

ISSN 1993-3916

Том 29 Номер 3 (96) Сентябрь 2023

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
2023

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

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) ELIBRARY.ru, в базу научной электронной библиотеки “КИБЕРЛЕНИНКА” CYBERLENINCA.ru, в базу Российской государственной библиотеки (РГБ) rsl.ru, в базу данных Библиотеки по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН), в базу данных Russian Science Citation Index, размещенную на платформе Web of Science, входит в число реферируемых журналов и Базы данных, 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
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН
ПРИКАСПИЙСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

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

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 29, № 3 (96), 2023, 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, ПИБР ДНЦ РАН

Телефон: (872-2) 67-09-83

E-mail: arid_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК

2023

СОДЕРЖАНИЕ

Том 29, номер 3 (96), 2023 сентябрь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- Современные климатические тенденции изменений испарения и влажности почвы на юге европейской России
Т.Б. Титкова, А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова 4-14
- Положение проток палеодельты Волги в конце Хвалынского времени по геоморфологическим данным
Д.М. Лобачева, Е.Н. Бадюкова, Р.Р. Макшаев 15-23
- Гармонизация результатов химического исследования засоленности почв
К.О. Прокопьева, М.В. Конюшкова 24-35
- О балансе азота в почвенно-растительном покрове аридных экосистем Северо-западного Прикаспия
Т.А. Асварова, Г.Н. Гасанов, К.М. Гаджиев, Р.Р. Баширов, К.Б. Гимбатова, А.С. Абдулаева 36-45
- Карта современной растительности на территорию распространения популяции сайгака (*Saiga tatarica tatarica* L., 1766) в Северо-западном Прикаспии
И.Н. Сафронова, Н.Ю. Степанова, Т.Ю. Каримова, О.Г. Калмыкова, С.С. Уланова, Н.Л. Федорова, И.А. Горяев, С.А. Полуэктов, Д.Г. Поляков 46-56
- Закономерности распространения аллергенных растений в равнинных биомах России
Т.В. Дикарева, В.Ю. Румянцев, М.С. Солдатов, С.М. Малхазова 57-67
- Современное состояние ценопопуляций некоторых эндемичных и редких видов рода *Tulipa* L. (*Liliaceae*) в Ташкентской области (Узбекистан)
Н.Ю. Бешико, О.С. Абдураимов, У.Х. Кодиров, Ф.М. Мадаминов, А.В. Махмудов 68-80
- Конкуренция между дикими и домашними копытными на водопоях пустыни Гоби, Монголия
Ф. Раймонди, Д. Сольяни, М. Чимини, Л. Атцени, К. Аугульяро 81-91
- Пространственная структура популяций степного сурка в южном Предуралье в условиях заповедного режима
О.В. Сорока 92-99
- Структура сообщества почвенных нематод фитоценозов сухой степи в весенний период острова Водный заповедника «Ростовский»
В.Ю. Шматко, Л.П. Ильина, Т.А. Соколова 100-110
- Пространственная и таксономическая структура микробных сообществ почв сухостепной зоны Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье)
Е.П. Никитина, Л.Б. Буянтуева, О.А. Батурина, А.Б. Гынинова, Е.В. Лаврентьева 111-123

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Метод итерации средних в экологических исследованиях
Ю.И. Сухоруких, С.Г. Биганова 124-130

Структура почвенного покрова и свойства почв пастбищ сухостепной зоны в условиях
разной интенсивности выпаса
А.В. Борисов, И.А. Идрисов, В.Н. Пинской, А. Потапова, А.В. Бухонов, М.В. Ельцов 131-140

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Сравнительная оценка современного состояния полупроходных и туводных видов рыб в
северной части Аграханского залива
*Л.М. Васильева, Н.И. Рабазанов, Н.В. Судакова, А.З. Анохина, Д.М. Рамазанова,
Р.М. Бархалов* 140-147

Оценка фильтрационной активности *Dreissena polymorpha* – южного вида-вселенца
Иваньковского водохранилища
Л.П. Федорова, В.О. Полянин 148-155

**СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ИСПАРЕНИЯ
И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ**

© 2023 г. Т.Б. Титкова*, А.Н. Золотокрылин*, Е.А. Черенкова***

**Институт географии РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4

E-mail: titkova@igras.ru, zolotokrylin@igras.ru

***Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3. E-mail: cherenkova@igras.ru

Поступила в редакцию 10.02.2023. После доработки 03.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Исследовано влияние климатических параметров на испарение в период активной вегетации растений в лесостепной, степной и полупустынной зонах в период 1980-2021 гг. на юге Европейской территории России. Рассмотрены основные закономерности связи испарения и влажности почвы. В начале вегетационного сезона изменение испарения в лесной и степной зонах во многом определяется положительной связью с температурой и ветровыми условиями. В середине сезона вегетации возрастает роль осадков и ветровых условий. С июля связь испарения и температуры становится отрицательной из-за нарастающего дефицита влаги в зонах сухого субгумидного и семиаридного климата. Связь испарения и влажности верхнего слоя почвы отрицательна в начале вегетационного периода при минимальном испарении с еще не разогретого почвенного покрова в зонах лесостепи и степи, а в полупустыне на фоне уже прогретой почвы положительна. С середины вегетационного сезона и до конца связь испарения и влажности почвы значимо положительна от лесостепных до полупустынных ландшафтов. В начале вегетационного сезона продолжающееся потепление приводит к увеличению испарения, в середине и в конце вегетационного сезона тренды испарения значимо отрицательные, так как недостаток влаги при больших температурах приводит к иссушению почвенного покрова и преждевременному увяданию растительности. Наибольшее падение испарения отмечается в степных и сухостепных ландшафтах, на что повлияло иссушение территории при росте температуры, уменьшение сумм осадков и средней скорости ветра. Тренды влажности верхнего слоя почвы в основном отрицательны на всем юге Европейской территории России с максимумом потери влаги в широколиственно-лесной и лесостепной зонах, как более увлажненных относительно сухостепных и полупустынных природных зон. В полупустынной зоне за весь вегетационный сезон изменения влажности почвы минимальны.

Ключевые слова: испарение, температура, осадки, ветер, влажность почвы, природные зоны, вегетационный сезон.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-4-14

EDN: ZUWGEV

В концепции нейтрального баланса деградации земель по борьбе с опустыниванием Конвенцией ООН определены основных фактора, влияющих на опустынивание: изменения наземного покрова, динамика продуктивности земель и динамика запасов почвенного углерода (Cowie et al., 2018). Аридизация климата приводит к усилению деградации земель через сокращение продуктивных водных ресурсов, снижение почвенного потенциала, продуктивности растительных сообществ и биологического разнообразия (Куст, 2020; Лобковский и др., 2022). При этом климатические изменения природно-ландшафтного потенциала могут привести как положительное, так и негативное воздействие на состояние устойчивого землепользования сельскохозяйственных земель (Андреева и др., 2021). Знания о круговороте энергии и влаги в системе растительность-почва-атмосфера крайне важны для изучения природной составляющей процессов, влияющих на деградацию земель. На фоне повышения среднегодовой температуры воздуха и общей аридизации климата деградация почвенного покрова резко увеличила риск почвенной (агрономической) засухи,

что в значительной мере влияет на биологическое разнообразие и приводит в большинстве случаев к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, а также к нарушению устойчивого землепользования (Национальный доклад, 2019, 2021; Андреева, Куст, 2020).

Последние исследования изменения регионального климата летом на юге Европейской территории России (ЕТР) показывают, что период 1976-2020 гг. характеризуется статистически значимым потеплением с наибольшей скоростью до $0.74^{\circ}\text{C}/10$ лет в Южном федеральном округе (Доклад ..., 2021). Наибольший рост температуры на юге ЕТР наблюдается в августе. Средняя за теплый период температура поверхности почвы увеличилась на $1.1-1.5^{\circ}\text{C}$. Также риски сильных атмосферных засух в течение всего вегетационного периода увеличились на всей территории, наиболее заметно – в полупустынной зоне (с 55% до 82%; Губарев и др., 2022). В целом по России наблюдается рост осадков за последние сорок с половиной лет (Доклад ..., 2021). При этом количество осадков на юге ЕТР увеличилось в весенний период на 10-25%, а в летний период сократилось на 23-30% (Губарев и др., 2022). Установлено, что рост испарения с поверхности суши в бассейне Волги с середины 1960-х до конца 1980-х годов в среднем на 2-4% в год обусловлен ростом температуры и осадков (Лавров, 2019). В качестве возможных причин обозначенных изменений указывается перестройка атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе под действием долгопериодных изменений температуры поверхностного слоя Северной Атлантики (Черенкова, 2017). Увеличение увлажнения нашло отражение в росте климатообусловленной урожайности (Павлова, Сиротенко, 2012) и восстановлении естественной степной растительности (Новикова и др., 2011; Сажин и др., 2006). Однако в южной половине ЕТР в летний период на фоне быстрого роста средних температур вследствие роста испаряемости уменьшается влажность почвы, что приводит к увеличению риска засухи и иссушения территории и нарастания аридности климата (Доклад ..., 2021).

Повышение глобальной температуры обуславливает кумулятивный отклик растительности, выраженный в изменении состава и структуры растительного компонента ландшафтов (Singh et al., 2003; Золотокрылин, Титкова, 2009). При этом подстилающий покров медленнее реагирует на изменение температуры и условий увлажнения при относительно густой растительности и быстрее при разреженной, что связано с уровнем теплообмена в толще растительного покрова (Wu et al., 2016). Потепление климата может значительно повлиять на водный баланс за счет изменения испарения с поверхности почвы с учетом транспирации растениями и увеличения дефицита почвенной влаги (Wang et al., 2018). На изменение влажности поверхностных слоев почвы наибольшее влияние оказывает рост средней температуры (Титкова, Золотокрылин, 2022). Испарение влаги с поверхности растительности и из почвы определяет водопотребление растительности, динамику накопления биомассы растений и является важнейшей характеристикой роста и развития растений (Полужтов и др., 2006; Титкова, Золотокрылин, 2022). Поэтому анализ пространственного распределения трендов испарения и влажности почвы является важным для прогнозирования устойчивого землепользования на юге ЕТР – в европейском зерновом поясе России.

Целью данной работы является исследование тенденций изменений испарения на юге Европейской территории России преимущественно в лесостепной, степной и полупустынной зонах в период активной вегетации растений. В работе предпринята попытка исследовать влияние изменений климатических параметров на испарение в различные месяцы теплого периода, а также рассмотреть основные закономерности связи испарения и влажности почвы в природных зонах юга ЕТР.

Материалы и методы

Территория исследования – сельскохозяйственные районы ЕТР южнее 54° с.ш., в зонах субгумидного, сухого субгумидного и семиаридного климата. Здесь расположено 18 зернопроизводящих субъектов РФ.

Получение достоверных количественных оценок испарения как на суше, так и с водной поверхности является сложной и трудоемкой задачей (Allen et al., 1998; Amatya et al., 2016; Wohlfahrt et al., 2010). В данном исследовании для оценки испарения с поверхности суши были использованы среднемесячные данные наиболее современного реанализа ERA5-Land с апреля по сентябрь в период 1980-2021 гг. (Copernicus, 2022) – это глобальный архив данных реанализа с горизонтальным разрешением $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$, доступный за период с 1950 года по настоящее время.

В реанализе ERA5-Land под испарением подразумевается накопленное количество воды, испарившейся с поверхности Земли, включая транспирацию от растительности. Величина испарения, его динамика во времени находятся в сложной взаимосвязи с температурой, влажностью воздуха, осадками, скоростью ветра и потоков солнечной радиации, которые определяют физические свойства почвенного и растительного покрова (Братсерт, 1985; Лавров, 2019). В данной работе были рассмотрены некоторые из перечисленных климатических параметров, связанные с испарением: температура воздуха, осадки и скорость ветра. Их среднемесячные данные в теплый период года с апреля по сентябрь получены из архива реанализа ERA5-Land. Температура на высоте 2 м н.у.м. БС (Т) рассчитывается путем интерполяции между самым низким уровнем модели и поверхностью Земли с учетом атмосферных условий. Под суммой осадков (Pr) в реанализе подразумевается сумма крупномасштабных и конвективных осадков. Также анализировалась векторная сумма зональной и меридиональной компоненты скорости ветра на высоте 10 м н.у.м. БС.

Выявленные искажения влажности почвы по данным реанализа ERA5-Land для региона Поволжья обусловили поиск других архивов данного параметра. К исследованию были привлечены среднемесячные данные об объемной влажности почвы (Soil Moisture, SM) с апреля по сентябрь в период 1980-2021 гг., полученные из глобального архива SM GLEAM версии 3.6a (Gleam, 2022; Martens et al., 2017) с пространственным разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (Gruber et al., 2019). Данные SM GLEAM воспроизводят общие сезонные закономерности поля влажности почвы, что подтверждает обнаруженная связь ведущих режимов ее изменчивости летом на ЕТР с основными режимами атмосферной циркуляции (Zveryaev, Arkhipkin, 2019). Мы ограничились рассмотрением данных влажности почвы в слое 0-10 см, поскольку поверхностный слой непосредственно взаимодействует с атмосферой и, следовательно, имеет больший отклик на изменения регионального климата.

