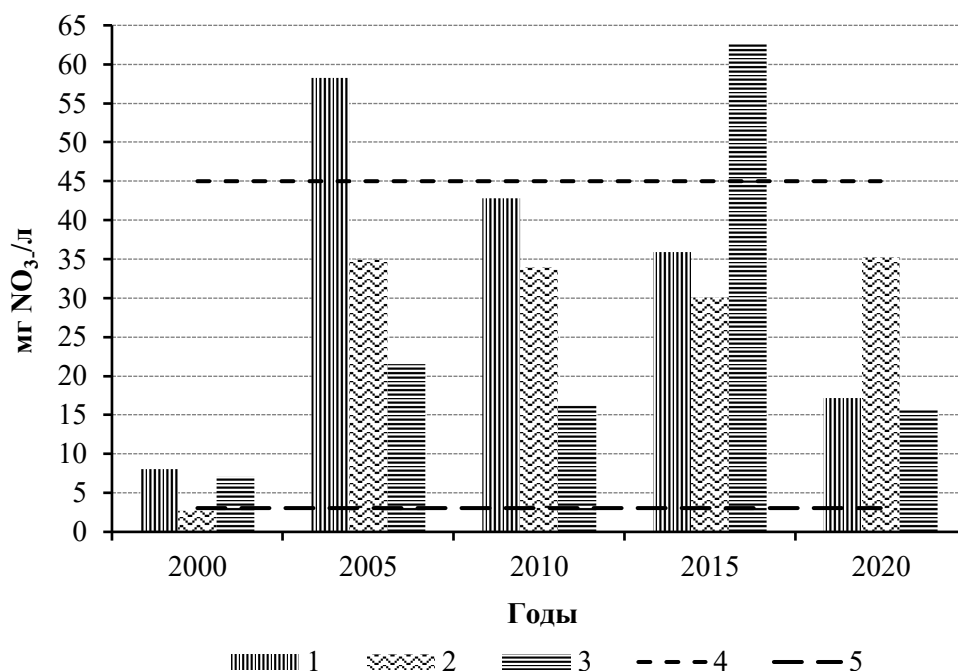


Рис. 4. Динамика содержания нитратов в загрязненных сточных водах (Автоматизированная ..., 2024). Условные обозначения: 1 – Белгородская область, 2 – Воронежская область, 3 – Курская область, 4 – ПДК, 5 – региональный фон.

Выводы

Рассчитанные величины фоновых гидрохимических показателей носят ориентировочный характер и в дальнейшем при получении более детальной информации о пространственно-временной изменчивости миграции биогенов могут корректироваться. Тем не менее, полученные уже на данном этапе результаты целесообразно использовать для оценки экологического состояния речных вод, вклада антропогенной нагрузки в процессы его формирования, выявления негативных гидроэкологических ситуаций, разработки эффективных природо- и водоохранных мероприятий.

Для определения предельно допустимого содержания загрязняющих веществ в сточных водах представляется недостаточно обоснованной ориентация лишь на ПДК. Так, фоновое содержание нитратов и аммонийного азота в реках лесостепной и степной зон существенно меньше ПДК. Поэтому целесообразно ужесточить нормативы в сторону снижения их концентрации в сточных водах до фонового регионального уровня. С учетом фоновых величин становится возможной корректировка и других гидрохимических показателей.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы Государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 (1021051703468-8) 2024-2028 гг. «Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). 2024 [Электронный ресурс <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 08.03.2024)].
- Долгов С.В., Коронкевич Н.И. 2010. Гидрологическая ярусность равнинной территории // Известия РАН. Серия географическая. № 1. С. 7-25.
- Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А. 2020. Ландшафтно-гидрологические изменения в бассейне Дона

// Водные ресурсы. Т.47. № 6. С. 674-685.

- Закруткин В.Е., Коронкевич Н.И., Шишкина Д.Ю., Долгов С.В.* 2004. Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области). Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета. 252 с.
- Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю., Терехов А.В.* 2018. Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Кодекс. С. 89-108.
- Коронкевич Н.И.* 1990. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука. 205 с.
- Коронкевич Н.И., Черногаева Г.М., Долгов С.В., Каишутин Е.А., Барабанова Е.А., Лукьянов К.В.* 2023. Антропогенно-измененные воды, поступающие в водные объекты в бассейне Дона // Метеорология и гидрология. № 6. С. 74-82.
- Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод. 1981 / Ред. А.В. Караушев. Л.: Гидрометеиздат. 175 с.
- Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Черногаева Г.М.* 2007. Антропогенно-измененный природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России // Метеорология и гидрология. № 11. С. 62-79.
- Хрисанов Н.И., Оситов Г.К.* 1993. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат. 279 с.
- Ясинский С.В., Гуров Ф.Н.* 2006. Метод оценки характеристик диффузного загрязнения малых рек на основе ландшафтно-гидрологического подхода (на примере р. Истры) // Водное хозяйство России. № 2. С. 41-71.

УДК 574.52

**ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ЮЖНОГО ИНВАЗИВНОГО ВИДА
DREISSENA POLYMORPHA (PALLAS) В ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

© 2024 г. Л.П. Федорова*, Д.А. Гвоздарев**, В.О. Полянин*

*Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: ludmila-54f@mail.ru

**Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, филиал по пресноводному рыбному хозяйству

Россия, 141821, Московская обл., Дмитровский городской округ, пос. Рыбное, д. 40А

Поступила в редакцию 21.12.2023. После доработки 01.02.2024. Принята к публикации 01.03.2024.

В 2018-2022 гг. в Иваньковском водохранилище были проведены исследования состояния инвазивного вида *Dreissena polymorpha* (Pallas), получены количественные показатели развития личиночной и дефинитивной стадий моллюска во всех плесах водохранилища в разные сезоны, показана межгодовая динамика их численности, пространственное распределение.

Южный инвазивный вид *Dreissena polymorpha* (Pallas) в Иваньковском водохранилище вполне успешно адаптировался и существует длительное время в условиях низкой минерализации воды и стабильно формирующегося летнего дефицита растворенного кислорода в придонных горизонтах воды, который обусловил смещение зоны обитания дрейссены на глубину до 4 м; в иловых биотопах моллюск не встречался. На расширение ареала обитания южного вида-вселенца *D. polymorpha* до водоемов северных регионов влияет потепление климата, которое удлиняет процесс размножения моллюска. В настоящее время сроки прекращения нереста дрейссены в верхневолжских водохранилищах приближаются к таковым в южных водоемах. Серьезной угрозой экосистеме Иваньковского водохранилища, связанной с климатическими изменениями, может стать усиление процесса эвтрофикации.

В целом популяция дрейссены (взрослые моллюски + велигеры) играет значительную роль в процессе самоочищения водохранилища.

Ключевые слова: Иваньковское водохранилище, инвазивный вид, *Dreissena polymorpha*, велигеры, численность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-147-154

EDN: ZIDJXD

Многие исследования (Антонов, 2000, 2008; Бурлакова, 1998; Дрейссена ..., 1994; Дрейссениды, 2013; Травина и др., 2020; Травина, 2023; Дудакова, Светов, 2021), связанные с распространением инвазивного вида *Dreissena polymorpha* (Pallas) в различных водных объектах показали, что южный моллюск-вселенец обладает высокой плодовитостью и мощными адаптивными способностями, позволяющими ему формировать значительные популяции и расширять ареал, заселяя новые местообитания. Основными факторами, определяющими распространение и плотность популяций дрейссены, являются температура воды, уровень pH, концентрации кислорода и кальция. Установлено, что моллюск не переносит даже умеренной гипоксии, может обитать при температуре окружающей среды в пределах 0-30°C, а при температуре менее 10°C его рост и развитие прекращаются (Karatajev et al., 1998, 2007, 2010). В местах скопления моллюска меняется структура сообществ донных организмов и формируются специфические биоценозы *Dreissena polymorpha*, улучшается качество воды в связи с ее фильтрационной деятельностью. Результаты изучения дрейссены и ее личиночной стадии, как важных компонентов планктонных и донных сообществ Иваньковского водохранилища, отражены в ряде публикаций (Лазарева и др., 2014; 2018; Перова и др., 2018; Столбунова, 2013), где уделено внимание количественным характеристикам развития личиночной стадии, ее пространственного распределения в водоеме, а также роли велигеров в структуре популяции зоопланктона.

В настоящее время в меняющихся климатических условиях важно дальнейшее изучение особенностей жизнедеятельности *Dreissena polymorpha* и ее личиночной стадии в Иваньковском водохранилище, что может послужить дополнением к имеющимся сведениям по экологии этого южного моллюска и его роли в экосистеме водоема.

Цель наших исследований – оценить уровень развития популяции дрейссены речной, а также рассмотреть сезонную динамику численности и пространственного распределения велигеров в Иваньковском водохранилище в 2018-2022 гг.

Материалы и методы

Для изучения локальных поселений дрейссены, многолетней динамики ее численности и биомассы, а также размерного состава популяции в 2018-2022 гг. в течение вегетационных периодов (май-июль-октябрь) был собран материал в четырех плесах Иваньковского водохранилища – Верхневолжском, Средневолжском, Нижневолжском и Шошинском в районах затопленной поймы с глубиной 3-4 м и грунтами, представленными заиленным песком или песком с примесью гальки и ракушечника; в глубоководной зоне водохранилища на иловых биотопах дрейссена речная не встречалась, что согласуется с результатами исследований других авторов (Перова и др., 2018).

Для отбора проб зообентоса использовали дночерпатель Петерсена с площадью захвата 1/40 м², по 2 выемки грунта на каждой станции, пробы промывали через газ № 23. Для получения сравнительных данных работы по сбору материала проводились в одних и тех же районах в синхронные периоды наблюдений. С учетом недостаточной уловистости дночерпателя (случайность попадания или непадения на скопления дрейссены) дополнительно моллюсков собирали с помощью драги – протяжки с катера на заданной глубине. Численность дрейссены определяли подсчетом особей в каждой пробе с перерасчетом на единицу площади (1 м²). На основании литературных данных (Бурлакова, 1998; Протасов, 2008) промером раковин моллюсков были определены размерно-возрастные группы. Параллельно, включая глубоководные участки, отбирали зоопланктон сетью Джели из газ-сита № 49 от дна до поверхности, все пробы фиксировались в 4% формалине; всего было собрано 255 проб зоопланктона и 273 зообентоса. Сбор и камеральная обработка материала осуществлялись по общепринятым методикам (Методические ..., 1983).

Следует отметить, что в задачи исследования не входило специальное изучение личинок дрейссены с идентификацией стадий их развития от D-образного велигера до педивелигера; учитывалось общее количество личинок как часть планктонного сообщества. Подсчет численности велигеров в пробах зоопланктона, выявление их сезонной и межгодовой динамики были необходимы при оценке состояния популяции дрейссены речной в Иваньковском водохранилище, поскольку расселение и существование этого моллюска в целом обусловлено процессом размножения.

Результаты и обсуждение

Установлено, что в Иваньковском водохранилище в настоящее время обитает дрейссена речная, а бугская дрейссена не обнаружена (Перова и др., 2018). Это обусловлено тем, что вода в водохранилище характеризуется как слабоминерализованная, а бугская дрейссена менее устойчива к воде с низкой минерализацией по сравнению с речной дрейссеной, т.е. их расселение в пресные водоемы лимитируется содержанием в водной среде кальция, что доказано экспериментально (Мартемьянов, 2013). Низкая минерализация воды стала определяющим фактором развития в Иваньковском водохранилище и дрейссены речной, количественные показатели которой значительно отличаются от таковых в других волжских водохранилищах, например, в Рыбинском, где численность дрейссены полиморфной с единицы площади достигала 3050 экз./м², а биомасса – 3806.87 г/м² (Пряничникова, 2012), в то время как в Иваньковском водохранилище аналогичные показатели в среднем на порядок ниже.

Поселения дрейссены речной в Иваньковском водохранилище отмечены на глубине 3.0-4.0 м, которая по результатам собственных многолетних наблюдений была определена как зона обитания моллюска. На основе типизации хорологической структуры поселений дрейссены (Протасов, 2008), были выявлены их преобладающие типы – «щетки» и друзы, характеризующиеся одно- и двухъярусным прикреплением как к субстрату (камни, крупные моллюски, древесные остатки), так и друг к другу. Биомасса дрейссены в таких образованиях достигала сотен граммов на единицу

площади (m^2). Максимальные для Иваньковского водохранилища значения численности и биомассы моллюска были получены в Верхневолжском плесе, где в среднем за вегетационный период в разные годы эти показатели варьировали от 167 до 780 экз./ m^2 и от 163.5 до 492.6 г/ m^2 соответственно. В других волжских плесах наблюдалась большая межгодовая изменчивость показателей численности и биомассы дрейссены: в Средневолжском – от 28 до 438 экз./ m^2 и от 18.8 до 336.2 г/ m^2 , в Нижневолжском – от 18 до 689 экз./ m^2 и от 15.5 до 91.3 г/ m^2 . В мелководном Шошинском плесе с мощными иловыми отложениями и летним дефицитом растворенного кислорода в придонном слое воды развитие дрейссены было незначительным – 51 экз./ m^2 и 51.4 г/ m^2 в среднем за период наблюдений. В отдельные годы в весенний и летний сезоны в Шошинском плесе в уловах отмечены единичные экземпляры дрейссены или наблюдалось полное ее отсутствие. С 2018 года численность популяции дрейссены речной в водохранилище возрастала и к 2020-2021 гг. достигла 84-88% от общего количества моллюсков; в 2022 году произошло небольшое снижение до 71% (рис. 1), при этом доля дрейссены в общей биомассе моллюсков за период наблюдений увеличилась за счет большего числа особей 3-4-летнего возраста размером 20-25 мм.

Летом (июль), в период наиболее благоприятных условий для роста и размножения дрейссены, в ее локальных поселениях по всему водохранилищу отмечалось до 6-7 размерных групп. В основном моллюски в сборах были представлены молодыми особями от стадии осевших велигеров до размера 5 мм и размерными группами от 10 до 30 мм, что свидетельствовало о ежегодном пополнении популяции молодью и ее росте. Исключением был жаркий 2021 год, когда в летних пробах отсутствовали ювенильные формы, а также годовики по 6-10 и 10-15 мм соответственно (рис. 2), при этом в планктоне численность велигеров достигала 11.0 ± 2.50 тыс.экз./ m^3 в среднем по водохранилищу, что можно объяснить более поздними сроками оседания поствелигеров и дальнейшего роста моллюсков. Наличие в вегетационный период следующего 2022 года размерных групп дрейссены от ≤ 5 мм и до особей 10-15 мм свидетельствует об их успешной «зимовке». За время наблюдения в незначительном количестве зафиксированы моллюски размером от 30 мм в возрасте 5 лет и более: особи такой размерно-возрастной группы были отмечены только в 2018 и 2022 гг., их доля в диапазоне зафиксированных размерных групп составила менее 3% (рис. 2). В некоторых районах водохранилища были обнаружены танатоценозы, в которых основная масса отмерших моллюсков как раз и была размером 30-32 мм. Подобная картина элиминации моллюсков старших возрастных групп наблюдалась в Рыбинском (Пряничникова, 2012), Каневском (Протасов, 2008) и Саратовском (Антонов, 2000) водохранилищах, чему, возможно, способствует недостаток биотических и абиотических компонентов окружающей водной среды, необходимых для обеспечения жизнедеятельности крупных моллюсков.

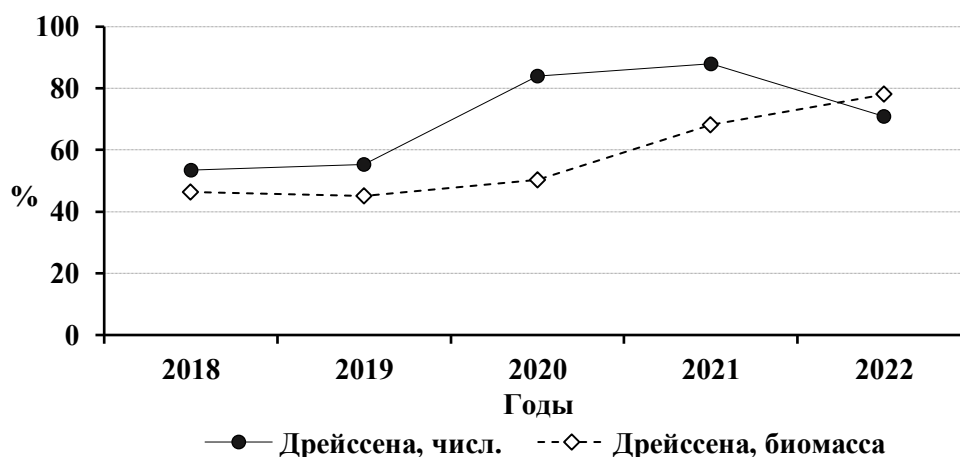


Рис. 1. Доля *Dreissena polymorpha* (%) в общей численности и биомассе моллюсков за период 2018-2022 гг.

Известно, что процесс размножения дрейссены продолжается на протяжении всего вегетационного периода, что обусловлено различными сроками полового созревания особей

в популяции и колебаниями температуры в зоне обитания моллюска, т.к. при температуре ниже оптимальной моллюск заканчивает нерест. В Ивановском водохранилище за время наблюдений велигеры встречались с мая по октябрь. Оптимальные значения температуры воды для размножения дрейссены отмечались в III декаде мая в Верхневолжском и Шошинском плесах ежегодно кроме 2020 г.; в Средневолжском плесе – в 2018-2019 гг.; в Нижневолжском плесе – только в 2018 г. Максимальными значениями численности велигеров в период нереста дрейссены в среднем по водохранилищу отличался 2018 год за счет Нижневолжского и Шошинского плесов, где их численность составляла 13.5 ± 0.71 и 15.2 ± 1.07 тыс.экз./м³ соответственно (табл.). Отсутствие в мае личинок дрейссены на участках с низкими температурами объясняется сдвигом начала нереста моллюска на более поздние сроки (июнь), а вот причины отсутствия велигеров весной на участках поселений дрейссены при оптимальных температурах (12.0-15.3°C), показателях растворенного кислорода (в среднем 7.0 ± 0.22) и рН (в среднем 7.86 ± 0.20) в придонном слое воды пока неясны.

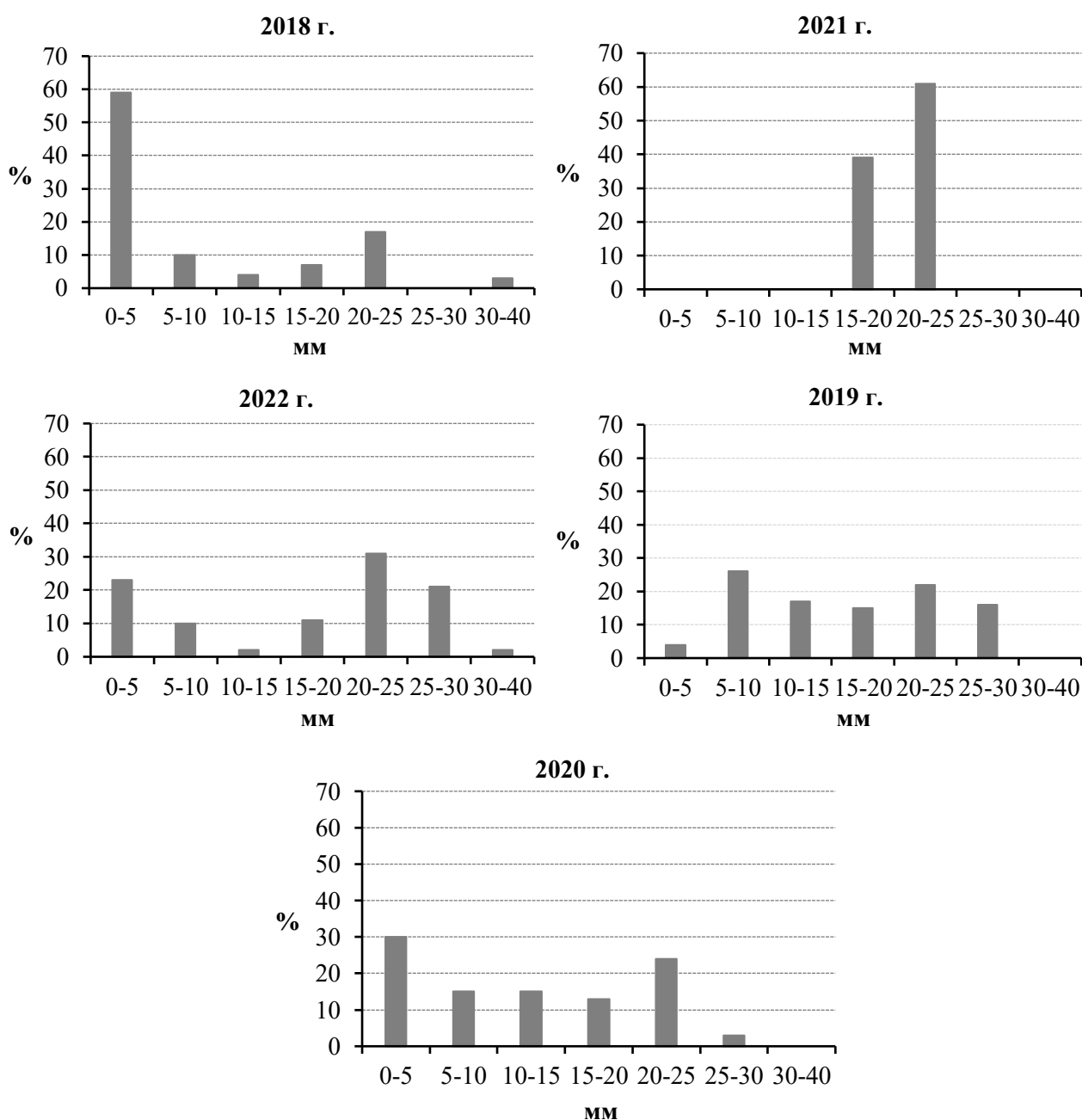


Рис. 2. Доля размерных групп *Dreissena polymorpha* по годам (лето), %.