Были рассчитаны десятилетние линейные тренды и рассмотрена межгодовая динамика климатических параметров с апреля по сентябрь в период 1980-2021 гг. Выполнен корреляционный анализ связи испарения с каждым из климатических параметров в течение вегетационного сезона. Исследованы корреляционные связи испарения и влагосодержания верхнего слоя почвы по ландшафтными зонам.

Результаты и их обсуждение

Зависимость испарения от климатических параметров. На рисунке 1 приведены коэффициенты корреляции испарения с каждым из климатических параметров. В зависимости от месяца вегетационного периода степень влияния климатического параметра на испарение меняется. Значения коэффициентов корреляции между испарением и климатическими параметрами ограничены среднемесячными значениями, которые могут ослаблять кратковременные связи, возникающие в течение времени между параметрами, что отмечается и в других исследованиях (Лавров, 2019).

В начале вегетационного сезона, в апреле и мае, изменения испарения во многом определяются положительной связью с температурой (корреляция – 0.92, 0.94). Связь с осадками и ветром минимальна, так как влажность почвы в этот вегетационный период наибольшая (рис. 2а). В середине вегетационного сезона в июне и июле возрастает роль осадков (корреляция – 0.62, 0.69) и ветровых условий. Увеличение скорости ветра приводит к увеличению испарения и высушивает почву. Начиная с июня связь испарения и температуры становится отрицательной (корреляция – -0.21), особенно к концу вегетационного сезона из-за нарастающего дефицита влаги в зонах сухого субгумидного и семиаридного климата (корреляция – -0.9). В августе влияние на испарение имеет сочетание всех рассматриваемых параметров. Усиление ветра приводит к еще более сильному иссушению почвы, что отрицательно сказывается на испарении (корреляция – -0.61). В сентябре испарение положительно зависит главным образом от осадков (корреляция – 0.88) и отрицательно от температуры (корреляция – -0.89).

Таким образом, в определенный период вегетационного сезона превалирующее влияние одного климатического параметра на испарение может усилиться или ослабиться под влиянием другого параметра.

Динамика испарения и ее связь с климатическими параметрами. Анализ 10-летних скользящих средних испарения на территории активного земледелия на юге ЕТР показал, что в разные месяцы вегетационного сезона 42-летнего периода наблюдалась как положительная, так и отрицательная

динамика испарения и влажности почвы (рис. 1). В апреле отмечается постепенное увеличение испарения, что связано с поступательным положительным трендом температуры. Значительный рост испарения в 1980-1990-х годах связан с интенсивным увеличением количества осадков в этот период, а скачок суммарного испарения после 2010 года обусловлен усилением средней скорости ветра (рис. 1а I-III). В мае на фоне общего положительного тренда испарения его наибольший положительный рост в 1980-х годах сопровождался ростом осадков.

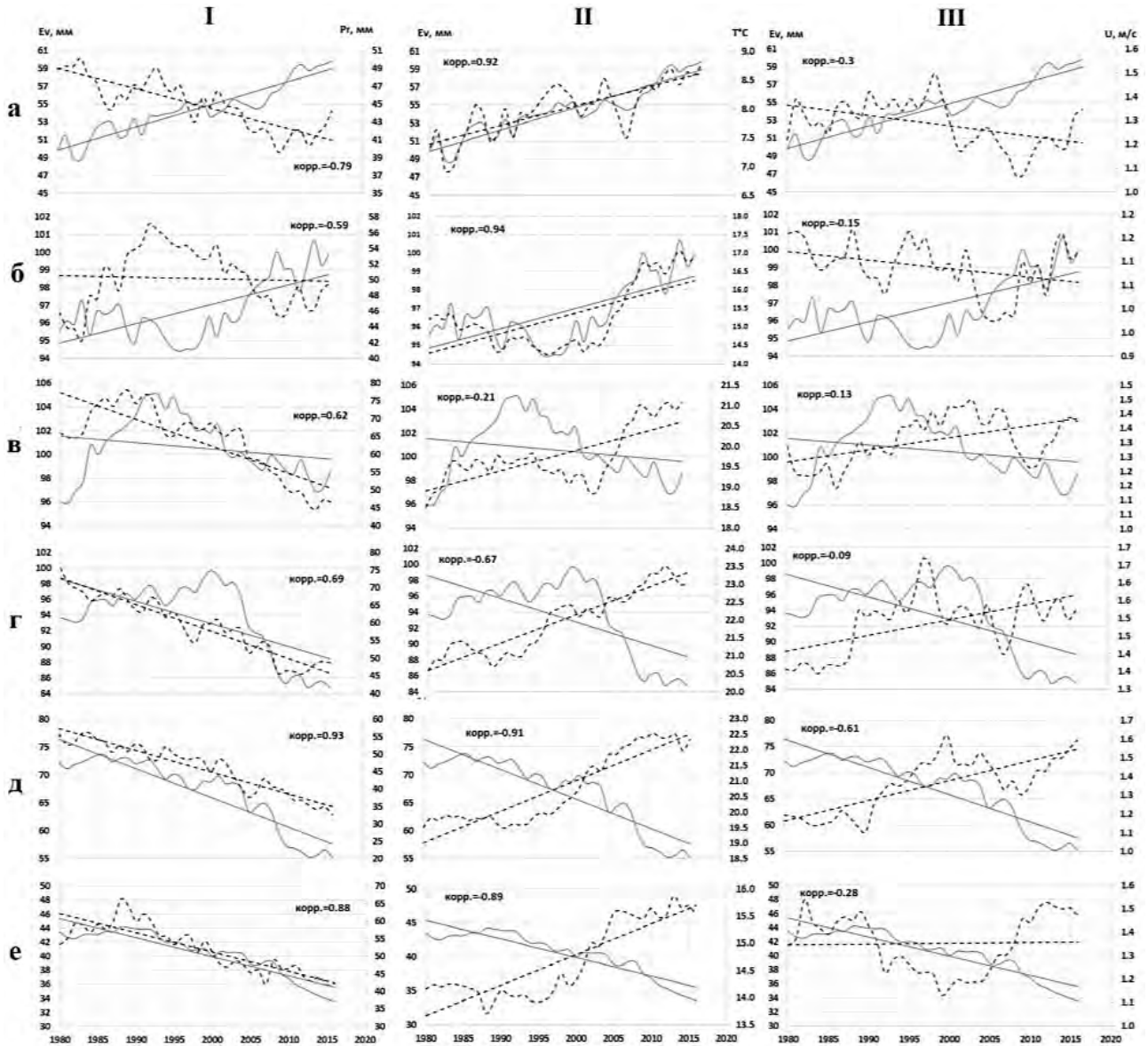


Рис. 1. Изменения 10-летних скользящих средних значений: испарения E_v (сплошные серые линии на рисунках а-е), осадков Pr (I), температуры T (II) и скорости ветра U (III) в среднем на территории исследования в период 1980-2021 гг. в (а) апреле, (б) мае, (в) июне, (г) июле, (д) августе, (е) сентябре (пунктирные линии на графиках).

С начала XXI века по настоящее время положительные тренды температуры имеют наибольшее влияние на рост испарения (рис. 1б I-III). Июнь характеризуется интенсивным ростом испарения в 1980-х годах с абсолютным максимумом в 1991 году, когда рост осадков совпал с наблюдаемой интенсификацией потепления. В XXI веке на фоне роста средней температуры общая динамика испарения отрицательна, к чему привело уменьшение количества осадков и средней скорости ветра (рис. 1в I-III). В июле положительная динамика испарения, наблюдаемая в конце XX века, во многом

связана с ростом осадков. На фоне роста темпов потепления на юге ЕТР с начала XXI века по настоящее время во все месяцы теплого периода под влиянием сокращения количества осадков отмечается уменьшение испарения (рис. 1г I-III). В конце вегетационного периода в августе и сентябре рост испарения до начала 1990-х годов сопровождался увеличением осадков. Затем на фоне роста температуры тренд суммарного испарения стал отрицателен из-за иссушения почвенного покрова и увядания растительности (рис. 1д, е I-III).

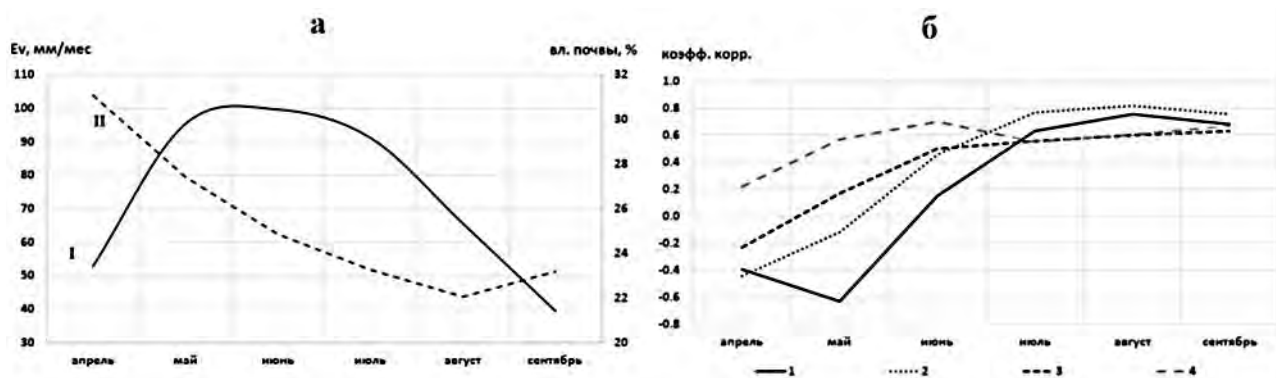


Рис. 2. Изменения параметров испарения и влажности почвы с апреля по сентябрь в период 1980-2021 гг.: а) среднемесячные значения испарения E_v (I) в мм/мес и влажности почвы в поверхностном слое (II) в % в среднем на исследуемой территории; б) коэффициенты корреляции между ними в среднем по ландшафтным зонам на юге ЕТР. Условные обозначения: 1 – лесостепь, 2 – степь, 3 – сухая степь, 4 – полупустыня.

Таким образом, направленность изменений испарения внутри периода исследования была связана с тенденциями климатических изменений. В апреле и мае в период 1980-2021 гг. продолжался рост испарения на фоне положительной связи с ростом температуры. Положительный тренд испарения в июне-сентябре замедлился в конце XX века и изменил свою направленность с начала XXI века под влиянием уменьшения сумм осадков и скоростей ветра, иссушения почвенного покрова и увядания растительности.

Испарение и влажность почвы в течение вегетационного сезона. Рассмотрим характерные черты изменения связей испарения и влажности почвы в природных зонах юга ЕТР в течение вегетационного сезона. Почвенная влага удерживается в почве благодаря противодействию силы тяжести с одной стороны и испарения и транспирации – с другой. Испарение и глубокое просачивание за пределы корневой глубины истощают запасы влаги в почве (Роде, 1965). Поэтому испарение является одним из основных климатических параметров, тесно связанных с почвенной влагой.

Согласно данным реанализа, суммарное испарение на юге ЕТР за вегетационный период (апрель-сентябрь) в период 1980-2021 гг. составляло: 460-510 мм в лесостепи, 420-500 мм в степной зоне, 380-470 мм в сухой степи и 290-360 мм в полупустыне. Эти значения во всех зонах несколько выше (на 50-80 мм) полученных при наблюдении над сушей в 1960-1980 гг. (Голубев и др., 2003).

На рисунке 2а представлен ход испарения и влагосодержание верхнего слоя почвы в течение вегетационного сезона в среднем на всей территории исследования. Значения испарения в апреле в среднем не превышают 55 мм/месяц, а влагосодержание почвы максимально за сезон вегетации и составляет чуть более 30%. Наибольшие значения испарения наблюдаются в мае-июне в среднем 95-100 мм/месяц при влажности почвы 25-27%. С середины лета до начала осени испарение достаточно быстро уменьшается (рис. 1а), в то время как влажность верхнего слоя почвы сокращается в течение всего периода активной вегетации в 2.3 раза. К концу вегетационного периода испарение уменьшается в среднем до 40-50 мм/месяц, а влагосодержание почвы – до 22-23%. Снижение влажности почвы в конце лета становится основной причиной падения испарения при повышении температуры воздуха (рис. 1д, е II). Принимая во внимание то, что атмосферные засухи способствуют прогрессирующему иссушению почвы, сделанный вывод подкрепляется выявленным значимым ростом повторяемости сильных летних атмосферных засух (Черенкова и др., 2020) на всей

исследуемой территории в последние три десятилетия по сравнению с предыдущим тридцатилетием. Ощутимое понижение испарения со скоростью более 9 мм/10 лет (рис. 2г, д) во второй половине лета отмечалось как в регионах наибольшего роста повторяемости засух в 1.7 раза в Поволжье, Заволжье и Северо-Западном Прикаспии (рис. 2в; Черенкова и др., 2020), так и в регионах менее существенного увеличения повторяемости засух на юге степной зоны.