Таблица. Динамика численности велигеров (N тыс.экз./м³) в период нереста *Dreissena polymorpha* (весна) в среднем по плесам.

Год	Плесы							
	Верхневолжский		Средневолжский		Нижневолжский		Шошинский	
	T _{дно} °C	N	T _{дно} °C	N	T _{дно} °C	N	T _{дно} °C	N
2018	16.6	–	15.7	3.8 ± 0.67	13.4	13.5 ± 0.71	16.9	15.2 ± 1.07
2019	14.9	–	13.7	–	11.4	0.4 ± 0.0	15.8	8.6 ± 1.43
2020	11.5	–	11.1	–	11.1	–	11.0	–
2021	15.3	–	11.0	0.1 ± 0.0	10.7	–	15.1	–
2022	12.7	–	11.3	–	11.1	–	12.0	–

Примечания к таблице: прочерк – организмы не обнаружены.

По нашим наблюдениям, в июле велигеры дрейссены встречались на всей акватории водохранилища, межгодовая динамика их численности в пространственном (горизонтальном) отношении показала, что максимальных значений в среднем по водохранилищу (от 7.5 ± 1.71 до 27.7 ± 6.30 тыс.экз./м³) она достигала в литорали с глубинами до 2.5 м., и лишь в июле 2022 года численность велигеров преобладала в пелагиали – 16.1 ± 3.53 (рис. 3).

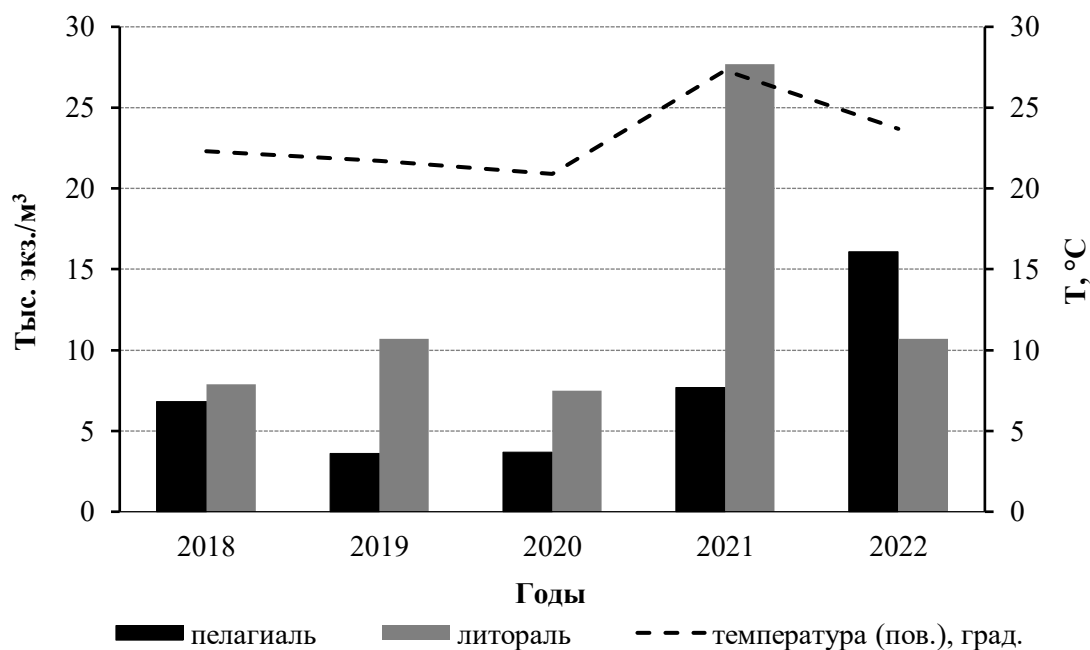


Рис. 3. Распределение численности велигеров между пелагиалью и литоралью за период 2018-2022 гг.

Сезонная динамика численности велигеров соответствовала общей закономерности развития дрейссены: в летний период при хорошем прогреве воды она достигала максимальных за вегетационный период значений, весной (исключение – 2018 г.) и осенью численность велигеров была невысокой. В волжских плесах водохранилища межгодовые колебания численности личинок дрейссены в летний период достигали 2-87 раз, в Шошинском плесе – 2-8 раз, что зависело от численности моллюсков и их репродуктивного процесса в локальных поселениях, погодных условий конкретного года наблюдений, а также от стабильно образующегося в водохранилище летнего недостатка растворенного кислорода до $2.0-0.6$ мгО₂/дм³ (Лазарева и др., 2013, 2018; Гречушников и др., 2023) в придонном слое воды. К концу вегетационного периода (в сентябре – начале октября) со снижением придонной температуры нерест дрейссены в водохранилище прекращался. В среднем

за вегетационный период в разные годы доля ее личинок в общем количестве планктонных организмов достигала 6-15%.

По имеющимся в литературе данным, в некоторых водоемах северной части Европейской России сдвиг сроков окончания нереста дрейссены на конец октября-ноябрь связан с потеплением климата. По материалам, опубликованным Росгидрометом (Доклад ..., 2023), потепление наблюдается на всей территории России, скорость роста температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) с 1976 по 2022 гг. в центре и на севере европейской части России составил за год 0.53°C (зимой – 0.66°C , весной – 0.42°C , летом и осенью – по 0.52°C). Например, в Рыбинском водохранилище (Лазарева и др., 2013) окончание нереста дрейссены происходит в октябре, что близко к таковому в южных регионах. Результаты наших наблюдений показали, что к концу октября (III декада) 2018 и 2020 гг. в Иваньковском водохранилище велигеры отмечены в незначительном количестве – не более 0.5 ± 0.01 тыс. экз./ м^3 только в Нижневолжском и Шошинском плесах (рис. 4).

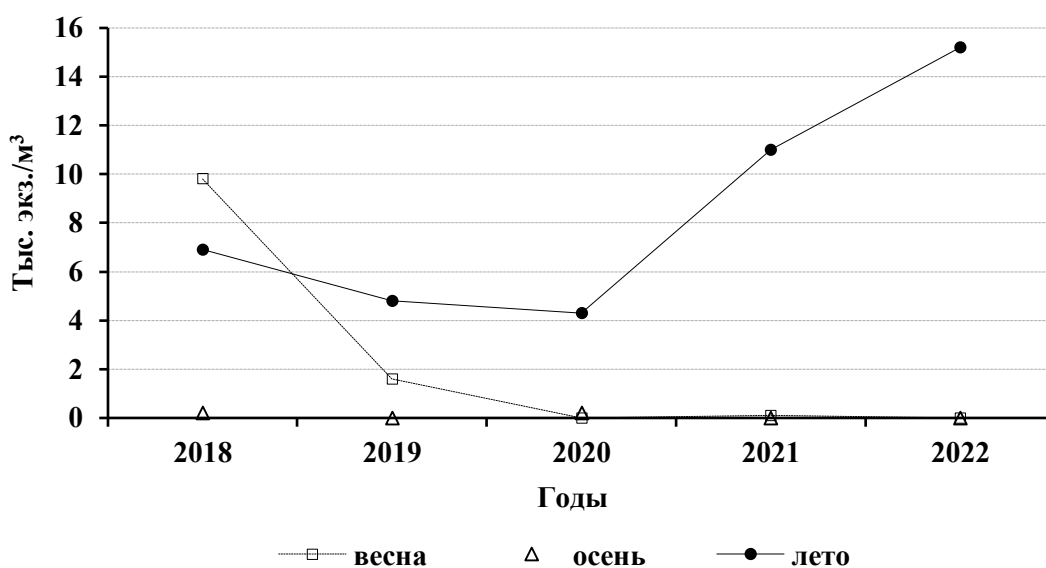


Рис. 4. Распределение численности велигеров дрейссены по сезонам за период 2018-2022 гг.

Выводы

Южный инвазивный вид *Dreissena polymorpha* (Pallas) в Иваньковском водохранилище вполне успешно адаптировался и существует длительное время в условиях низкой минерализации воды и стабильно формирующегося летнего дефицита растворенного кислорода в придонных горизонтах воды, который обусловил смещение зоны обитания дрейссены на глубину до 4 м; в иловых биотопах моллюск не встречался. На расширение ареала обитания южного вида-вселенца *D. polymorpha* до водоемов северных регионов влияет потепление климата, которое удлиняет процесс размножения моллюска. В настоящее время сроки прекращения нереста дрейссены в верхневолжских водохранилищах приближаются к таковым в южных водоемах. Серьезной угрозой экосистеме Иваньковского водохранилища, связанной с климатическими изменениями, может стать усиление процесса эвтрофикации. В таких условиях огромное значение имеет фильтрационная деятельность дрейссены, приводящая к деэвтрофикации водоема, которая снижает концентрацию в воде взвешенных органических веществ.

По результатам полевых исследований ранее мы дали оценку фильтрационной активности моллюска и сделан расчет за 2018-2021 гг., показавший, что обитающие в Иваньковском водохранилище дрейссениды способны профильтровать до 1.3 его объема за вегетационный период (Федорова, Полянин, 2023). Велигеры дрейссены также являются фильтраторами и участвуют в снижении концентрации кормового сестона в воде наряду с другими фильтраторами планктона. В целом популяция дрейссены (взрослые моллюски + велигеры) играет значительную роль в

процессе самоочищения водохранилища.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы госзадания Института водных проблем РАН № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов П.И. 2000. Особенности формирования и динамика популяции моллюска *Dreissena* в Саратовском водохранилище // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 2. № 2. С. 268-273.
- Антонов П.И. 2008. Биоинвазийные организмы в водоемах Средней Волги. Результаты научных исследований // Самарская Лука. Т. 17. № 3 (25). С. 500-517.
- Бурлакова Л.Е. 1998. Экология моллюска *Dreissena polymorpha* (Pallas) и его роль в структуре и функционировании водных экосистем. Автореф. дисс. ... к.б.н. Минск. 18 с.
- Гречушникова М.Г., Ломова Д.В., Ломов В.А., Кременецкая Е.Р., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Федорова Л.П. 2023. Пространственно-временные различия гидроэкологических характеристик Ивановского водохранилища в годы с различными погодными условиями // Водные ресурсы. Т. 50. № 1. С. 81-89.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. 2023 [Электронный ресурс: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения 03.02.2024)].
- Дрейссена, *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae). 1994 // Систематика, экология и практическое значение. М.: Наука. 240 с.
- Дрейссениды. 2013 // Эволюция, систематика, экология: Лекции и материалы докладов II Международной школы-конференции, 11-15 ноября 2013 г., Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина / Ред. А.В. Крылов, Е.Г. Пряничникова. Ярославль: Канцлер. 129 с.
- Дудакова Д.С., Светов С.А. 2021. Инвазия дрейссены полиморфной *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) в водоем бассейна Ладожского озера и биохимическая роль вида-вселенца // Российский журнал биологических инвазий. № 1. С. 71-81.
- Лазарева В.И., Копылов А.И., Соколова Е.А., Пряничникова Е.Г. 2013. Велигеры дрейссенид в трофической сети планктона водохранилищ Волги // Дрейссениды: эволюция, систематика, экология. Лекции и материалы докладов II Международной школы-конференции. Ярославль: Канцлер. С. 18-35.
- Лазарева В.И., Соколова Е.А., Столбунова В.Н. 2014. Велигеры дрейссенид в зоопланктоне водохранилищ Верхней Волги // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 23. № 2. С. 40-49.
- Лазарева В.И., Степанова И.Э., Цветков А.И., Пряничникова Е.Г., Перова С.Н. 2018. Кислородный режим водохранилищ Волги и Камы в период потепления климата: последствия для зоопланктона и зообентоса // Труды ИБВВ РАН. Вып. 81 (84). С. 46-80.
- Мартмянов В.И. 2013. Пороговые концентрации катионов во внешней среде, определяющие границы распространения *Dreissena polymorpha* и *Dreissena bugensis* в пресных водоемах // Дрейссениды. Эволюция, систематика, экология: Лекции и материалы докладов II Международной школы-конференции. Ярославль: Канцлер. С. 80-83.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. 1983. Л.: ГосНИОРХ. 33 с.
- Перова С.Н., Пряничникова Е.Г., Жгарева Н.Н., Зубишина А.А. 2018. Таксономический состав и обилие макрозообентоса волжских водохранилищ // Труды ИБВВ РАН. Вып. 82 (85). С. 52-65.
- Протасов А.А. 2008. Из опыта исследований популяций и сообществ дрейссены // Дрейссениды: эволюция, систематика, экология. Лекции и материалы докладов I Международной школы-конференции. Ярославль: ООО «Ярославский печатный двор». С. 9-23.
- Пряничникова Е.Г. 2012. Структурно-функциональные характеристики дрейссенид Рыбинского водохранилища. Автореф. дисс. ... к.б.н. Борок. 21 с.
- Столбунова В.Н. 2013. Велигеры дрейссены в верхневолжских водохранилищах: многолетняя и сезонная динамика численности, распределение // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 71-80.
- Травина О.В. 2023. Инвазионный вид *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) на Европейском севере: популяционная экология. Филогеография и роль в биоценозах. Автореф. дисс. ... к.б.н. Архангельск. 23 с.
- Травина О.В., Беспалая Ю.В., Аксенова О.В., Шевченко А.Р., Соколова С.Е., Кошелева А.Е., Овчинников Д.В. 2020. Распространение и плотность популяций *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) в периферийной части ареала // Российский журнал биологических инвазий. Т. 13. № 1. С. 61-71.
- Федорова Л.П., Полянин В.О. 2023. Оценка фильтрационной активности *Dreissena polymorpha* – южного вида-вселенца Ивановского водохранилища // Аридные экосистемы. Т. 29. № 3 (96). С. 148-155.

- [*Fedorova L.P., Polyinin V.O.* 2023. Evaluation of the Filtration Activity of the *Dreissena Polymorpha* Southern Invasive Species for the Ivankovo Reservoir // *Arid Ecosystems*. Vol. 13. No. 3. P. 363-369.]
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K.* 1998. Physical Factors that Limit the Distribution and Abundance of *Dreissena polymorpha* (Pall.) // *Journal of Shellfish Research*. Vol. 17. No. 4. P. 1219-1235.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K.* 2010. *Dreissena polymorpha* in Belarus: History of Spread, Population Biology and Ecosystem Impacts // *The Zebra Mussel in Europe* / Eds. G. Van der Velde, S. Rajagopal, A. Bij de Vaate. Backhuys Publishers, Leiden, Margraf Publishers, Weikersheim. P. 101-112.
- Karatayev A.Y., Padilla D.K., Minchin D., Boltovskoy D., Burlakova L.E.* 2007. Changes in Global Economies and Trade: the Potential Spread of Exotic Freshwater Bivalves // *Biological Invasions*. Vol. 9. No. 2. P. 161-180.

УДК 581.132.1

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОЗЕР ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ХЛОРОФИЛЛА *a*

© 2024 г. Г.Ц. Цыбекмитова, Н.А. Ташлыкова

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН
Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, д. 16а. E-mail: gazhit@bk.ru*

Поступила в редакцию 27.12.2023. После доработки 01.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

В статье проведена оценка состояния озер Юго-Восточного Забайкалья. Формирование гидрохимического и гидробиологического режима водоемов исследуемого района происходит в условиях полуаридного климата. Имеющие место циклические колебания климата с периодичностью 27-35 лет вызывают последовательное их наполнение и высыхание. Данные работы проведены в переходный период между маловодными и многоводными годами. В исследовании рассмотрены абиотические факторы среды и концентрация хлорофилла *a* различных отделов фитопланктона, таких как зеленые, криптофитовые, диатомовые водоросли и цианобактерии. Работы проведены с помощью погружного зонда FluoroProbe (bbe Moldaenke GmbH, Германия). Установлено, что отмечаемые флуктуации уровня режима озер оказывают воздействие на абиотические показатели, обуславливающие изменение содержания хлорофилла *a* фитопланктона. Проведенный методом главных компонент анализ показал, что содержание хлорофилла зеленых водорослей зависит от содержания калия и натрия, гидрокарбонатов и хлоридов. Содержание хлорофилла цианобактерий зависит от концентраций кальция и магния. Содержание хлорофилла криптофитовых водорослей зависит от глубины водоемов. Таким образом, изменение уровня воды в озерах влияет на гидрохимический состав, который обуславливает структуру сообществ фитопланктона. Следовательно, изменения абиотических условий, оказывая воздействие на развитие первичных продуцентов, проявляются в изменении пигментного состава фитопланктона. В настоящее время большинство исследованных водоемов проходит стадию мезотрофного уровня своего развития.
Ключевые слова: содовые озера, флуоресцентный метод, хлорофилл *a*, индекс Карлсона, метод главных компонент.

EDN: ZSIKQQ

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-155-165

Соленые озера Юго-Восточного Забайкалья относятся к Амурскому водосборному бассейну и Торейской бессточной области. Большая часть рассматриваемых озер сосредоточена в пределах Цасучейской впадины, расположенной в среднем течении реки Онон и простирающейся от границы с Монголией на север в пределах 100-110 км (Власов и др., 1961).

Формирование гидрохимического и гидробиологического режима водоемов исследуемого района происходит в условиях полуаридного климата. Циклические колебания климатических условий вызывают периодическое наполнение и высыхание озер. С климатическими флуктуациями связаны морфометрические характеристики озер, такие как уровень, площадь водного зеркала и объем воды (Курганович, Носкова, 2015; Yang et al., 2016; Носкова и др., 2019). На данной территории в условиях повышенной аридности и крайней континентальности климата отмечены внутривековые циклы продолжительностью 27-35 лет (Баженова, 2013; Давыдова, 2022). Отмечено, что в засушливые годы самые крупные Торейские озера (Зун-Торей и Барун-Торей) почти полностью высохли трижды: в 1903-1904, 1921-1922 и 1944-1947 гг. В дальнейшем, в 1962-1963 гг., озера имели максимальное наполнение. В 1982 году их водное зеркало достигло минимума без высыхания. В последующем началось наполнение озерной котловины, продолжавшееся до 1998 г. (Замана, Вахнина, 2014; Обуязов, 2015). С 1999 года начался спад уровня, который продолжался до 2014 года и завершился полным высыханием оз. Барун-Торей, а с 2018 года по настоящее время полностью высохло оз. Зун-Торей.

Соленые озера занимают примерно 44% объема и 23% площади всех озер на Земле (Messenger et al., 2016; Wurtsbaugh et al., 2017). Большинство соленых озер встречаются преимущественно в бессточных бассейнах аридных и полуаридных зон. При исследовании минеральных озер, в т.ч. соленых озер Восточного Забайкалья, большое внимание уделяется их гидрологическому и гидрохимическому состоянию, которые отражаются на биоразнообразии экосистем (Dulmaa, 1966; Кравцова, 1989; Содовые озера ..., 1991; Brack, Frank, 1998; Wen et al., 2005; Williams, 1998; Hammer, 1986; Comin, Alonso, 1988; Guerrero, Castro, 1996; Балущкина и др., 2007; Алимов, 2008; Zheng, Liu, 2009; Kuklin et al., 2013; Yan, Zheng, 2015; Tashlykova et al., 2018; Голубков и др., 2018; Afonina, Tashlykova, 2019, 2023; Bazarova et al., 2019; Борзенко, 2020). Исследования, связанные с оценкой экологического состояния континентальных соленых озер по хлорофиллу фитопланктона, немногочисленны, и большинство из них связано с морскими экосистемами (Leboulanger et al., 2002; Liu et al., 2012; Hu et al., 2014; Barnes, Wurtsbaugh, 2015; Garrido et al., 2019; Никулина, Голубков, 2020; Zadereev et al., 2021). Тем не менее, велика индикаторная значимость растительных пигментов в мониторинге природных вод (Сиренко, 1988; Nürnberg, Shaw, 1998; Beutler et al., 2002; Ляшенко, 2004; Gregor, Maršálek, 2004; Jacquet et al., 2005; Сигарева, 2012; Makri et al., 2019; Quinlan et al., 2021; Mineeva, 2021).