Корреляционная связь испарения и влажности верхнего слоя почвы. Корреляционная связь суммарного испарения и влажности верхнего слоя почвы значительно меняется в течение теплого периода (рис. 2б). В начале вегетационного периода (апрель) в зонах лесостепи и степи зависимость параметров отрицательна, так как максимальное влагосодержание почвенного покрова сопровождается еще неразвившейся растительностью и минимальным испарением недостаточно разогретого почвенного покрова. С мая связь суммарного испарения и влажности почвы возрастает на фоне развития растительности и прогрева поверхности. Для сухостепных и полупустынных ландшафтов в мае она уже положительна и статистически значима для полупустынной зоны. В июне зависимость изменений испарения от влажности почвы становится значимо положительной в степной зоне. С июля и до конца вегетационного сезона корреляция перечисленных параметров значимо положительна на всем юге ЕТР.

Долгосрочные тренды испарения и влажности почвы. Установлено, что тренды испарения в течение вегетационного сезона за 42-летний период исследования были разнонаправленными (рис. 3; табл.). Тренды влажности верхнего слоя почвы в основном были отрицательными с наибольшими потерями влаги в более влажных широколиственно-лесной и лесостепной зонах по сравнению с остальными рассмотренными ландшафтными зонами. В полупустынной зоне в течение всего теплого периода изменения влажности почвы были минимальными (-0.5-0.5%) и статистически незначимыми (рис. 4).

В апреле наблюдался значимый рост испарения до 4-6 мм/10 лет (табл.) с максимумом в подтаежных, широколиственно-лесных, лесостепных и северных степных ландшафтных зонах (рис. 3а). Вместе с тем рост испарения в Брянской, Курской, Орловской, Липецкой, Воронежской, Тамбовской, Пензенской, Ульяновской, Самарской и Оренбургской областях в апреле (рис. 3а) сопровождался отрицательными трендами влажности почвы в среднем на 2.5-3%/10 лет (рис. 4а; табл.). В степных и полупустынных ландшафтах (Ростовская, Волгоградская, Астраханская областях, Калмыкия и части Краснодарского и Ставропольского края) рост испарения (до 2 мм/10 лет) и падение влажности почвы (от -0.5 до -2%/10 лет) в апреле были наименьшими (рис. 3а, 4а; табл.). В мае тренды испарения становятся отрицательными на всей территории полупустынных и сухостепных ландшафтов (до -2 мм/10 лет) при падении влажности почвы на -1%/10 лет (рис. 3б, 4б). В июне отрицательные тенденции изменения испарения отмечались уже в полупустынной, сухостепной и степной зонах при слабых отрицательных трендах влажности почвы. В широколиственно-лесной и лесостепной зонах еще сохранялась положительная тенденция испарения при значительном падении влагосодержания верхнего слоя почвы (рис. 3в, 4в). В июле отрицательные тренды испарения усилились и распространились на большую часть территории, за исключением зоны широколиственных лесов (Курская и Орловская области), где наблюдались значительные отрицательные тренды влажности почвы (рис. 3г, 4г). В августе тренды испарения были отрицательными на всей исследуемой территории с минимумом до -13 мм/10 лет в степной зоне (в Оренбургской, Саратовской, Ростовской областях, Ставропольском и Краснодарском крае; рис. 3д) и сопровождалась падением влажности почвы на 4%/10 лет (рис. 4д; табл.). В конце вегетационного сезона в сентябре отрицательные тренды испарения и влажности почвы наблюдались во всех рассматриваемых зонах (рис. 3е, 4е).

Таким образом, в период 1980-2021 гг. наблюдались положительные тенденции испарения на большей части территории в начале вегетационного периода и постепенное его уменьшение до наибольших темпов сокращения в августе. Наибольшее падение испарения отмечалось в степных и сухостепных ландшафтах. Тренды влажности верхнего слоя почвы отрицательны с максимумом потери почвенной влаги в широколиственно-лесной и лесостепной зонах. В полупустыне изменения влажности почвы были минимальными.

С точки зрения достижения нейтрального баланса деградации земель, обнаруженные тенденции снижения испарения и влажности почвы в сезон вегетации для большинства степных и

полупустынных регионов свидетельствуют об ухудшении ситуации в 2001-2021 гг. Полученные результаты подкрепляются выводами о сохранении устойчивой отрицательной тенденции увлажнения в ближайшей перспективе согласно модельным оценкам будущего климата (Золотокрылин и др., 2014). Следует также принимать во внимание, что проводимые мероприятия, направленные на снижение рисков деградации земель в регионах с аридным климатом, не везде приводят к ожидаемым результатам (Куст и др., 2022).

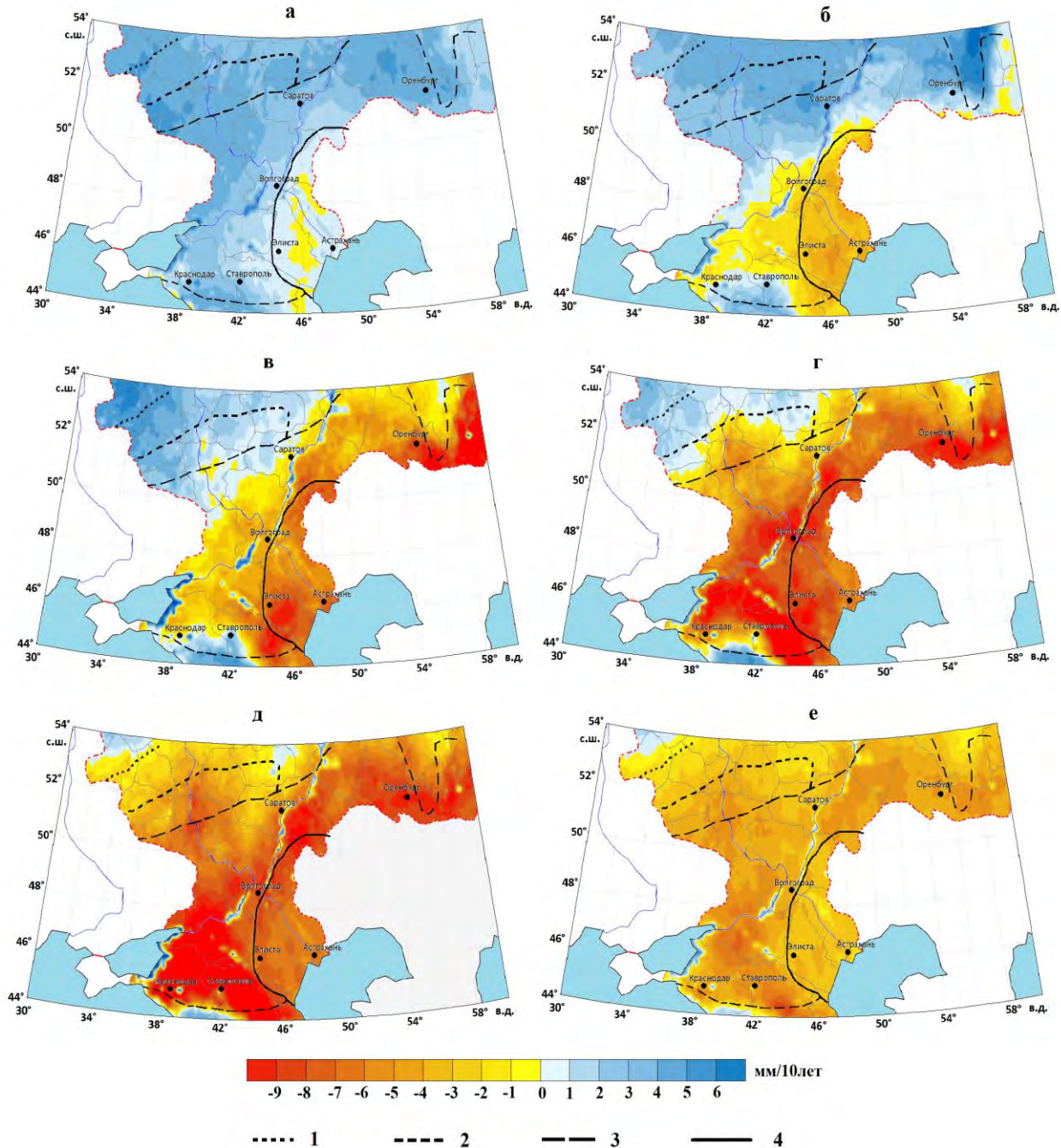


Рис. 3. Линейные тренды испарения (мм/10 лет) в период 1980-2021 гг.: а) апрель, б) май, в) июнь, г) июль, д) август, е) сентябрь. Тренды значимы при значениях $>$ ($<$) 2 мм/10 лет. Условные обозначения для рисунков 3-4: 1 – граница подтаежных и широколиственно-лесных, 2 – широколиственно-лесных и лесостепных, 3 – лесостепных и степных типичных, 4 – степных типичных, сухостепных и полупустынных, пустынных (Исаченко, 2001).

Таблица. Тренды относительных изменений испарения и влажности почвы в поверхностном слое почвы (%/10 лет) в апреле-сентябре в период 1980-2021 гг. на юге ЕТР по природным зонам.

Природная зона	Испарение						Влажность почвы					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Лесостепная	5.8	3.2	1.0	-1.6	-5.1	-7.1	-3.1	-3.7	-4.4	-5.7	-6.7	-6.6
Степная типичная	4.1	0.6	-2.1	-6.8	-5.1	-9.8	-2.4	-2.2	-2.9	-3.5	-5.4	-4.7
Сухостепная	2.2	-0.8	-4.2	-9.6	-13.7	-9.9	-3.4	-3.2	-2.5	-1.6	-4.6	-3.4
Полупустынная	0.2	-2.2	-4.2	-6.6	-11.8	-9.4	-1.8	-1.6	-1.6	-0.4	-2.3	-1.0

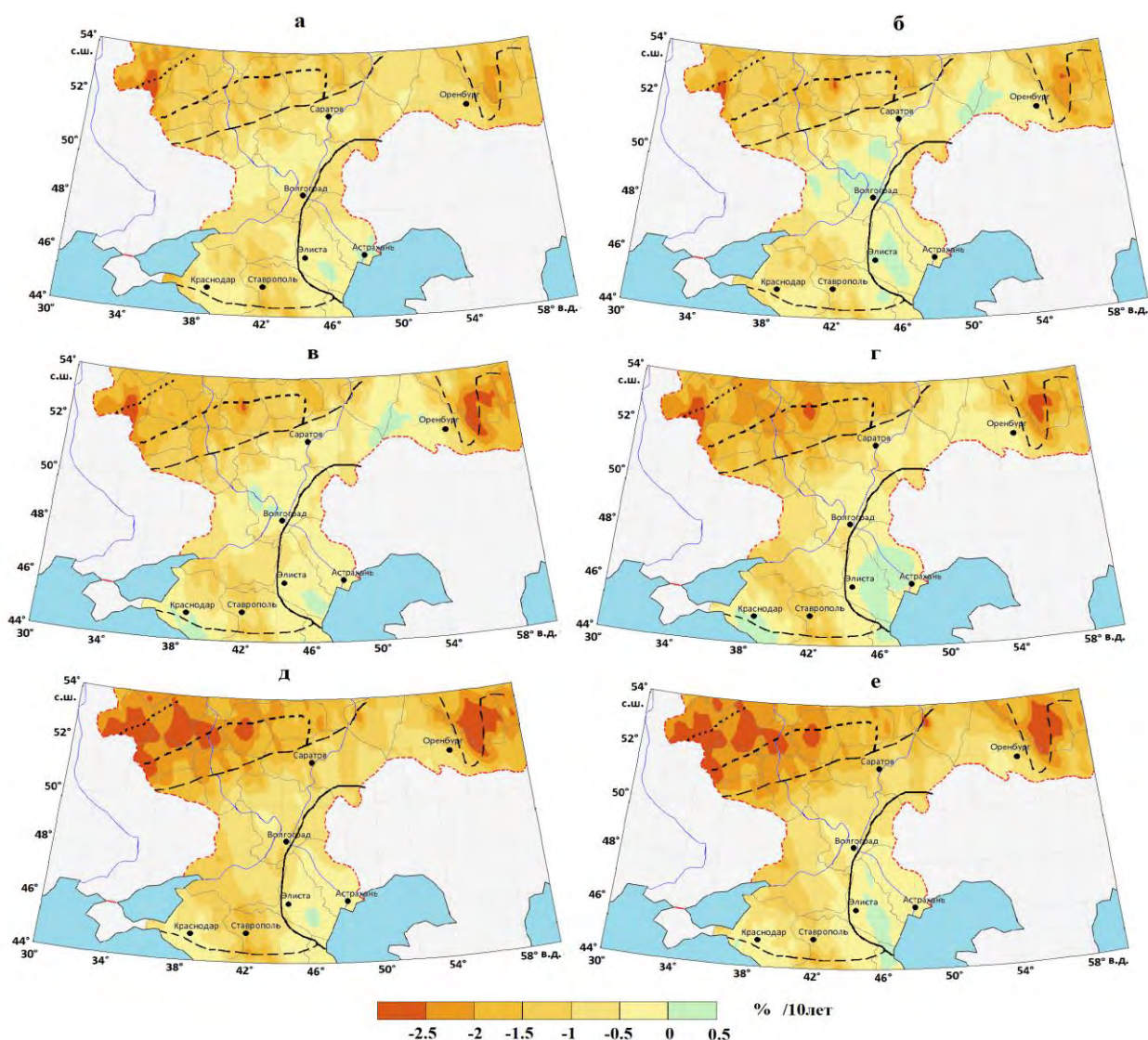


Рис. 4. Линейные тренды влажности почвы (%/10 лет) в поверхностном слое в период 1980-2021 гг.: а) апрель, б) май, в) июнь, г) июль, д) август, е) сентябрь. Тренды значимы при значениях > (<) 0.5%/10 лет.