Индикаторная возможность фотосинтетических пигментов планктона в содовых озерах степных континентальных территорий Восточной Сибири практически не исследована. Мы впервые проводим данные работы в переходный период между засушливыми и многоводными годами, которые наблюдаются в настоящее время на территории Восточного Забайкалья. Наполнение и высыхание озер изменяют абиотические условия их экосистем. Изменения факторов среды косвенно регулирует рост и развитие первичных продуцентов. В свою очередь изменение численности и видового разнообразия фитопланктона отражается на биологической продуктивности водоемов. При этом избыточное поступление органического вещества и биогенных элементов сказывается на уровне развития и потенциальной фотосинтетической активности фитопланктона.

Цель данной работы – определение экологического состояния соленых озер Юго-Восточного Забайкалья в переходную фазу маловодных и многоводных лет на основе исследований хлорофилла *a* фитопланктона.

Материалы и методы

1. Отбор проб. Материалы натурных исследований получены в июле 2022 года во время комплексной экспедиции на озера Онон-Борзинской аквальной системы. Объектами исследования были озера Шварцевское, Борзинское, Куджартай, Байн-Цаган, Укшинда, Харганаш, Шелута (рис. 1).

Отбор поверхностных проб проводили как в центральной, так и в литоральной зонах водоемов. В центральной зоне более глубокого оз. Байн-Цаган пробы были отобраны по горизонтам: поверхность – зона прозрачности и придонная зона. Глубину определяли лотом, прозрачность – диском Секки. Одновременно в местах отбора проб измеряли физико-химические параметры воды с помощью многоканального зонда мониторинга EXO2 YSI Inc. (рН, минерализация, кислород, температура воды). Макрокомпонентный анализ водных проб выполнен в аттестованной лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН.

2. Метод исследования. Для решения поставленной цели использовали многоканальный погружной спектрофлуориметр FluoroProbe (bbe Moldaenke GmbH, Германия), применяемый для определения хлорофилла фитопланктона *in situ* и *in vivo* (Beutler et al., 2002; Gregor, Maršálek, 2004; Garrido et al., 2019; Zadereev et al., 2021). В связи с тем что большинство исследованных озер имело небольшую глубину, измерения проводили с использованием кварцевой кюветы объемом 30 мл. Каждое измерение проводили в течение 60 с, при этом прибор фиксировал до 15 значений сигналов флуоресценции. При анализе данных брали среднее этих величин. Образцы систематически адаптировались к темноте в течение 20 минут перед измерениями (Beutler et al., 2002). В работе были использованы заводские калибровки. Общая концентрация хлорофилла *a* и эквивалентные его концентрации для основных представителей каждого отдела фитопланктона (цианобактерии, диатомовые, криптофитовые и зеленые водоросли) учитывалась с поправкой на «желтое вещество» и рассчитывалась с помощью программного обеспечения FluoroProbe®. Пик флуоресценции хлорофилла *a* при возбуждении длиной волны 525 нм связан с пигментом ксантофиллом фукоксантином, присутствующим у Bacillariophyta (диатомовые водоросли), или перидинином,

типичным для Dinophyta (динофлагелляты). Возбуждение длиной волны 570 нм фикоэритрина, который может присутствовать как у Cryptophyta (криптофитовые), так и Cyanobacteria (цианобактерии), дает пик флуоресценции хлорофилла *a* у этих групп. Вспомогательный пигмент хлорофилла – фикоцианин цианобактерий, который возбуждается при длине волны 610 нм. По значениям «желтого вещества» можем судить о количестве взвешенного органического вещества (Zadereev et al., 2021).

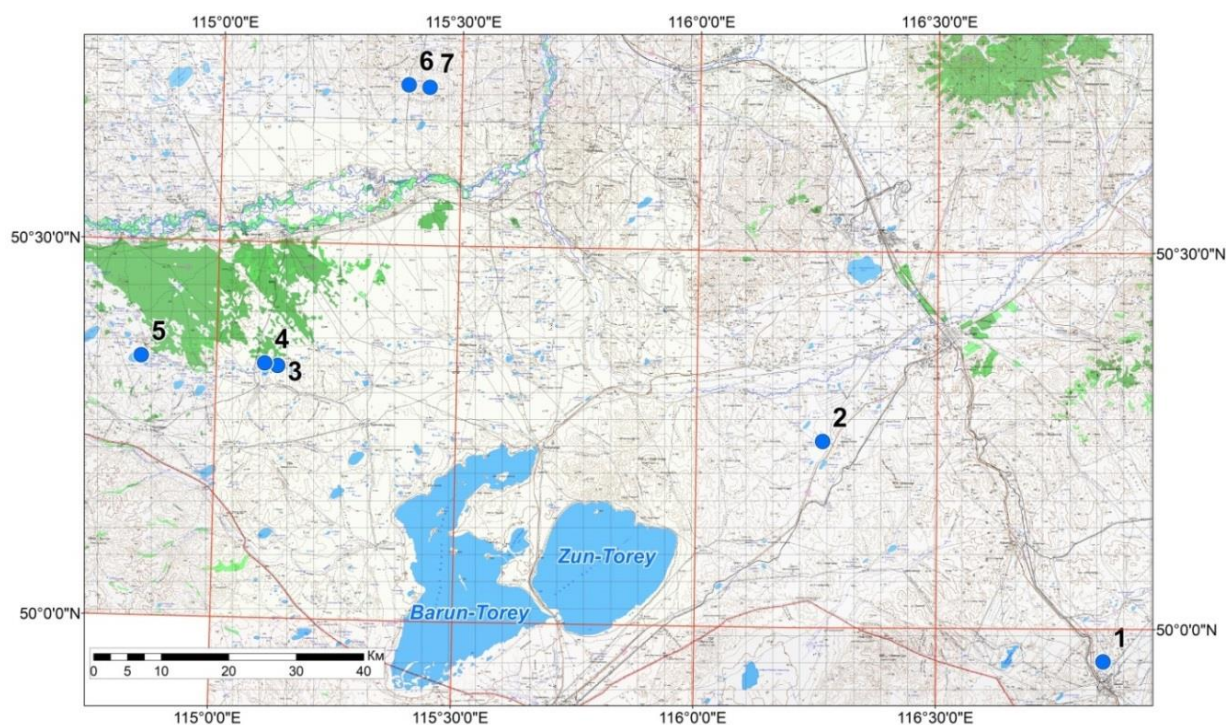


Рис. 1. Карта расположения озер. Условные обозначения: 1 – оз. Шварцевское, 2 – оз. Борзинское, 3 – оз. Куджертай, 4 – оз. Баин-Цаган, 5 – оз. Укшинда, 6 – оз. Харганаш, 7 – оз. Шелута.

3. *Трофическое состояние.* Индекс трофического состояния водоемов (TSI) рассчитывали как средний показатель по следующей формуле (Адамович, 2021):

$$TSI = \frac{TSI_{TP} + TSI_{Chl\ a} + TSI_{SD}}{3},$$

где TSI по содержанию общего фосфора: $TSI_{TP} = 14.427 \ln(P_{общ}) + 4.1504$;

TSI по содержанию Chl *a*: $TSI_{Chl\ a} = 9.7552 \ln(Chl\ a) + 30.913$,

а TSI по значению прозрачности водного столба: $TSI_{SD} = -14.388 \ln(SD) + 59.909$.

4. *Статистическая обработка данных* произведена с помощью пакета программ Microsoft Excel 2010. Физико-гидрохимические данные (*h*, SD, O₂, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, TP, Σионов) и концентрация хлорофилла (ХлChl – зеленых, ХлCyan – цианобактерий, ХлVac – диатомовых, ХлCgrup – криптофитовых, ХлОбщий – суммарное содержание хлорофилла *a*) обрабатывались многомерным статистическим методом главных компонент (PCA, англ. «principal components analysis»; Реброва, 2002) в программной среде XLSTAT (2023). Абсолютное значение нагрузки 0.7 и выше принимается за существенную связь, а ниже 0.7 предполагает отсутствие связи (Джефферс, 1981).

Результаты и обсуждение

1. *Физико-химическая характеристика озер.* Основные характеристики абиотических параметров озер, полученные при проведении исследований в 2022 году, приведены в таблице 1.

Большинство озер имеет блюдцеобразную форму. Они большей частью мелководны. Средняя глубина озер в 2022 году составляла 0.43 ± 0.32 м. Исключением являлось оз. Баин-Цаган, глубина

которого доходила до 4.5 м. В данный водоем впадает ручей. Остальные озера на момент исследования находились в стадии наполнения.

Согласно классификации С.В. Борзенко (2020), обследованные озера по химическому составу относятся к гидрокарбонатным водоемам I подтипа (оз. Баин-Цаган и Куджартай), II подтипа (оз. Шулута и Харганаш) и III подтипа (оз. Шварццвское, Укшинда и Борзинское).

Таблица 1. Некоторые физико-химические показатели содовых озер в 2022 г.

Озера	h	SD	O ₂	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄ ²⁻	TP	∑ ионов
Шварццвское	0.2	0.2	14.4	9.2	31.1	761	6536	104	1552	7239	5165	3.4	22075
Борзинское	0.5	0.5	1.9	9.3	2.2	6.6	53116	105	3587	71733	3758	57.6	138541
Куджартай	0.1	0.1	2.3	9.6	2.0	13.4	112402	1494	26840	72830	4652	359.6	291612
Баин-Цаган	4.5	1.5	6.6	9.4	6.6	78.7	293	90.9	2686	1838	289	2.24	8789
Укшинда	0.3	0.3	7.4	9.5	2.8	73.8	5112	104	3220	4036	843	1.83	14954
Харганаш	0.5	0.2	8.6	9.2	10.3	149	851	115	416	496	1558	0.49	3652
Шелута	1.0	0.5	9.3	9.5	3.1	133	1728	187	1205	837	1688	1.09	6217

Примечания к таблице 1: h – глубина, м; SD – прозрачность, м; макрокомпонентный состав воды, мг/л; TP – концентрации общего фосфора, мг/л.

На исследуемой территории в связи с непостоянством водного режима наблюдается широкий диапазон значений общей минерализации озер от солоноватых до рассольных вод (3.7-291.6 г/л), с реакцией среды выше 9. По Венецианской системе данные водоемы относятся к олигогалинным (оз. Харганаш), мезогалинным (оз. Шелута, Баин-Цаган, Укшинда), полигалинным (оз. Шварццвское) и гипергалинным (оз. Борзинское, Куджартай). Минерализация оз. Борзинское в конце сухого климатического периода 1950 года соответствовала 75.5 г/л (Власов и др., 1961), а на пике сухого периода 2012 года возростала до 346.74 г/л (Gorlacheva et al., 2014). В настоящее время (в конце сухого и в начале влажного периода), несмотря на начало наполнения, соленость вод оз. Борзинское остается на высоком уровне.

Высокая минерализация отдельных озер наряду с высокой температурой (средняя для озер – $25.58 \pm 5.62^\circ\text{C}$) ограничивает интенсивность процессов насыщения воды кислородом из атмосферы. Среднее значение содержания кислорода в воде высокоминерализованных оз. Борзинское и Куджартай составило 2.1 ± 0.28 г/л. В водосборе оз. Куджартай выше береговой линии расположена сельскохозяйственная ферма.

2. *Содержание хлорофилла *a* в озерах.* Изменение объема воды в озерах влияет на условия обитания организмов, в т.ч. на развитие первичных продуцентов, приводит к смене видового состава гидробионтов и к изменению потоков энергии в трофических цепях экосистемы (Голубков и др., 2018). Выявлено, что по изменению содержания хлорофилла *a* можно предположить изменение структуры сообществ фитопланктона (Вес et al., 2011). В маловодный период в планктоне содовых озер рассматриваемой территории произошло сокращение видового богатства оксигенных фототрофов, в доминирующем комплексе установлено преобладание солеустойчивых и алкалифильных видов (таксонов), отмечено упрощение трофической структуры (Tashlykova et al., 2018). Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в исследованных содовых озерах в июле 2022 года представлено в таблице 2.

В оз. Шварццвское общая концентрация хлорофилла *a* сформирована из концентраций пигмента зеленых водорослей и цианобактерий. В литоральной зоне его концентрация представляется следующим образом (по мере убывания): цианобактерии (124.7 ± 4.7 мкг/л) → зеленые (43.1 ± 1.0 мкг/л). Не выявлен хлорофилл сообществ диатомовых и криптофитовых водорослей (табл. 2). По нашим данным (табл. 2), в озерах, где отсутствует хлорофилл цианобактерий, проявляется хлорофилл диатомовых водорослей. В работе J. Gregor и V. Maršálek (2004) отсутствие диатомовых водорослей связывается с угнетением их цианобактериями, которые выделяют токсичные вещества. В оз. Шварццвском преобладает хлорофилл цианобактерий. О преобладании

цианобактерий при падении уровня воды в субтропических водоемах указано в работе J. Yang с соавторами (2016).

В оз. Борзинское общая концентрация хлорофилла *a* небольшая и в основном обнаруживается в литоральной зоне, где представлена пигментами зеленых (6.0 ± 0.32 мкг/л) и небольшим количеством диатомовых водорослей (0.30 ± 0.11 мкг/л). Хлорофилл *a* центральной зоны озера представлен только пигментами диатомовых водорослей (табл. 2), что подтверждается результатами исследований планктона в работе N.A. Tashlykova и E.Y. Afonina (2023). Видовой состав микроводорослей в 2012 году также был представлен диатомовой водорослью *Cyclotella* sp. (Gorlacheva et al., 2014).

В оз. Куджартай пигменты фитопланктона в основном состоят из хлорофилла зеленых водорослей и цианобактерий. Содержание хлорофилла *a* цианобактерий намного меньше хлорофилла зеленых водорослей (табл. 2). Небольшую долю составляет спектр флуоресценции пигмента фикоцианина цианобактерий, так называемые несвязанные фикоцианины – 7.1 мкг/л. Хлорофилл *a* диатомовых и криптофитовых не обнаружен.

Таблица 2. Содержание хлорофилла *a* в центральной зоне соленых озер (мкг/л).

№	Озера	Содержание хлорофилла <i>a</i> различных отделов фитопланктона, $\mu\text{g L}^{-1}$				Общая концентрация хлорофилла <i>a</i> ХлОбщий
		зеленые ХлChl	цианобактерии ХлCyan	диатомовые ХлVac	криптофитовые ХлCrypt	
1	Шварцивское	39.0 ± 0.36	50.6 ± 0.86	0	0	89.6 ± 1.51
2	Борзинское	0	0	3.5 ± 0.1	0	3.5 ± 0.10
3	Куджартай	243.4 ± 7.3	4.1 ± 0.05	0	0	247.4 ± 7.2
4	Баин-Цаган	8.0 ± 0.02	2.11 ± 0.01	0	0.09 ± 0.01	10.2 ± 0.03
5	Укшинда	0	0	2.66 ± 0.3	0	2.66 ± 0.27
6	Харганаш	21.3 ± 0.21	9.9 ± 0.06	0	0	31.1 ± 0.31
7	Шелута	23.7 ± 0.09	0	4.8 ± 0.17	0	32.8 ± 0.05

Примечание к таблице 2: значения в таблице (39.0 ± 0.36) – среднее \pm ошибка.

В литоральной зоне оз. Баин-Цаган общее содержание хлорофилла *a* было выше, чем в центральной зоне (табл. 2), и соответствовало 16.4 мкг/л. Отмечено содержание хлорофилла зеленых и криптофитовых водорослей, а также цианобактерий. В поверхностных горизонтах и до границы зоны прозрачности хлорофилл диатомовых водорослей не обнаружен. На границе зоны прозрачности исчезает хлорофилл цианобактерий, а общее содержание хлорофилла *a* обусловлено хлорофиллом зеленых и криптофитовых водорослей и цианобактерий. В придонных условиях обитают зеленые и криптофитовые водоросли, в незначительном количестве – диатомовые и цианобактерии (табл. 2). В воде озера отмечается небольшое содержание взвешенного органического вещества – 3.2-4.0 мкг/л. Некоторые авторы (Kamennaya et al., 2019), исследуя происхождение осажденного органического углерода с помощью изотопного анализа, пришли к выводу, что уменьшение в воде взвешенного органического вещества происходит за счет свободных полисахаридов цианобактерий, способствующих осаждению биомассы с высоким содержанием углерода.

В оз. Укшинда, как в литоральной, так и в центральной зоне, концентрацию хлорофилла составляют пигменты диатомовых водорослей (табл. 2). Концентрация взвешенного органического вещества незначительная и соответствует 2.3 ± 0.01 мкг/л.

В оз. Харганаш выявлено, что суммарный спектр хлорофилла *a* складывается из хлорофилла зеленых водорослей и цианобактерий (табл. 2). Наибольшую долю из них составляет хлорофилл зеленых водорослей. Показатели хлорофилла практически не отличаются в обеих зонах озера.

Суммарная концентрация хлорофилла *a* в оз. Шелута в среднем соответствует 32.8 мкг/л; такой вклад вносит хлорофилл зеленых водорослей, а в литоральной зоне – цианобактерий. В центральной части озера не обнаружены пигменты цианобактерий и пигментный состав представлен хлорофиллом зеленых и диатомовых водорослей (табл. 2).

3. Трофическое состояние озер является одной из ключевых характеристик водного объекта,

наиболее адекватно отражающей уровень эвтрофирования природных вод (Yang et al., 2016; Адамович, 2021). Рассчитанный индекс трофического состояния озер по среднему содержанию хлорофилла *a* ($TSI_{chl\ a}$), прозрачности воды и содержанию общего фосфора показал изменение его значений от 35 до 56 ед. (рис. 2).

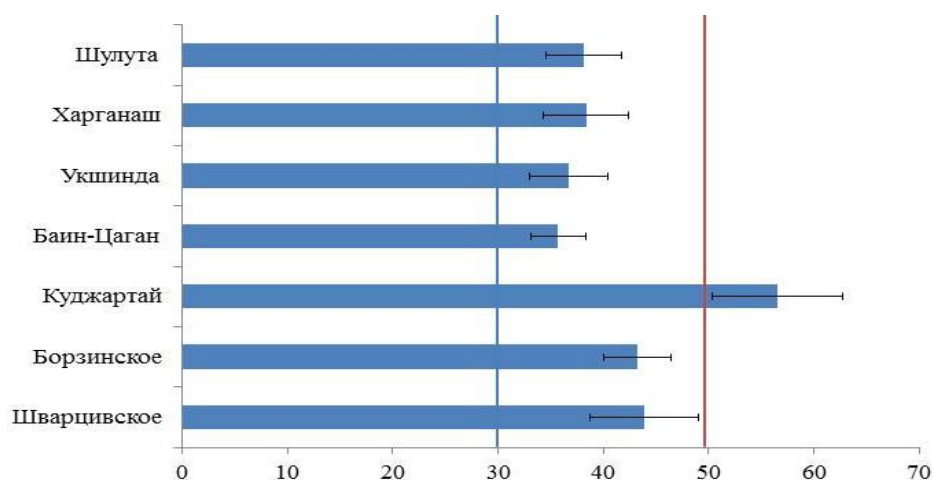


Рис. 2. Трофическое состояние озер. Условные обозначения: синяя вертикальная линия – переход между олиготрофным и мезотрофным, красная линия – переход между мезотрофным и эвтрофным состоянием озер.

Следовательно, согласно шкале Карлсона, в настоящее время экосистема оз. Куджартай находится в эвтрофной фазе, а остальные исследованные озера имеют мезотрофный уровень развития. Установлено, что, несмотря на низкий уровень воды и потерю среды обитания из-за высыхания, биомасса микроводорослей остается высокой (Tashlykova, Afonina, 2023) в основном за счет цианобактерий, а иногда процветает в условиях экстремальной засухи (Gordon et al., 2016; Van der Molen, Perissinotto, 2011). Из этого следует, что система может подвергаться смене режима при сохранении экологической функции в разные климатические фазы.

4. *Факторный анализ изменений концентраций хлорофилла *a* фитопланктона.* На основе массива данных 2022 года был проведен анализ методом главных компонент для выявления влияния ведущих факторов среды, определяющих изменение концентраций хлорофилла *a* фитопланктона в исследованных озерах. В результате были выделены оптимальные три фактора (компоненты), суммарный вклад которых составил 89.96% наблюдаемых вариаций (табл. 3). Другие факторы не рассматривались, т.к. их доля в общей дисперсии незначительна. Критерием выделения оптимального числа факторов служили собственные значения, являющиеся дисперсиями главных компонент.

Таблица 3. Величины собственных значений и накопления доли объясненной дисперсии по результатам анализа PCA (XLSTAT, 2023).

Параметры	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Собственные значения	8.81	4.86	2.53
Доля дисперсии, %	48.92	75.89	89.96

Примечание к таблице 3. Фактор 1 – ионы Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, Фактор 2 – ионы Ca и Mg, Фактор 3 – глубина места отбора проб (h).