Выводы

Оценка характера связи испарения с климатическими параметрами в период 1980-2021 гг. показала, что в начале вегетационного сезона изменение испарения в лесной и степной зонах во

многим определяется положительной связью с температурой и ветровыми условиями. В середине сезона вегетации возрастает роль осадков и ветра. Начиная с июля связь испарения и температуры становится отрицательной из-за нарастающего дефицита влаги в зонах сухого субгумидного и семиаридного климата.

Исследование динамики связи испарения и влажности верхнего слоя почвы в течение вегетационного сезона показало, что эта связь отрицательна в начале вегетационного периода при минимальном испарении с еще не разогретого почвенного покрова в зонах лесостепи и степи и положительна в полупустыне на фоне уже прогретой почвы. Со второй половины и до конца вегетационного сезона связь испарения и влажности почвы значимо положительна во всех природных зонах юга ЕТР.

Установлено, что в течение теплого периода тренды испарения разнонаправлены. В начале вегетационного периода наблюдалось увеличение испарения, что во многом объясняется продолжающимся потеплением. В середине и в конце вегетационного сезона на фоне продолжающегося потепления тренды испарения значимо отрицательные, так как недостаток влаги при больших температурах приводит к иссушению почвенного покрова и преждевременному увяданию растительности. Наибольшее падение испарения отмечается в степных и сухостепных ландшафтах, на что повлияло иссушение территории при росте температуры, уменьшение сумм осадков и скорости ветра.

Тренды влажности верхнего слоя почвы в основном отрицательны на всей исследуемой территории с максимумом потери влаги в широколиственно-лесной и лесостепной зонах, как более увлажненных относительно сухостепных и полупустынных ландшафтов. В полупустынной зоне за весь теплый период изменения влажности почвы минимальны.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на фоне отрицательных трендов испарения и влажности почвы в летний период для большинства регионов Прикаспия свойственно ухудшение текущей ситуации в последнее двадцатилетие по показателям нейтрального баланса деградации земель.

Финансирование. Исследование влияния климатических параметров на испарение проведено в рамках научной темы № 0127-2019-0010 (AAAA-A19-119102890091-1) «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования»; анализ тенденций аномальных режимов почвенного увлажнения выполнен при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-17-00242.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева О.В., Куст Г.С.* 2020. Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 5. С. 737-749.
- Андреева О.В., Лобковский В.А., Куст Г.С., Зонн И.С.* 2021. Современное состояние концепции и разработка типологии моделей устойчивого землепользования // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1 (86). С. 3-14. [Andreeva O.V., Lobkovsky V.A., Kust G.S., Zonn I.S. 2021. The Concept of Sustainable Land Management: Modern State, Models and Typology Development // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 1. P. 1-10.]
- Братсерт У.Х.* 1985. Испарение в атмосфере. Л.: Гидрометеоиздат. 352 с.
- Голубев В.С., Сперанская Н.А., Цыценко К.В.* 2003. Суммарное испарение в бассейне Волги и его изменчивость // Метеорология и гидрология. № 7. С. 89-99.
- Губарев Д.И., Левицкая Н.Г., Деревягин С.С.* 2022. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1 (90). С. 20-27. [Gubarev D.I., Levitskaya N.G., Derevyagin S.S. 2022. Influence of Climate Change on Soil Degradation in Arid Zones of the Volga Region // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 1. P. 15-21.]
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. 2021. М.: Росгидромет. 104 с.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* 2009. Климатический фактор динамики растительности засушливых земель европейской территории России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 22. С. 79-91.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А.* 2014. Увлажнение засушливых земель европейской территории России: настоящее и будущее // Аридные экосистемы. Т. 20. № 2 (59). С. 5-11. [Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A. 2014. Humidification of drylands in European Russia:
- АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2023, том 29, № 3 (96)

The present and future // *Arid Ecosystems*. Vol. 4. No. 2. P. 49-54.]

- Исаченко А.Г. 2001. Экологическая география России. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета. 328 с.
- Куст Г.С. 2020. Современные глобальные вызовы проблемы деградации земель: международные подходы и пути адаптации на национальном уровне // *Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации*. М. С. 11-17.
- Куст Г.С., Андреева О.В., Шкляева Д.С., Лобковский В.А. 2022. О возможностях достижения нейтрального баланса деградации земель в странах Каспийского региона (на примере России, Казахстана, Туркменистана) // *Изменение климата в регионе Каспийского моря*. Материалы Международной научной конференции. Астрахань. С. 256-258.
- Лавров С.А. 2019. Закономерности формирования испарения с поверхности суши и воды под влиянием климатических изменений // *Водное хозяйство России*. № 1. С. 4-23.
- Лобковский В.А., Андреева О.В., Куст Г.С. 2022. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. Т. 86. № 1. С. 9-27.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» 2019 / Ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Институт географии РАН, МБА. Т. 2. 476 с.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» 2021 / Ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М. Т. 3. 700 с.
- Новикова Н.М., Волкова Н.А., Уланова С.С., Шаповалова И.В., Вышивкин А.А. 2011. Ответные реакции экосистем на изменение водного режима территорий в степной зоне // *Аридные экосистемы*. Т. 17. № 3 (48). С. 38-48. [Novikova N.M., Volkova N.A., Ulanova S.S., Shapovalova I.B., Vyshivkin A.A. 2011. Ecosystem responses to hydrological regime changes in the steppe zone // *Arid Ecosystems*. Vol. 1. No. 3. P. 142-148.]
- Павлова В.Н., Сиротенко О.Д. 2012. Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // *Труды ГГО*. Вып. 565. С. 132-151.
- Полужтов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. 2006. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета. 396 с.
- Роде А.А. 1965. Основы учения о почвенной влаге. Ленинград. 664 с.
- Сажин А.Н., Петров С.А., Погосян Н.В., Васильев Ю.И., Волошенкова Т.В., Козина О.В., Моников С.Н. 2006. Связь внутривековых изменений увлажнения со сменой циркуляционных эпох и ее отражение в природных процессах Атлантико-Европейского сектора Евразии // *Известия РАН. Серия географическая*. № 1. С. 26-34.
- Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н. 2022. Летние климатические изменения на юге Европейской России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. Т. 8. № 1. С. 107-121.
- Черенкова Е.А. 2017. Сезонные осадки на территории Восточно-Европейской равнины в периоды теплых и холодных аномалий температуры поверхности Северной Атлантики // *Известия РАН. Серия географическая*. № 5. С. 72-81.
- Черенкова Е.А., Бардин М.Ю., Платова Т.В., Семенов В.А. 2020. Влияние долгопериодной изменчивости температуры поверхности океана в Северной Атлантике и изменений атмосферной циркуляции на повторяемость сильных атмосферных засух летом на юге Восточно-Европейской равнины // *Метеорология и гидрология*. № 12. С. 5-19.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. *Crop Evapotranspiration* (FAO 56). Rome: FAO. 300 p.
- Amatya D.M., Irmak S., Gowda P., Sun G., Nettles J.E., Douglas-Mankin K.R. 2016. Ecosystem Evapotranspiration: Challenges in Measurements, Estimates, and Modeling // *Transactions of the ASABE*. No. 59(2). P. 555-560.
- Copernicus. 2022. Climate Change Service [Электронный ресурс <https://climate.copernicus.eu> (дата обращения 07.12.2022)].
- Cowie A.L., Orr B.J., Castillo Sanchez V.M., Chasek P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagie G., Maron M., Metternicht G.I., Minelli S., Tengberg A.E., Walter S., Welton S. 2018. Land in Balance: The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality // *Environmental Science & Policy*. No. 79. P. 25-35.
- Gleam. 2022 [Электронный ресурс <https://www.gleam.eu/> (дата обращения 07.12.2022)].
- Gruber A., Scanlon T., van der Schalie R., Wagner W., Dorigo W. 2019. Evolution of the ESA CCI Soil Moisture Climate Data Records and Their Underlying Merging Methodology // *Earth System Science Data*. No. 11. P. 717-739.
- Martens B., Miralles D.G., Lievens H., van der Schalie R., de Jeu R.A.M., Fernández-Prieto D., Beck H.E., Dorigo W.A., Verhoest N.E.C. 2017. GLEAM v3: Satellite-based Land Evaporation and Root-zone Soil Moisture //

- Geoscientific Model Development. No. 10. P. 1903-1925.
- Singh R.P., Roy S., Kogan F.* 2003. Vegetation and Temperature Condition Indices from NOAA AVHRR Data for Drought Monitoring over India // *International Journal of Remote Sensing*. No. 24. P. 4393-4402.
- Wang X., Wu C., Peng D., Gonsamo A., Liu Z.* 2018. Snow Cover Phenology Affects Alpine Vegetation Growth Dynamics on the Tibetan Plateau: Satellite Observed Evidence, Impacts of Different Biomes, and Climate Drivers // *Agricultural and Forest Meteorology*. No. 256. P. 61-74
- Wohlfahrt G., Ischick C., Thalinger B., Hörtnagl L., Hammerle A.* 2010. Insights from Independent Evapotranspiration Estimates for Closing the Energy Balance – A grassland Study // *Vadose Zone Journal*. No. 9 (4). P. 1025-1033.
- Wu M., Schurgers G., Rummukainen M., Smith, B., Samuelsson P., Jansson C., Siltberg J., May W.* 2016. Vegetation–Climate Feedbacks Modulate Rainfall Patterns in Africa under Future Climate Change // *Earth System Dynamics*. No. 7. P. 627-647.
- Zveryaev I.I., Arkhipkin A.V.* 2019. Leading Modes of Interannual Soil Moisture Variability in European Russia and Their Relation to Regional Climate during the Summer Season // *Climate Dynamics*. No. 53. P. 3007-3022.

ПОЛОЖЕНИЕ ПРОТОК ПАЛЕОДЕЛЬТЫ ВОЛГИ В КОНЦЕ ХВАЛЫНСКОГО ВРЕМЕНИ ПО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© 2023 г. Д.М. Лобачева, Е.Н. Бадюкова, Р.Р. Макшаев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Россия, 119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1.

E-mail: lobachevadm@my.msu.ru, lob.dascha@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.12.2022. После доработки 30.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Многие геологические разрезы вдоль долины Нижней Волги активно изучаются с конца XIX века. Результаты полевых работ показали, что во всех изученных четвертичных разрезах по долине Нижней Волги аллювиальные отложения хвалынского времени (конец позднего плейстоцена) отсутствуют. Было проведено геоморфологическое картирование и изучено много обнажений вдоль долины Волги и на бэровских буграх. В хвалынское время Волга, вероятнее всего, не протекала на месте ее современного положения. Целью настоящей статьи являлось определение местоположения палеорусел Волги на основе геоморфологических данных, в особенности пространственного расположения и морфологии бэровских бугров. Крупная многорукавная дельта (около 200-210 км шириной), по размерам сходная, вероятно, с современной дельтой Лены, находилась существенно севернее современной. Дельта существовала в виде серии мелких и крупных рукавов: на месте современной Волго-Ахтубы был вероятно небольшой центральный рукав, на западе располагался Сарпинский рукав, а на востоке – Эльтон-Хакский. В начале голоцена Сарпинский и Хакский рукава начали отмирать, и большая часть воды стала устремляться по центральному рукаву, формируя современную долину Волго-Ахтубы. Сарпинско-Даванская система проток продолжала быть активной в период после формирования комплекса бэровских бугров, то есть в начале голоцена во время Мангышлакской регрессии.

Ключевые слова: Каспийское море, Нижняя Волга, геоморфология и палеогеография, бэровские бугры, дельта Волги, поздний плейстоцен, хвалынское время, гигантская рябь течения.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-15-23

EDN: VTESSF

С конца XIX века велось изучение геологических разрезов вдоль Нижней Волги с целью построения палеогеографических реконструкций и составления подробной стратиграфии региона Северного Прикаспия. Понимание палеогеографических условий – важный инструмент в построении любой реконструкции, как ландшафтной, экологической, так и геологической, поскольку рельеф является основной составляющей ландшафтного разнообразия. Волга представляет собой локальный климатообразующий фактор и местный базис эрозии, который влияет на пространственное расположение окружающих ландшафтов. Анализ литературы и результаты многолетних полевых работ различных научных коллективов показали, что во всех изученных разрезах вдоль Нижней Волги (таких как Светлый Яр, Райгород, Черный Яр, Нижнее Займище, Цаган-Аман, Ленинск, Никольское, Копановка, Селитренное) вскрываются мощные толщи осадков ниже- и верхнехазарского возраста, представленные сложным мощным комплексом аллювиальных, лиманных, дельтово-морских и морских образований. Они перекрыты субаэральными супесями и почвами голоценового возраста, маломощными морскими прибрежными песками и шоколадными глинами. Последние являются осадками преимущественно морского и аллювиально-морского генезиса, образовавшимися в лагунах и эстуариях Каспийского моря хвалынского возраста (конец позднего плейстоцена → начало голоцена Q_3^{hv} → Q_4 ; Бадюкова, 2000а, б). Анализ наиболее крупных и подробных работ показал, что хвалынский аллювий не обнаруживается ни в одном из разрезов вдоль нижней Волги (Гричук, 1954; Федоров, 1957; Васильев, 1961; Москвитин, 1962; Свиточ, 1967; Шкатова, 1975; Обедиентова, 1977; Седайкин, 1988; Янина, 2009; Lebedeva et al., 2018;

Zastrozhnov et al., 2018, 2021; Krijgsman et al., 2019; Бадюкова, 2000а, б; Kurbanov et al., 2021, 2022; Taratunina et al., 2022; Butuzova et al., 2022). Значительная часть аллювиально-дельтовых отложений могла размываться при регрессии моря и понижении базиса эрозии Волги, однако полное их отсутствие во всех разрезах как на правом, так и на левом берегах Волго-Ахтубы необъяснимо при размерах такой крупной реки.