Итоговая матрица факторных нагрузок дала нам представление о плеядной организации исходных абиотических (температура, содержание кислорода, кальция, магния, натрия, калия, гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов) и биотических (содержание Хл *a* в фитопланктоне) показателей и степени их связи с тем или иным главным фактором (компонентой). Наличие

существенной связи указывает на согласованное изменение исходных биотических и абиотических показателей под действием того или иного скрытого главного фактора (табл. 4).

Таблица 4. Факторные нагрузки переменных, характеризующие их связь с тремя главными компонентами PCA (XLSTAT, 2023).

Параметры	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
ХлChl	0.92	0.18	0.26
ХлCyan	-0.22	0.93	0.25
ХлBac	-0.14	-0.38	-0.77
ХлCryp	-0.31	-0.51	0.79
ХлОбщий	0.86	0.36	0.29
h	-0.39	-0.57	0.70
SD	-0.42	-0.62	0.58
O ₂	-0.66	0.63	0.10
pH	0.57	-0.51	-0.02
Ca	-0.38	0.87	0.29
Mg	-0.37	0.88	0.19
Na	0.98	0.00	0.02
K	0.95	0.04	0.20
HCO ₃	0.96	-0.01	0.220
Cl	0.83	-0.06	-0.14
SO ₄	0.55	0.72	-0.05
TP	0.98	0.02	0.17
∑ионов	0.98	-0.00	0.04

Примечания к таблице 4. Обозначения хлорофиллов водорослей: ХлChl – зеленых, ХлCyan – цианобактерий, ХлBac – диатомовых, ХлCryp – криптофитовых, ХлОбщий – суммарное содержание хлорофилла *a*. Абиотические факторы: h – глубина места отбора проб, SD – прозрачность по диску Секки, O₂ – растворенный кислород, Ca – ион кальция, Mg – ион магния, Na – ион натрия, K – ион калия, HCO₃ – гидрокарбонат-ион, Cl – хлорид ион, SO₄ – сульфат-ион, TP – концентрация общего фосфора, ∑ионов – минерализация.

Метод главных компонент позволил количественно оценить факторы среды, которые могут играть важную роль в функционировании фитопланктонного сообщества. С первой главной компонентой положительно связано содержание хлорофилла в зеленых водорослях (0.92) и общее его содержание в водоеме (0.86), содержание натрия (0.98), калия (0.84), гидрокарбонатов (0.96), хлоридов (0.83) и общее содержание ионов (0.98). Со второй главной компонентой положительно скоррелировано содержание хлорофилла цианобактерий (0.93), а также ионов кальция (0.87) и магния (0.88). С третьей главной компонентой отрицательно тесно связано содержание хлорофилла диатомовых (0.95) и положительно содержание хлорофилла криптофитовых водорослей (0.79) и глубина (0.70). Результаты анализа первых трех главных компонент анализа биотических и абиотических показателей обследованных озер представлены на рисунке 3.

Выводы

Настоящие исследования проведены в период завершения сухого года и в начале влажных лет. Экосистемы озер в начальную фазу наполнения характеризовались различной степенью минерализации (от соленых до рассольных вод). По содержанию хлорофилла *a* зеленых водорослей озера расположились в следующем порядке: Куджартай > Шварцивское > Шелута > Харганаш > Баин-Цаган. В озёрах Укшинда и Борзинское не установлен пигмент зеленых водорослей. Наибольшее содержание хлорофилла цианобактерий наблюдается в оз. Шварцивское; также они найдены, но в меньшей концентрации, в озерах Куджартай, Баин-Цаган и Харганаш. Пигменты

цианобактерий не определены в озерах Борзинское, Укшинда и Шелута, однако в них установлен хлорофилл диатомовых водорослей.

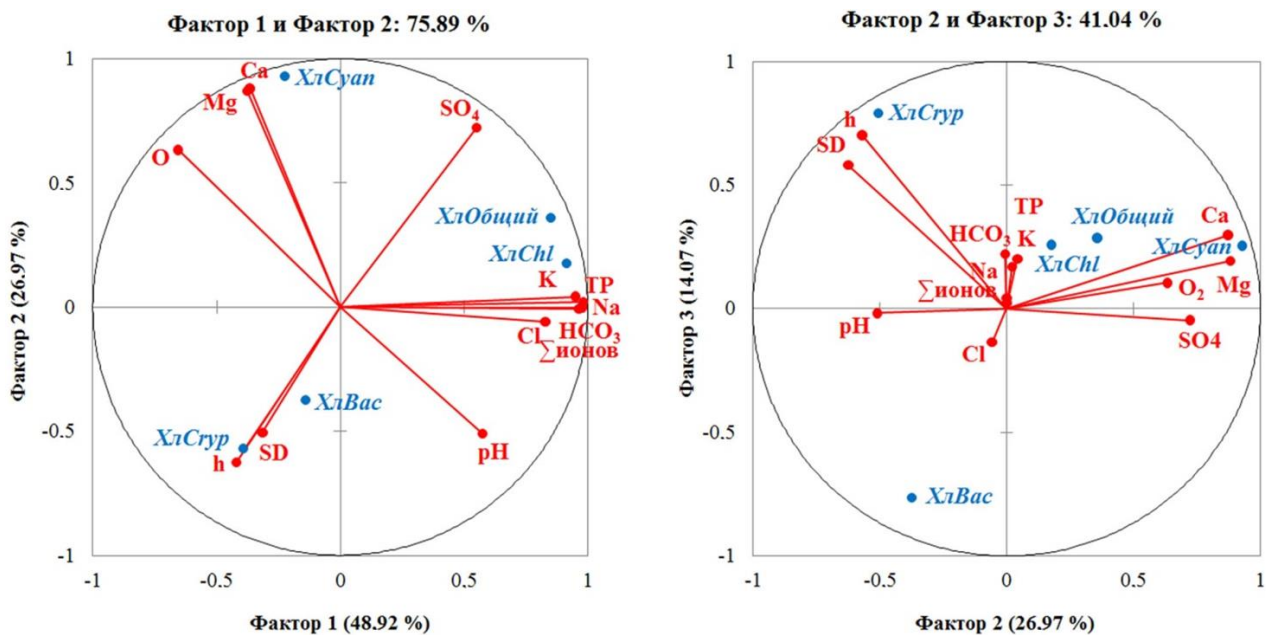


Рис. 3. Расположение некоторых гидрохимических, гидрофизических показателей и основных характеристик хлорофилла различных групп фитопланктона в пространстве трех факторов обследованных озер в 2022 г. Условные обозначения: А – фактор 1 (Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) и фактор 2 (Ca^{2+} и Mg^{2+}); Б - фактор 2 (Ca^{2+} и Mg^{2+}) и фактор 3 (h).

Проведенный методом главных компонент анализ показал, что содержание хлорофилла зеленых водорослей зависит от содержания калия и натрия, гидрокарбонатов и хлоридов. Содержание хлорофилла цианобактерий зависит от концентраций кальция и магния. Содержание хлорофилла криптофитовых водорослей зависит от глубины водоемов. При увеличении глубины водоемов и уменьшении солёности воды в озерах (на примере оз. Баин-Цаган) возможно увеличение хлорофилла различных отделов водорослей.

Таким образом, в данной работе выполнена важная ревизия современного состояния ряда озер различной солёности Юго-Восточного Забайкалья. Обновленные данные по солёности озер, основным физико-химическим характеристикам и содержанию хлорофилла *a* могут служить отправной точкой для дальнейших исследований озер региона.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников аттестованной лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН за предоставленные гидрохимические данные за 2022 г.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств государственного задания № 121032200070-2 «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза. Основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адамович Б.В. 2021. Трофический статус как важный показатель экологического состояния водных экосистем // Материалы 21-й международной научной конференции. Сахаровские чтения 2021 года «Экологические проблемы XXI в.». В 2-х ч. Ч. 2 / Ред. Маскевич С.А., Герменчук М.Г. Минск: Информационно-вычислительный центр Минфин Республики Беларусь. С. 153-155.
- Алимов А.Ф. 2008. Связь биологического разнообразия в континентальных водоемах с их морфометрией и минерализацией вод // Биология внутренних вод. № 1. С. 3-8.
- Баженова О.И. 2013. Современная динамика озерно-флювиальных систем Онон-Торейской высокой равнины (Южное Забайкалье) // Вестник Томского государственного университета. № 371. С. 171-177.

- Балушкина Е.В., Голубков С.М., Голубков М.С., Литвинчук Л.Ф. 2007. Структурно-функциональная характеристика экосистем малых соленых озер Крыма // Биология внутренних вод. № 2. С. 11-19.
- Борзенко С.В. 2020. Основные условия формирования химического состава вод соленых и солоноватых озер Восточного Забайкалья // Геохимия. Т. 65. № 12. С. 1212-1230.
- Власов Н.А., Чернышов Л.А., Павлова Л.И. 1961. Минеральные озера // Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1: Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 189-245.
- Голубков С.М., Шадрин Н.В., Голубков М.С., Балушкина Е.В., Литвинчук Л.Ф. 2018. Пищевые цепи и их динамика в экосистемах мелководных озер с различной соленостью // Экология. № 5. С. 391-398.
- Давыдова Н.Д. 2022. Изменения в компонентах степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях потепления климата // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1 (90). С. 3-10. [Davydova N.D. 2022. Change in the Components of Steppe Geosystems in the Southwestern Transbaikal Region with Climate Warming // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 1. P. 1-7.]
- Джеффферс Дж. 1981. Введение в системный анализ. М.: Мир. 256 с.
- Замана Л.В., Вахнина И.Л. 2014. Гидрохимия соленых озер Юго-Восточного Забайкалья в фазу аридизации климата в начале XXI века // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 11 (4). С. 608-612.
- Кравцова В.Г. 1989. Фитопланктон в условиях внутренних солоноватых водоемов // Труды Зоологического института АН СССР. Т. 196. С. 64-81.
- Курганович К.А., Носкова Е.В. 2015. Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер Юго-Восточного Забайкалья по данным дистанционного зондирования // Вестник ЗабГУ. № 6 (121). С. 16-24.
- Ляшенко О.А. 2004. Растительные пигменты как показатели биомассы фитопланктона в мелководном эвтрофном озере // Проблемы региональной экологии. № 5. С. 6-14.
- Никулина В.Н., Голубков М.С. 2020. Структура и функционирование в эстуарии реки Невы в 2011-2016 гг. // Труды Зоологического института. Т. 324. № 1. С. 162-174.
- Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Курганович К.А. 2019. Характеристика условий увлаженности территории бессточных озер Торейской равнины с использованием метеорологических данных // Вестник ЗабГУ. Т. 25. № 3. С. 22-30.
- Реброва О.Ю. 2002. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера. 312 с.
- Сигарева Л.Е. 2012. Хлорофилл в донных отложениях волжских водохранилищ. М.: КМК. 217 с.
- Сиренко Л.А. 1988. Информационное значение хлорофиллового показателя // Гидробиологический журнал. Т. 24. № 4. С. 12-16.
- Содовые озера Забайкалья: экология и продуктивность. 1991. Новосибирск: Наука. 216 с.
- Afonina E.Yu., Tashlykova N.A. 2019. Plankton of Saline Lakes in Southeastern Transbaikalia: Transformation and Environmental Factors // Contemporary Problems of Ecology. No. 12. P. 155-170.
- Afonina E.Yu., Tashlykova N.A. 2023. An Analysis of Interannual Data on Phytoplankton and Zooplankton Associations in Fluctuating Soda Lakes // Limnologia. Vol. 99. P. 126047.
- Barnes B.D., Wurtsbaugh W.A. 2015. The Effects of Salinity on Plankton and Benthic Communities in the Great Salt Lake, Utah, USA: A Microcosm Experiment // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 72 (6). [Электронный ресурс <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0396> (дата обращения 10.11.2022)].
- Bazarova B.B., Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Kuklin A.P., Matafonov P.V., Tsybekmitova G.Ts., Gorlacheva E.P., Itigilova M.Ts., Afonin A.V., Butenko M.N. 2019. Long-term Fluctuations of the Aquatic Ecosystems in the Onon-Torey Plain (Russia) // Acta Ecologica Sinica. Vol. 39. No. 2. P. 157-165.
- Bec B., Collos Y., Souchu P., Vaquer A., Lautier J., Fiandrino A., Benau L., Orsoni V. & Laugier T. 2011. Distribution of Picophytoplankton and Nanophytoplankton along an Anthropogenic Eutrophication Gradient in French Mediterranean Coastal Lagoons // Aquatic Microbial Ecology. Vol. 63. P. 29-45.
- Beutler M., Wiltshire K.H., Meyer B., Moldaenke C., Luring C., Meyerhofer M., Hansen U.P., Dau H. 2002. A Fluorometric Method for the Differentiation of Algal Populations *in vivo* and *in situ* // Photosynthesis Research. Vol. 72. No. 1. P. 39-53.
- Brack W., Frank H. 1998. Chlorophyll a Fluorescence: A Tool for the Investigation of Toxic Effects in the Photosynthetic Apparatus // Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 40. No. 1-2. P. 34-41.
- Comin F.A., Alonso M. 1988. Spanish Salt Lakes: Their Chemistry and Biota // Hydrobiologia. Vol. 158. P. 237-245.
- Dulmaa A. 1966. Hydrobiology of Some Lakes of the Khentei Aimag // Trudy Institutit Biologii AN Mongolii. Vol. 1. P. 1-8.
- Garrido M., Cecchi P., Malet N., Bec B., Torre F., Pasqualini V. 2019. Evaluation of FluoroProbe Performance for the Phytoplankton-based Assessment of the Ecological Status of Mediterranean Coastal Lagoons // Environmental

- Monitoring and Assessment. Vol. 191. P. 204.
- Gordon N., Perissinotto R., Miranda N.A.F. 2016. Microalgal Dynamics in a Shallow Estuarine Lake: Transition from Drought to Wet Conditions // *Limnologia*. Vol. 60. P. 20-30.
- Gorlacheva E.P., Tsybekmitova G.Ts., Afonin A.V., Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Kuklin A.P., Saltanova N.V. 2014. Lake-margin Ecosystems of Saline Lakes of the Borzya Group (Zabaikalsky Krai, Russia) during the Initial Filling Phase // *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. Vol. 32. No. 4. P. 871-878.
- Gregor J., Maršálek B. 2004. Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll *a*: A Comparative Study of *in vitro*, *in vivo* and *in situ* Methods // *Water Research*. No. 38. P. 517-522.
- Guerrero F., Castro M.C. 1996. Chlorophyll *a* of Size-fractionated Phytoplankton at a Temporary Hypersaline Lake // *International Journal of Salt Lake Research*. Vol. 5. P. 253-260.
- Hammer U.T. 1986. *Saline Lake Ecosystems of the World*. Dordrecht: Dr. W. Junk. 616 p.
- Hu Zh., Guo L., Liu T., Chuai X., Chen Q., Shi F., Jiang L., Yang L. 2014. Uniformisation of Phytoplankton Chlorophyll *a* and Macrophyte Biomass to Characterize the Potential Trophic State of Shallow Lakes // *Ecological Indicators*. Vol. 37. P. 1-9.
- Jacquet S., Briand J-F., Le Boulanger Ch., Avois-Jacquet C., Oberhaus L., Tassin B., Vinçon-Leite B., Paolini G., Druart J-C., Orlane Anneville O., Jean-François Humbert J-F. 2005. The Proliferation of the Toxic Cyanobacterium *Planktothrix rubescens* Following Restoration of the Largest Natural French lake (Lac du Bourget) // *Harmful Algae*. Vol. 4. No. 4. P. 651-672.
- Kamennaya N.A., Hu P., Jansson Ch. 2019. Sedimentation of Ballasted Cells-free EPS in Meromictic Fayetteville Green Lake // *Geobiology*. Vol. 18. No. 1. P. 80-92.
- Kuklin A.P., Tsybekmitova G.Ts., Gorlacheva E.P. 2013. State of Lake Ecosystems in Onon-Torei Plain in 1983-2011 (Eastern Transbaikalia) // *Arid Ecosystems*. Vol. 3. No. 3. P. 122-130. [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. С. 16-26.]
- Le Boulanger C., Dorigo U., Jacquet S., Le Berre B., Paolini G., Humbert J-F. 2002. Application of a Submersible Spectrofluorometer for Rapid Monitoring of Freshwater Cyanobacterial Blooms: A Case Study // *Aquatic Microbial Ecology*. Vol. 30. P. 83-89.
- Liu X., Wang J., Cheng X., Du Y. 2012. Abnormal Upwelling and Chlorophyll *a* Concentration off South Vietnam in Summer 2007 // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. Vol. 117. P. C07021.
- Makri S., Lami A., Lods-Crozet B., Loizeau J.L. 2019. Reconstruction of Trophic State Shifts over the Past 90 Years in a Eutrophicated Lake in Western Switzerland, Inferred from the Sedimentary Record of Photosynthetic Pigments // *Journal of Paleolimnology*. Vol. 61. P. 129-145.
- Messenger M.L., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O. 2016. Estimating the Volume and Age of Water Stored in Global Lakes Using a Geo-statistical Approach // *Nature Communications*. Vol. 7. No. 1. P. 1-11.
- Mineeva N.M. 2021. Long-term Dynamics of Chlorophyll in Plankton of Different Sites in a Large Plain Reservoir // *Inland Water Biology*. Vol. 14. No. 6. P. 679-690.
- Nürnberg G.K., Shaw M. 1998. Productivity of Clear and Humic Lakes: Nutrients, Phytoplankton, Bacteria // *Hydrobiologia*. Vol. 382. P. 97-112.
- Obyazov V.A. 2015. Regional Response of Surface Air Temperatures to Global Changes: Evidence from the Transbaikalian Region // *Doklady Earth Sciences*. Vol. 461. No. 2. P. 375-378.
- Quinlan R., Filazzola A., Mahdiyan O., Shuvo A., Blaggrave K., Ewins C., Moslenko L., Gray D.K., O'Reilly C.M., Sharma S. 2021. Relationships of Total Phosphorus and Chlorophyll in Lakes Worldwide // *Limnology and Oceanography*. Vol. 66. No. 2. P. 392-404.
- Tashlykova N.A., Afonina E.Y. 2023. Habitat and Features of Development of Plankton Communities in Salt Lakes (South-Eastern Transbaikalia, Russia) // *Diversity*. Vol. 15. No. 3. P. 396.
- 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-Torei Plain in Different Hydrological Periods // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. Vol. 9. No. 5. P. 734-752.
- Wen Z., Mian-ping Z., Xian-zhong X., Xi-Fang L., Gan-lin G., Zhi-hui H. 2005. Biological and Ecological Features of Saline Lakes in Northern Tibet, China // *Hydrobiologia*. Vol. 541. P. 189-203.
- Williams W.D. 1998. Salinity as a Determinant of the Structure of Biological Communities in Salt Lakes // *Hydrobiologia*. Vol. 381. P. 191-201.
- Wurtsbaugh W.A., Miller C., Nul, S.E., DeRose R.J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., Moore J. 2017. Decline of the World's Saline Lakes // *Nature Geoscience*. Vol. 10. No. 11. P. 816-821.
- Van der Molen J.S., Perissinotto R. 2011. Microalgal Productivity in an Estuarine Lake during a Drought Cycle: The St. Lucia Estuary, South Africa // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 92. P. 1-9.
- XLSTAT. 2023. Statistical Software for Excel [Электронный ресурс <https://www.xlstat.com/en/> (дата обращения 10.11.2022)].

- Yan L.J., Zheng M.P.* 2015. Influence of Climate Change on Saline Lakes of the Tibet Plateau, 1973-2010 // *Geomorphology*. Vol. 246. P. 68-78.
- Yang J., Hong L., Yang J., Liu L., Yu X., Chen H.* 2016. Decline in Water Level Boosts Cyanobacteria Dominance in Subtropical Reservoirs // *Science of the Total Environment*. No. 557-558. P. 445-452.
- Zadereev E.S., Drobotov A.V., Lopatina T.S., Ovchinnikov S.D., Tolomeev A.P.* 2021. Comparison of Rapid Methods Used to Determine the Concentration, Size Structure and Species Composition of Algae // *Journal of Siberian Federal University. Biology Series*. Vol. 14. No. 1. P. 5-27.
- Zheng M., Liu X.* 2009. Hydrochemistry of Salt Lakes of the Qinghai-Tibet Plateau, China // *Aquatic Geochemistry*. Vol. 15. P. 293-320.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2024. Т. 30. № 3 (100)

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 августа 2024 г.



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ЖМК

Формат 60x 90 ¹/₈

Объем 23 п.л.

Тираж 200 экз.

Заказ №

Отпечатано в ООО «Галерея-Принт»
111024, Москва, ул. 5-я Кабельтовая, д. 26

Распространяется только по подписке

**Подписка осуществляется только по электронному интернет каталогу
«Урал-Пресс» <https://www.ural-press.ru/catalog>**