Из вышесказанного следует, что в хвалынское время река Волга, вероятнее всего, не протекала на месте своего современного положения от Волгограда и до впадения в Каспийское море, а имела несколько отличную от современной конфигурацию русел и их расположения в пространстве, в связи с чем возникает вопрос о том, где было расположено ее русло в Северо-западном Прикаспии в хвалынское время. О прежних положениях Волги и других рек на территории Северного Прикаспия в конце плейстоцена-голоцене есть ряд упоминаний в некоторых работах (Жуков, 1937; Захаров, 1940; Труды прикаспийской экспедиции, 1958; Четвертичные отложения ..., 1978; Аристархова, Турикешев, 1983; Бадюкова, 2000а, б).

Целью настоящей статьи является определение местоположения палеорусел Волги на основе геоморфологических данных. Достижению цели, в особенности ниже нулевой изогипсы, помог анализ пространственного расположения и особенностей строения бугров (в пределах позднихвалынского бассейна в Северном Прикаспии), т.к. данные формы рельефа являются неотъемлемой частью рельефа исследуемой территории и служат своеобразными морфологическими и возрастными маркерами в понимании эволюции флювиальных систем Нижнего Поволжья и Сарпы. В задачи входил поиск и сравнение картографической информации и литературы, посвященной палеогеографии исследуемого региона; составление геоморфологической карты Нижнего Поволжья на основе синтеза данных.

Материалы и методы

Объектом исследования является Северо-Западная часть Прикаспийской низменности, а именно, Нижней Волги и прилегающих к ней территорий аккумулятивной морской равнины, простирающейся на западе до подножия Восточных Ергеней и на востоке на левом берегу переходящей в крупные эоловые массивы Рын-Песков (Западный Казахстан). В административном делении территория исследования (картирования) охватывает целиком Астраханскую область, северную часть Республики Калмыкия, южную часть Волгоградской области и на востоке – северо-запад Атырауской и Западно-Казахстанской областей Казахстана. Основное внимание было направлено на исследование отложений вдоль Нижней Волги и ряда скважин на прилегающих территориях на основе литературных и фондовых материалов. Отдельное внимание уделялось внутреннему строению бэровских бугров, т.к. именно их морфология и распространение послужили ключом к пониманию геоморфологических особенностей рельефа на исследуемой территории.

Бэровские бугры (ББ) – это, как правило, вытянутые гряды, ориентированные чаще всего близко к субширотному направлению и получившие название в честь члена Российского географического общества Карла фон Бэра, который впервые привел описание данных форм рельефа (Бэр, 1856). Бэровские бугры широко распространены на территории Северного Прикаспия. Они простираются в виде отдельных гряд и возвышений неправильной формы по всей Прикаспийской низменности от устья р. Кумы (Кизлярский залив на западном берегу) до устья р. Эмбы (восточное побережье Каспийского моря). Наибольшая площадь распространения ББ приурочена к нижнему течению р. Волги и ее дельте. Они не идентифицируются выше горизонталей 0-2 м н.у.м. БС, которые соответствуют уровню позднихвалынской трансгрессии (Badyukova, 2018; Лобачева и др., 2021).

В палеогеографическом отношении исследуемая территория неоднократно испытывала влияние трансгрессивно-регрессивной ритмики Каспия (Свиточ, 2014). В конце позднего плейстоцена развивалась одна из крупнейших трансгрессий Каспия в плейстоцене – раннехвалынская, достигавшая уровня 45-48 м н.у.м. БС (Жуков, 1945; Федоров, 1957). Раннехвалынская трансгрессия сформировала обширную морскую аккумулятивную равнину в пределах высот от 0 до 45 м н.у.м. БС, занимающую значительную часть Северной Прикаспийской низменности (Свиточ, 2014). Последовавший регрессивный этап – Енотаевская регрессия, – предположительно, развивался в самом конце позднего плейстоцена 13-12 тыс. лет назад (Butuzova et al., 2022). В этот этап уровень Каспийского моря снижался, по разным оценкам, до отметок от -42 до -105 м н.у.м. БС (Леонтьев, 1961; Варущенко и др., 1987; Рычагов, 1997; Маев, 1994). Позднихвалынская трансгрессия достигала

отметок 0 м н.у.м. БС (Федоров, 1957; Варущенко и др., 1987; Рычагов, 1997). Относительно возраста развития позднехвалынской трансгрессии существует несколько точек зрения, основывающихся в том числе на данных абсолютного датирования, которые попадают в интервалы времени 19-12 тыс. л. назад (Безродных и др., 2015), 14-12 тыс. лет назад (Arslanov et al., 2016) и 11-8.5 тыс. лет назад (Макшаев, Ткач, 2023).

При последующем понижении уровня Каспия развивалась мангышлакская регрессия. Для данного этапа было характерно формирование Бэровских бугров (Лобачева и др., 2021). После того как уровень моря спадал и более не поднимался выше -19-20 м.н.у.м. БС, в Новокаспийскую трансгрессию шло образование дельтовых протоков Волги. Современная долина Волги формировалась начиная с Мангышлакской регрессии, однако, судя по тому, что бэровские бугры прорезаны и проработаны рядом протоков, формирование гряд было относительно раньше, чем у протоков. Переувлажнение верхнего рыхлого слоя осадков происходит с голоцена, результатом чего стало появление крупных бугристых и барханных песков. Результаты радиоуглеродного датирования хвалынских отложений бугров хорошо сопоставляются с данными, полученными по методу ОСЛ-датирования¹. Так, возраст отложений бугров в районе п. Косика (на правом берегу Волги в 100 км к СЗ от Астрахани) попадает в интервал 18-16.7 тыс. лет назад (Zastrozhnov et al., 2021).

Основным результатом работы стала геоморфологическая карта на указанную территорию, легенда которой была составлена по хрономорфогенетическому принципу и носит аналитический характер, т.е. главным методом работы стало геоморфологическое картографирование. Составление карты было проведено в программе ArcGIS (версия 10.4.1), с использованием высотнотопографической основы SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), где размер каждого листа составил 1° x 1°. Цифровая модель рельефа стала, пожалуй, наиболее важным источником получения информации для построения геоморфологической карты, т.к. после расклассифицирования стали видны протоки, лиманные понижения, бэровские бугры. При помощи аэрофотоснимков очень отчетливо были выделены участки эоловых массивов, а также различные антропогенные объекты. Более четко, чем по цифровой модели рельефа, можно было провести линии эрозионных уступов Волго-Ахтубы, а также береговые линии стадий отступления моря, т.к. они имеют четкую высотную привязку. Были использованы также космические снимки с открытых источников геологической службы США USGS: Landsat 8 level-1 и Bing Satellite. Они служили дополнительным источником информации о рельефе исследуемого участка: особенно четко по ним выделялись эоловые массивы бугристо-ячеистых песков (желтоватые и белесые пятна на серо-фиолетовом фоне), а также бэровские бугры («морщинистый рельеф» с характерным теневым рисунком), берущие свое начало от границы верхнехвалынского морского бассейна (0-2 м.н.у.м. БС). Также по снимкам хорошо дешифрировались протоки и ложбины (некоторые из которых были обводнены и выглядели на снимке как слегка блестящие бело-голубые пятна), а пойма Волги на космоснимке наиболее контрастна (темно-зеленый тон). Верификация дешифрирования проводилась на основе топографических карт и во время полевых исследований.

Геологическая основа ландшафтов была получена при помощи серии веб-материалов (Каталог растров, 2023), а именно, геологических карт 1: 1000000 и 1: 200000 масштабов, карты четвертичных отложений двух поколений 2000 и 2005 гг., которые служили основой определения возраста форм рельефа в совокупности с собственными данными. В основном использовалась карта четвертичных отложений третьего поколения (ГТК-1000-3, лист L-38, карта среднемиоцен-четвертичных образований; рис. 1). Какие-либо геоморфологические карты или схемы для исследуемой территории отсутствуют в открытом доступе в интернете, что делает нашу работу актуальной. Более ранняя версия геоморфологической карты была опубликована нами ранее (Лобачева и др., 2022).

Результаты и обсуждение

В хвалынское время русло Волги в нижнем течении разделялось на серию рукавов. По топографическим картам видно, что в 50-90 км к востоку от современного русла Волги прослеживается цепочка озер. Среди них соленые озера возле пос. Азгир, Нижний Баскунчак, Балкудук, Асан, Мынтобе. В хвалынское время урочище Хаки (ныне – соленое озеро) было одним из

¹ ОСЛ-датирование – метод датирования отложений и событий оптически стимулированной люминесценцией.

эстуариев Северного Каспия, куда, вероятно, впадали воды одной из восточных протоков ПалеоВолги (Геоморфология берегов ..., 1977).

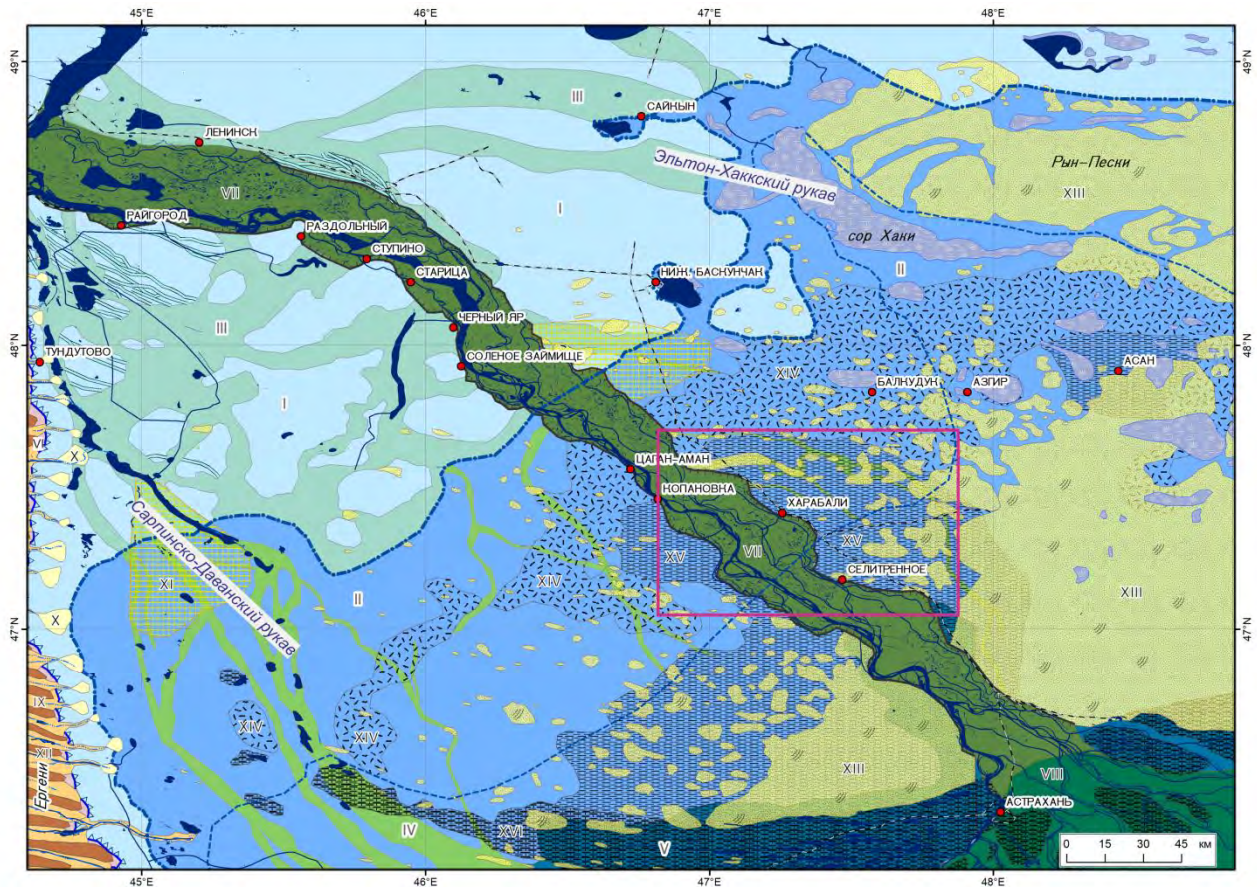


Рис. 1. Геоморфологическая карта Нижнего Поволжья и легенда к ней. Серой рамкой обведен участок отображенный на рисунке 2.

Продолжение рисунка 1. Легенда к геоморфологической карте Нижнего Поволжья.

1. Рельеф морского происхождения:

- I Морская аккумулятивная равнина раннехвалынского возраста $Q_3 hv_1^1$, осложненная суффозионными формами
- II Морская поверхность позднехвалынского возраста $Q_3 hv_2^1$ (высота до 0-2 м н.у.м. БС)
- V Морская новокаспийская равнина раннеголоценового возраста Q_4^{nk}
- VI Склоны Ергеней абразионные, переработанные последующими субаэральными процессами возраста Q_{1-3}

2. Рельеф флювиального и озерного происхождения:

- III Палеопотоки Волги приуроченные к морским равнинам $Q_3 hv_1^2$
- IV Палеопотоки приуроченные к морским равнинам $Q_3 hv_2^2$
- VII Современная пойма Волги возраста Q_4
- VIII Дельта Волги возраста Q_4

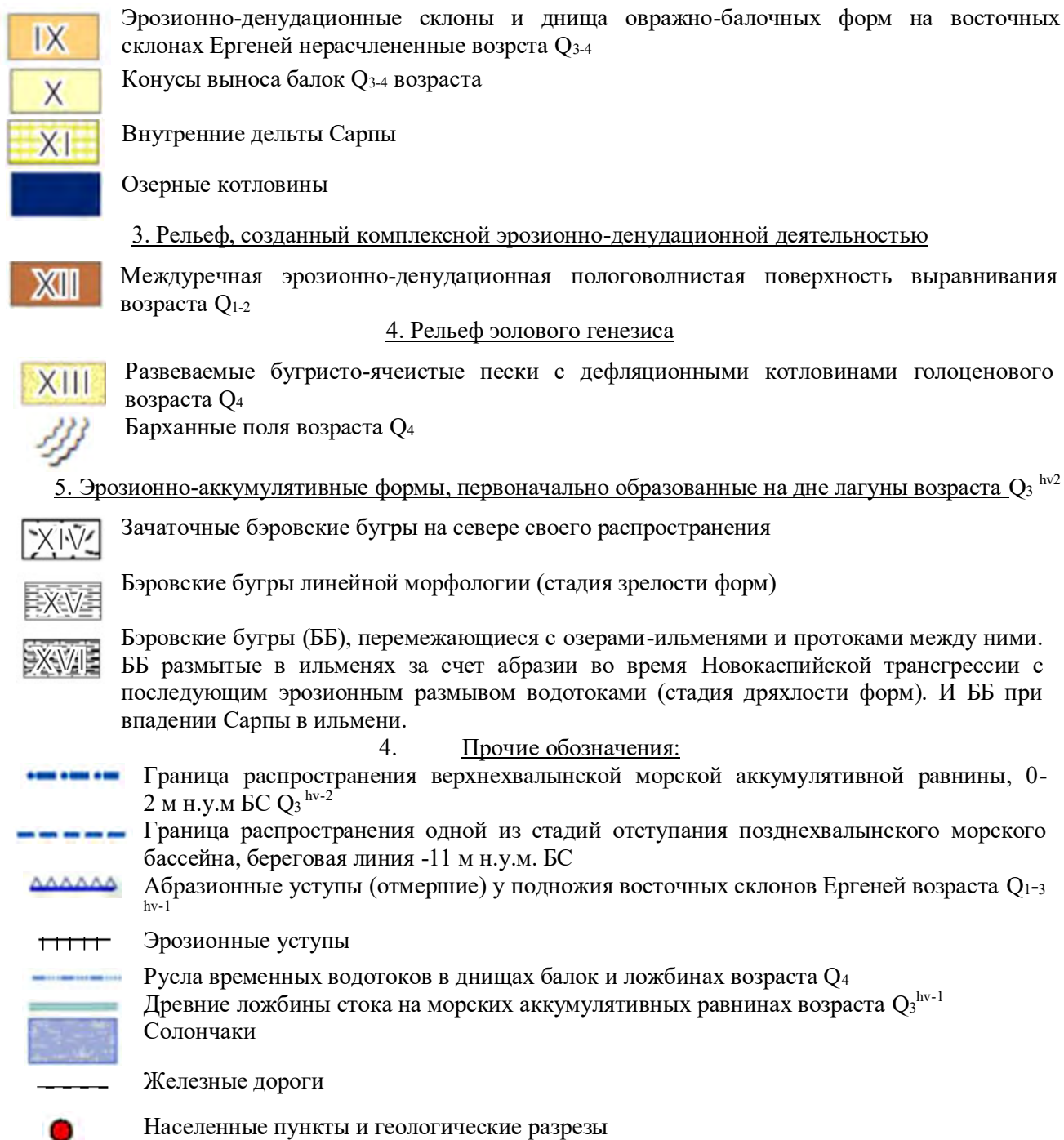


Рис. 1 (Продолжение). Легенда к геоморфологической карте Нижнего Поволжья.

Крайний западный рукав Волги пролегал вдоль подножия склонов Восточных Ергеней, эродировал поверхность аккумулятивной морской хвалынской равнины, в результате чего сформировалась Сарпинско-Даванская ложбина. К настоящему времени ложбина разделена многочисленными пролювиальными конусами, сформированными временными водотоками в балках на восточных склонах Восточных Ергеней, на ряд замкнутых понижений, занятых озерами или солончаками. Анализ карт и литературы позволил составить подробную геоморфологическую карту, представленную в данной работе. На ней вслед за различными авторами (Жуков, 1937; Николаев, 1957; Труды прикаспийской экспедиции, 1957-1958; Леонтьев, Фотеева, 1965; Аристархова, Турикешев, 1983) удалось отобразить многочисленные разветвленные палеопотоки,

ложбины и дельты ранне- и позднехвалынского возраста, простирающиеся как в меридиональном направлении, так и в субширотном. Значительная часть палеоврезов начинается в северной части Сарпинской ложбины, расположенной у Красноармейского района Волгограда к западу от Райгорода. Некоторые палеопотоки простираются на восток и юго-восток и, судя по топографии, протягиваются через Ахтубу на левый берег Волги, прослеживаются в рельефе далее на ССВ, где многими скважинами на междуречьях вскрываются дельтово-морские отложения, залегающие в понижениях хазарского рельефа (Доскач, 1956). На правобережье Волги наиболее крупный палеоврез фиксируется между селами Раздольный и Ступино. Ширина серии палеопотоков достигает здесь 15 км, а глубина вреза – 8-10 м. Вторая серия меньшей ширины, между селами Старица и Черный Яр, простирается на ЮЮЗ, сливаясь далее с ложбиной Сарпа-Даван.

Между палеопотоками расположены останцовые возвышенности, сложенные аллювиально-морскими отложениями хазарского возраста и хвалынскими шоколадными глинами с песчаными прослоями, строение которых вскрывается вдоль Нижней Волги в изученных разрезах, таких как Светлый Яр, Райгород, Соленое Займище, а также вдоль Сарпинской ложбины. Так, в обнажении в районе южнее сел. Тундутово вскрывается супесчано-алевролитовая и глинистая тонкослоистая толща. В целом она достаточно однородная, имеются отдельные маломощные прослои с мелкими раковинами и детритом, а также грубозернистым материалом в виде небольших прослоев и линз. Данная мощная толща сформировалась в авандельтовых и дельтовых условиях с повышенной мутностью. Накопление отложений шло на фоне постепенного подъема уровня, где скорость подъема была равна скорости накопления осадков, о чем свидетельствует однородность материала (Бадюкова и др., 2021).

Ложбина Даван – продолжение Сарпинской ложбины, расширяется до 11 км и отклоняется на ЮВ. Левый её борт выражен в виде резкого обрыва высотой до 8 м, правый борт длинный и пологий. Окончание ложбины по её западному борту проследить невозможно, т.к. он плавно переходит в поверхность, осложненную пологими увалами (Николаев, 1957). По днищу ложбины протягиваются бэровские бугры с относительной высотой до 8 м и длиной отдельных останцов бугровых комплексов в 5-6 км. Днище ложбины сливается с обширными такырами, расположенными в межбугровых понижениях. Бэровские бугры здесь представлены в виде отдельных останцов, где бугровая толща залегаёт на шоколадных глинах хвалынского возраста, накопившихся в эстуарно-лагунных условиях (Макшаев, 2019). Последние, в свою очередь, обнажаются в геологических разрезах, что говорит о том, что первоначальный бугровый комплекс рельефа испытал активное эрозионное воздействие речных водотоков в Даванской ложбине. Следовательно, эти водотоки были активны в период после формирования бугрового комплекса рельефа, т.е. в начале голоцена при Мангышлакской регрессии. Именно этим можно объяснить незначительную мощность аллювия в ложбине, поскольку водотоки следовали за отступающим уровнем хвалынского моря, размывая как аллювий, так и более древние отложения и бэровские бугры. Наши исследования позволяют считать бэровские бугры формами рельефа, изначально образовавшимися на дне обширных, так называемых пластовых потоков, следовавших из лагуны Северного Каспия в Маныч и далее в Черное море в конце позднехвалынского времени (Badyukova, 2018; Лобачева и др., 2021). Изрезанный берег лагуны и несколько береговых линий отступающего хвалынского моря в значительной мере сохранились в современном рельефе. Следовательно, фиксируемые в долине Даван бугры генетически не связаны с её формированием. Аналогичная ситуация наблюдается в дельте Волги, где волновая активность в ильменях под действием доминирующих восточных ветров и поступления воды во время паводков и половодий из реки привели к существенному изменению рельефа бэровских бугров. В ранее опубликованных работах упоминалось, что их происхождение не связано с формированием дельты Волги (Badyukova, 2018; Лобачева и др., 2021).

В районе пос. Харабали – Ленино расположен весьма крупный массив грядово-ложбинного рельефа бэровских бугров, простирающихся в направлении на ЗЮЗ. Если сравнить рельеф на правом и левом бортах Волги, то можно отметить его морфологическую схожесть и однородность, т.к. рельеф на правом берегу как бы продолжает рельеф гряд на левом борту. Весьма выражены в рельефе бугров протоки на левобережье Волги к юго-западу от Харабали, где они прорезают в меридиональном направлении бугровые массивы, что говорит о более позднем формировании, нежели у бугров (рис. 2). Это, как и отсутствие аллювиальных отложений позднехвалынского

возраста, дает основание предположить, что современная долина еще не была сформирована окончательно, как это наблюдается в настоящее время. Ее происхождение связано с падением уровня моря во время мангышлакской регрессии, т.е. после образования бэровских бугров. Необходимо заметить, что сравнительно неизменный рельеф бугров расположен не в дельте, где обычно принято рассматривать классическое распространение и морфологию бугров, а севернее (рис. 1). Например, в районе Селитренное – Харабали, где на рельеф бугрового комплекса влияли только субаэральные процессы, в основном склоновые, и где эрозия и абразия отсутствовали.

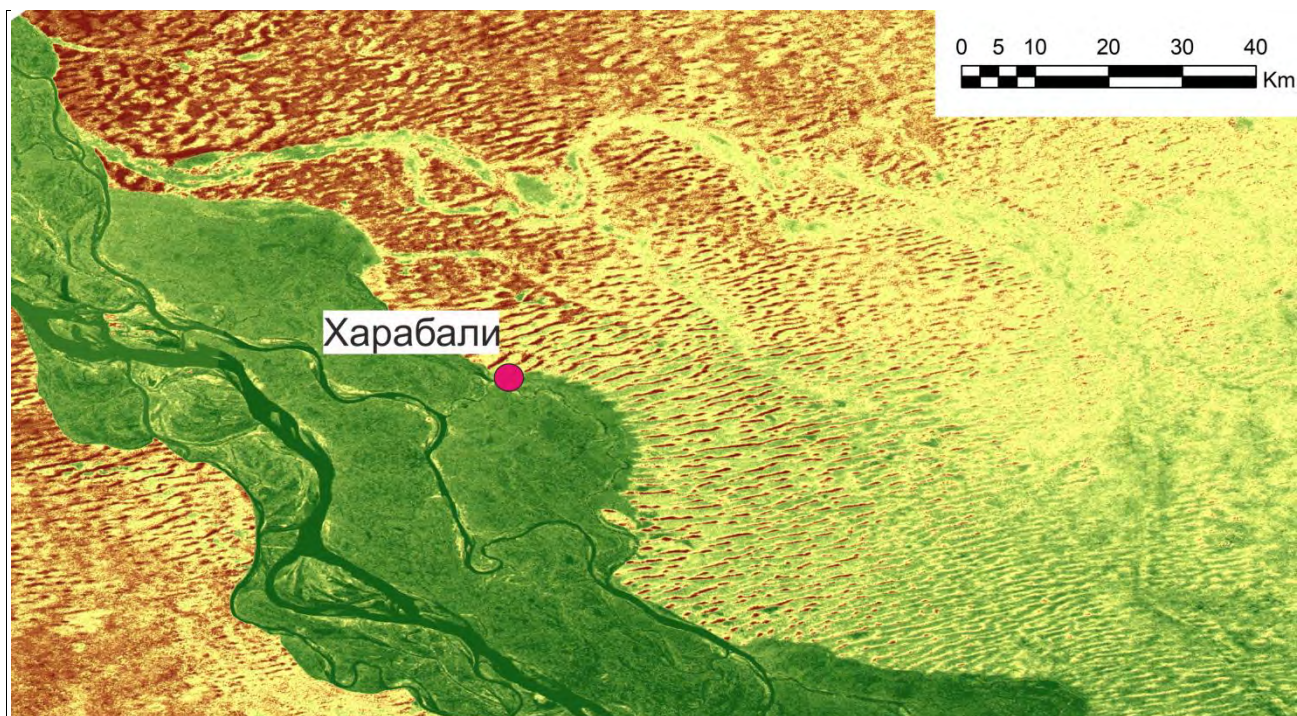


Рис. 2. Цифровая модель рельефа Нижнего Поволжья в районе г. Харабали, на которой видны палеопотоки послехвалынского возраста, прорезающие бугровый рельеф (получено с помощью SRTM).

Выводы

В заключение следует подчеркнуть, что детальный анализ картографических материалов, литературы, космических снимков и пространственного расположения бэровских бугров помог нам заметить ряд геоморфологических особенностей рельефа Северного Прикаспия и выявить пространственное местоположение палеопотоков Волги в конце хвалынского времени. Одной из целей данной работы была демонстрация строгой взаимосвязи палеопотоков, палеodelьты Волги и бэровских бугров в конце хвалынского времени. Имея представления о возрасте бугров, авторы пришли к выводу о времени существования проток Волги. Выявлено, что эти водотоки были активны в период после формирования бугрового комплекса рельефа, то есть в начале голоцена при спаде уровня моря в Мангышлакскую регрессию.

Таким образом, Волга впадала в Северный Каспий и формировала крупную многорукавную дельту выполнения в среднем шириной около 200-210 км. Это было крупное многорукавное образование, крупнее современной дельты и по размеру, скорее всего, сопоставимое с современной дельтой Лены (ширина ее составляет 230-260 км).

К концу позднехвалынского времени Волга в своем нижнем течении функционировала в виде серии крупных дельтовых рукавов: на месте современной Волго-Ахтубы вероятно существовал сравнительно небольшой центральный рукав, на западе был Сарпинский рукав, а на востоке Эльтон-Хакский. Они были соединены между собой обширной сетью проток, рельеф которых до сих пор в значительной степени сохранился, в особенности на правобережье Волги. В самом конце позднехвалынского времени Сарпинский и Хакский рукава начали отмирать, а большая часть стока

стала устремляться по центральному рукаву, формируя современную долину Волго-Ахтубы, наблюдаемую от Волгограда до Астрахани. Представленная концепция является лишь некоей схематизацией этапов развития рельефа Нижнего Поволжья.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 20-05-00608 «Эволюция природной среды Среднего Поволжья в позднем плейстоцене: хронология, климаторитмика и корреляция с событиями Каспийского региона»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристархова Л.Б., Турикешев Г.Т.* 1983. Реконструкция позднеплейстоценовой речной сети Прикаспийской низменности // Геоморфология. № 4. С. 62-67.
- Бадюкова Е.Н.* 2000а. Генезис хвалынских (плейстоцен) шоколадных глин Северного Прикаспия // Бюллетень МОИП. Отделение Геология. Т. 75. Вып. 5. С. 25-31.
- Бадюкова Е.Н.* 2000б. Происхождение «врезанных» или слепых дельт на Волго-Уральском междуречье в свете новых представлений об истории колебаний уровня Каспия // Геоморфология. № 3. С. 72-83.
- Бадюкова Е. Н., Лобачева Д.М., Макшаев Р.Р.* 2021. Изменения местоположения и облика дельты Волги в конце плейстоцена // Пути эволюционной географии. Вып. 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко, 22-25 ноября 2021 г., Москва. Т. 2. М. С. 25-28.
- Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Сорокин В. М., Янина Т.А.* 2015. Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия // Доклады Академии наук. Т. 462. № 1. С. 95-99.
- Бэр К.М.* 1856. Ученые записки о Каспийском море и его окрестностях // Записки русского географического общества. Кн. XI. С. 181-224.
- Варуценко С.И., Варуценко А.Н., Клиге Р.К.* 1987. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремене. М.: Наука. 255 с.
- Васильев Ю.М.* 1961. Антропоген Южного Заволжья. М. Изд-во АН СССР. 128 с.
- Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. 1977 / Ред. О.К. Леонтьев, Е.Г. Маев, Г.И. Рычагов. М.: Изд-во Московского университета. 210 с.
- Гричук В.П.* 1954. Материалы к палеоботанической характеристике четвертичных и плиоценовых отложений северо-западной части Прикаспийской низменности // Труды института географии. Т. 61. М.: Изд-во АН СССР. С. 5-79
- Доскач А.Г.* 1956. О генезисе рельефа Волго-Уральского междуречья // Труды Института географии. Вып. 69. С. 2-36.
- Жуков М.М.* 1937. Геоморфология Северо-западного Прикаспия // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Геология. Т. 15. Вып. 3. С. 168-186.
- Жуков М.М.* 1945. Плиоценовая и четвертичная история Прикаспийской впадины // Проблемы Западного Казахстана. М.: Изд-во АН СССР. Т. 2. 150 с.
- Захаров Л.З.* 1940. Прошлое Сарпы // Природа. № 2. С. 66-71.
- Каталог растров. 2023 [Электронный ресурс <http://webmapget.vsegei.ru/index.html> (дата обращения 12.11.2022)].
- Леонтьев О.К.* 1961. Древние береговые линии четвертичных трансгрессий Каспийского моря // Труды НИИ геологии АН ЭстССР. Т. 8. С. 45-64.
- Леонтьев О.К., Фотеева Н.И.* 1965. Геоморфология и история развития северного побережья Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ. 151 с.
- Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р.* 2021. Литофациальное строение и условия накопления отложений бэровских бугров Северного Прикаспия // Вестник Московского университета. Серия 5 «География». Вып. 6. С. 99-111.
- Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р.* 2022. Нижняя Волга в начале голоцена // Динамика экосистем в голоцене. Сборник статей по материалам всероссийской научной конференции, 17-21 октября 2022 г., Санкт-Петербург. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена. С. 94-98.
- Маев Е.Г.* 1994. Регрессии Каспийского моря (их место в четвертичной истории Каспия и роль в формировании рельефа дна) // Геоморфология. С. 94-101.
- Макшаев Р.Р.* 2019. Палеогеография Среднего и Нижнего Поволжья в эпоху раннехвалынской трансгрессии Каспия. Автореф. дисс. ... уч. степ. канд. геогр. наук. 26 с.
- Макшаев Р.Р., Ткач Н.Т.* 2023. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования // Геоморфология. Т. 1. № 1. С. 37-54.
- Москвитин А.И.* 1962. Плейстоцен Нижнего Поволжья // Труды ГИН АН СССР. Вып. 64. М.: Изд-во АН СССР. 264 с.
- Николаев В.А.* 1957. Сарпинско-Даванская ложбина и ее происхождение // Известия ВГО. Т. 89. Вып. 4. С. 333-338.
- Обедиентова Г.В.* 1977. Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М.: Наука. 239 с.

- Рычагов Г.И. 1997. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ. 268 с.
- Свиточ А.А. 1967. Атлас-определитель моллюсков р. *Didacna Eichwald* из четвертичных отложений Центрального Прикаспия. М.: Недра. 87 с.
- Свиточ А.А. 2014. Большой Каспий: строение и история развития. М.: Изд-во Московского университета. 272 с.
- Седайкин В.М. 1988. Опорные разрезы четвертичных отложений Северо-Западного Прикаспия. М.: ВИНТИ. 190 с.
- Труды Прикаспийской экспедиции. 1958 / Ред. М.А. Глазовская. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Т. 5. 238 с.
- Федоров П.В. 1957. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря // Труды Геологического института АН СССР. Вып. 10. 297 с.
- Четвертичные отложения, рельеф и неотектоника Нижнего Поволжья. 1978 / Ред. А.В. Востряков, Н.И. Кузнецова, С.А. Макаров. Саратов: Изд-во Саратовского университета. 184 с.
- Шкатова В.К. 1975. Стратиграфия плейстоценовых отложений низовьев рек Волги и Урала и их корреляция: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Л.: Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт. 28 с.
- Янина Т.А. 2009. Палеогеография бассейнов Понто-Каспия в плейстоцене по результатам малакофаунистического анализа. Автореф. ... док. геог. наук. М.: Географический факультет МГУ. 42 с.
- Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L., Svitoch A.A., Makshaev R.R., Maksimov, F.E., Chernov S.B., Tertychniy N.I., Starikova A.A. 2016. On the Age of the Khvalynian Deposits of the Caspian Sea Coasts According to ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ methods // *Quaternary International*. Vol. 409. P. 81-87.
- Badyukova E.N. 2018. Genesis of the Baer Knolls Developed in the Northern Caspian Plain // *Quaternary International*. Vol. 465. P. 11-21.
- Butuzova E.A., Kurbanov R.N., Taratunina N.A., Makeev A.O., Rusakov A.V., Lebedeva M.P., Murray A.S., Yanina T.A. 2022. Shedding Light on the Timing of the Largest Late Quaternary Transgression of the Caspian Sea // *Quaternary Geochronology*. Vol. 73. P. 101378.
- Krijgsman W., Tesakov A., Yanina T., Lazarev S., Danukalova G., Van Baak C.G., Agustí J., Alçiçek M.C., Aliyeva E., Bista D., Bruch A., Büyükmeriç Y., Bukhsianidze M., Flecker R., Frolov P., Hoyle T.M., Jorissen E.L., Kirscher U., Koriche S.A., Kroonenberg S.B., Lordkipanidze D., Oms O., Rausch L., Singarayer J., Stoica M., van de Velde S., Titov V.V., Wesselingh F.P. 2019. Quaternary Time Scales for the Pontocaspian Domain: Interbasinal Connectivity and Faunal Evolution // *Earth-Science Reviews*. Vol. 188. P. 1-40.
- Kurbanov R.N., Buylaert J.P., Stevens T., Taratunina N.A., Belyaev V.R., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., Solodovnikov D., Koltringerc C., Rogov V.V., Streletskaya I.D., Murray A.S., Yanina T.A. 2022. A Detailed Luminescence Chronology of the Lower Volga Loess-palaeosol Sequence at Leninsk // *Quaternary Geochronology*. Vol. 73. P. 101376.
- Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., Yanina T.A. 2021. First Reliable Chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea Transgression in the Lower Volga River Valley // *Boreas*. Vol. 50. P. 134-146.
- Lebedeva M., Makeev A., Rusakov A., Romanis T., Yanina T., Kurbanov R., Kust P., Varlamov E. 2018. Landscape Dynamics in the Caspian Lowlands since the Last Deglaciation Reconstructed from the Pedosedimentary Sequence of Srednaya Akhtuba, Southern Russia // *Geosciences (Switzerland)*. No. 8. P. 492.
- Taratunina N.A., Buylaert J.P., Kurbanov R.N., Yanina T.A., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Utkina A.O., Murray A.S. 2022. Late Quaternary Evolution of Lower Reaches of the Volga River (Raygorod Section) Based on Luminescence Dating // *Quaternary Geochronology*. Vol. 72. P. 101369.
- Zastrozhnov A.S., Danukalova G.A., Golovachev M.V., Osipova E.M., Kurmanov R.G., Zenina M., Zastrozhnov D.A., Kovalchuk A., Yakovlev A., Titov V.V., Yakovleva T., Gimranov D. 2021. Pleistocene Palaeoenvironments in the Lower Volga Region 1 (Russia): Insights from a Comprehensive Biostratigraphical Study of the Seroglavovka Locality // *Quaternary International*. Vol. 590. P. 85-121
- Zastrozhnov A.S., Danukalova G.A., Osipova E.M., Kurmanov R.G., Golovachev M.V., Titov V.V., Tesakov A.S., Simakova A.N., Trofimova S.S., Zynoviev E.V. 2018. Singil Deposits in the Quaternary Scheme of the Lower Volga Region: New Data // *Stratigraphy and Geological Correlation*. Vol. 26. No. 6. P. 659-697.

УДК 631.4

ГАРМОНИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВ

© 2023 г. К.О. Прокопьева, М.В. Коношкова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12. E-mail: christina.prokopyeva@gmail.com

Поступила в редакцию 15.03.2023. После доработки 28.03.2023. Принята к публикации 04.04.2023.

Засоление почв является одним из главных экологических факторов, который ограничивает рост и продуктивность многих растений. Оценка засоленности почв в разных странах мира проводится разными методами. В России и ряде других стран она оценивается методом водных вытяжек, в международной практике широко применяется метод оценки засоленности по электропроводности вытяжки из почвенных паст. Эти методы трудоемки, поэтому при массовом анализе используют сокращенные методики. Так, в России при солевых съемках почвы часто делают оценку по ведущему токсичному иону (хлору или натрию). В ряде зарубежных стран оценка дается по электропроводности при различных соотношениях почвы к воде (1: 1, 1: 2.5, 1: 5, 1: 10). В данной работе проведены сопоставления разных методов для обоснования возможности использования измерения электропроводности в суспензии 1: 5. Сравнивались следующие методы: 1 – метод определения удельной электропроводности в водной суспензии (1: 5); 2 – метод определения показателей рNa и рCl, измеряемых в водной суспензии (1: 5) с помощью ион-селективных электродов; 3 – определение натрия в водной вытяжке (1: 5) методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Засоление оценивалось в образцах легкоглинистых почв сухостепной зоны преимущественно хлоридно-натриевого химизма засоления. Результаты показали, что при определении активности ионов наибольшая корреляция наблюдается между измерениями удельной электропроводности (кондуктометр) и активности натрия (ион-селективные электроды). Выявлена достаточно тесная связь между удельной электропроводностью и содержанием ионов натрия в водной вытяжке и получена функция пересчета этих показателей: $EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$ (со свободным членом), $EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}$ (без свободного члена). Для оценки степени засоления по показателю удельной электропроводности (1:5) предлагается использовать следующие критерии: 0-0.4 дСм/м – незасоленные, 0.4-0.6 дСм/м – слабозасоленные, 0.6-1 дСм/м – средnezасоленные, 1-1.9 дСм/м – (ильно)засоленные, > 1.9 дСм/м – очень сильнозасоленные. При сопоставлении различных градаций засоленности почв с помощью таблиц сопряженности с использованием хи-квадрат и индекса каппа выявлено наличие статистически значимой сопряженности, что позволяет использовать различные методы анализа почв для оценки степени засоления.

Ключевые слова: засоление; анализ почв; удельная электропроводность; ионоселективные электроды (ИСЭ); натрий; Прикаспийская низменность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-24-35

EDN: WCVAFO

Гармонизация методов исследования почв, результатов анализов и единиц измерения имеет решающее значение для обмена информацией между разными научными группами, создания новых согласованных наборов данных о почвах и принятия решений в целях устойчивого управления почвенными ресурсами (Benedetti, Caon, 2021). В настоящее время такая гармонизация была проведена в отношении содержания почвенного органического вещества. Были установлены корреляционные коэффициенты, называемые педотрансферными функциями, между методами Тюрина и Уолкли-Блэка (Шамрикова и др., 2022; Shamrikova et al., 2022).

В 2022 году создана Национальная сеть почвенных лабораторий Русолан (ФАО ..., 2022), основной деятельностью которой является разработка гармонизированных стандартов в почвоведении, в т.ч. приведение в соответствие национальных и международных методик измерений

для обеспечения сопоставимости и интерпретируемости аналитической информации о почвах, полученной в лабораториях внутри страны, между странами и регионами.

В отношении засоленных почв также проводился сравнительный анализ различных химических методов определения состава и степени их засоления (Копикова, Скулкин, 1990; Хитров, Понизовский, 1990; Сотнева, 2005).

В настоящее время как в отечественном, так и зарубежном почвоведении для оценки засоленности используются разнообразные методы исследования. Традиционным методом оценки в России и ряде других стран является анализ состава водной вытяжки (с соотношением почва: вода 1: 5) и почвенных растворов (Базилевич, Панкова, 1972). В международной практике широко используются критерии оценки по удельной электропроводности фильтратов (экстракта) из почвенных паст (EC_{SE}), разработанные USDA Salinity Laboratory (Diagnosis and Improvement ..., 1954).

Общепринятые методы оценки засоленности почв зачастую являются длительными и трудоемкими. В связи с этим для массового определения засоления почв целесообразно использовать экспресс-методы (Сотнева, 2005). К числу таких методов относятся сокращенные водные вытяжки, в которых определяется содержание отдельных ионов, при этом определяют наиболее информативный ион, четко коррелирующий с суммой токсичных солей; при хлоридном типе засоления – хлорид-ион, при сульфатном – ион натрия; оценка засоления почв по удельной электропроводности и по активности ионов (Хитров, Понизовский, 1990).

Приготовление пасты и экстрактов из паст, также как и водная вытяжка, является трудоемким процессом, поэтому часто измеряется удельная электропроводность в водной суспензии с различным соотношением почвы и воды (1: 1, 1: 2.5, 1: 5, 1: 10). Значения удельной электропроводности (EC) в водной суспензии можно пересчитать в удельную электропроводность экстракта из почвенной пасты (EC_e) с использованием эмпирических коэффициентов (Developments in Salinity ..., 2013). Однако выявленные зависимости не являются универсальными и зависят от конкретной территории и типа почвы, в частности, ее гранулометрического состава.

В России Н.Г. Минашиной (1970), В.С. Муратовой и В.Ю. Маргулисом (1971) была сделана попытка учета гранулометрического состава при оценке засоленности на примере орошаемых почв хлопкосеющей зоны в Средней Азии.

Для тяжелосуглинистых почв сухостепной зоны (Нижнее Заволжье) применительно к культуре озимой пшеницы классификацию засоления почв по результатам анализа почвенных растворов разработали Б.А. Зимовец и З.Н. Кауричев (1976).

В исследованиях Н.И. Сотневой (2005) с разной степенью надежности были установлены критерии оценки степени засоления почв солонцовых комплексов севера Прикаспийской низменности Заволжья по различным показателям, полученным экспресс-методами, в частности, по содержанию иона Na^+ в водных вытяжках и активностью натрия (a_{Na^+}) в водонасыщенных пастах.

В исследованиях Л.П. Копиковой и В.С. Скулкина (1990) результаты сравнения засоления почв по сопряженным данным водных вытяжек и экстрактов из водонасыщенных паст позволили установить связь уровней засоления для гипсоносных почв сероземной зоны Средней Азии хлоридно-сульфатного и сульфатного химизма засоления с низкой емкостью поглощения.

В работе S. Sonmez с соавторами (2008) было показано, что для образцов почв разного гранулометрического состава, отобранных в районе Университета Акдениз (Турция), между значениями удельной электропроводности и концентрации ионов, измеренными в экстрактах насыщенной пасты и в экстрактах с различным соотношением почвы и воды, существует очень высокая и значимая корреляция. На основании полученных результатов был сделан вывод, что экстракты с соотношением (1: 1), (1: 2.5) или (1: 5) почвы к воде могут быть использованы для оценки удельной электропроводности насыщенной пасты и концентрации ионов в почве. Затем были построены регрессионные уравнения для различных соотношений почвы к воде и для почв разного гранулометрического состава.

В работе S. Karadağ с соавторами (2016) показано, что определение содержания натрия в почвенных суспензиях (или экстрактах вытяжек) с помощью ионоселективных электродов хорошо соотносится с данными определения с помощью ионной хроматографии ($R^2 = 0.94$).

В работе J.R. Davenport и J.D. Jabro (2001) для песчаных и суглинистых почв штата Вашингтон

(США) было показано, что ручные ионоселективные электроды могут использоваться для непосредственного измерения содержания ионов в почвах, в частности, для определения ионов калия и натрия при определенных диапазонах содержания влаги в почве.

В работе У. Широкова с соавторами (2000) на примере почв Центральной Азии для оценки засоления почв рекомендуется использовать измерение удельной электропроводности в водной суспензии (1: 1).

На основе литературного обзора можно заключить, что в России метод определения удельной электропроводности почвенной суспензии для оценки засоления не является общепринятым, однако по данному показателю, как показывают зарубежные публикации, можно надежно оценивать степень засоления почв.

Целью данной работы является сопоставление результатов химического исследования засоленности почв, полученных следующими методами для солонцовых почв севера Прикаспийской низменности: 1 – метод определения удельной электропроводности в водной суспензии (1: 5); 2 – метод определения показателей рNa и рCl, измеряемых в водной суспензии (1: 5) с помощью ион-селективных электродов; 3 – определение натрия в водной вытяжке (1: 5) методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Материалы и методы

На территории России засоленные почвы занимают площадь 46 млн. га (Khitrov et al., 2022). На юге страны особенно остро стоит проблема использования и мелиорации засоленных почв. Наибольшие площади засоленные почвы занимают в Калмыкии – 78% от почвенного покрова республики, Астраханской – 56.7% и Волгоградской области – 45%.

Участок, где проводились исследования, располагается на правом берегу р. Волги в северной части Сарпинской низменности (Доскач, 1979), в районе посёлка Ики-Манлан (в 11 км на юго-запад; координаты: 47.965° с.ш., 45.551° в.д., абсолютная высота – 8 м н.у.м. БС; рис. 1). Территория исследования с точки зрения антропогенного преобразования является слабоосвоенной и используется в качестве пастбищных угодий. Территория относится к зоне светло-каштановых почв, формирующих комплексы с солонцами. Солонцы на территории республики распространены практически повсеместно и составляют в среднем около 32% в структуре ее почвенного покрова (Бакинова и др., 1999).

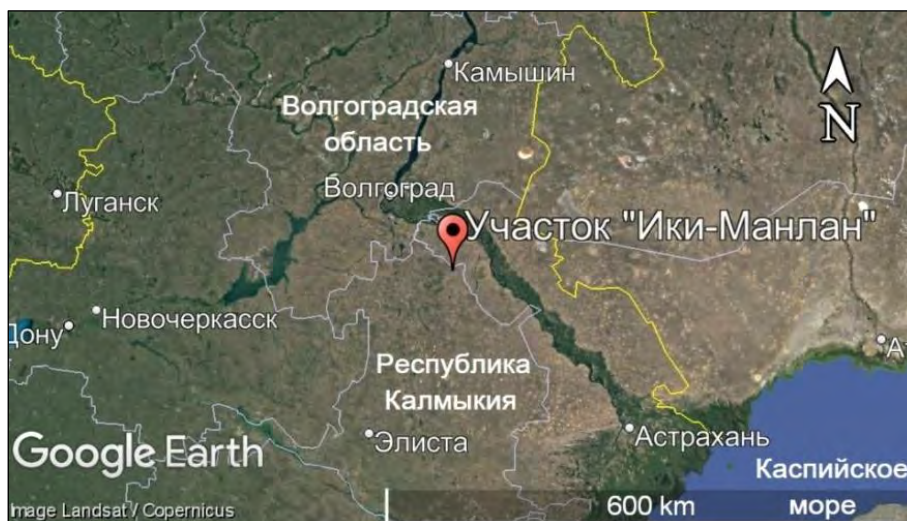


Рис. 1. Расположение ключевого участка в районе пос. Ики-Манлан Республики Калмыкия (в программе Google Earth Pro).

В ходе полевых работ на ключевом участке из центра одной округлой западины (микроразножания) до центра другой была проложена трансекта длиной около 60 м и проведена почвенная съемка с отбором образцов для выполнения химических анализов на определение засоленности почв. В общей сложности количество отобранных образцов составило 1139. В двух

почвенных разрезах (солонча и лугово-каштановой почве) были определены гранулометрический состав, содержание гумуса, гипса, карбонатов, состав водной вытяжки.

Все полученные образцы прошли пробоподготовку. Они были просушены до воздушно-сухого состояния. Пробы были пропущены через сито с диаметром отверстия в 1 мм. В подготовленных образцах почвы засоление оценивалось: 1 – 560 образцов по удельной электропроводности ($EC_{1:5}$) водной суспензии (1: 5); 2 – 507 образцов по активности ионов натрия и хлора (aNa^+ , aCl^-), измеряемых в водной суспензии (1: 5) с помощью ион-селективных электродов; 3 – 72 образца по содержанию ионов натрия в водных вытяжках (1: 5) методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

Измерения удельной электропроводности проводились в трехкратной повторности в водной суспензии с соотношением (1: 5) после осаждения твердых частиц (ГОСТ 26423-85, 1985) с помощью портативного кондуктометра Hanna HI98304 DiST 4 и лабораторного кондуктометра SanXin DDS-11C с широким диапазоном измерений.

Измерения показателей pNa , pCl проводились с помощью стеклянных ионселективных электродов (ИСЭ) серии ЭКОМ-Na, ЭКОМ-Cl на приборе Экотест-2000. Величина pNa и pCl оценивается как отрицательный логарифм активности определяемого иона.

В образцах почвы определяли Na^+ в водной вытяжке (1: 5) на пламенном спектрометре *Квант-2AT* по стандартной методике ГОСТ 26427-85 (1985).

Математическая обработка результатов анализа проводилась с использованием различных модулей в программе STATISTICA.

Проверка гипотезы о наличии статистической связи между категориальными переменными проходила на основе таблиц сопряженности с использованием критерия хи-квадрат (Дмитриев, 2019). Индекс каппа рассчитывали для оценки тесноты этой связи (Самсонова, Мешалкина, 2011).

Результаты и обсуждение

Почвы. На участке «Ики-Манлан» распространены светло-каштановые почвы и солончи. Согласно результатам анализа изученных почв, они характеризуются легкоглинистым гранулометрическим составом (горизонты В) и подстилаются тяжелосуглинистыми крупнопылеватоглинистыми породами (табл. 1). По химизму засоления солонец относится преимущественно к хлоридно-натриевому типу (табл. 2). Помимо хлоридов в водной вытяжке имеется заметное участие сульфатов. В солонце гипс практически отсутствует (табл. 2), но есть в небольшом количестве в горизонте С_{са} (57-90 см).

Сопоставление результатов измерений засоления почв. В ходе работы было проанализировано более тысячи образцов, в которых засоление почв характеризовалось по показателям, полученным в ходе общепринятых методов и экспресс-методов, в частности, с измерением удельной электропроводности водной суспензии (1: 5). Каждый из этих методов позволяет извлечь определенную часть находящихся в почве солей (Жопикова, Скулкин, 1990).

Анализируемые почвы характеризуются разной степенью засоления – от незасоленных до очень сильно засоленных. Наглядный профиль засоления вдоль данной трансекты и общая характеристика почв приведены в работе К.О. Прокопьевой (2022) и другой работе, выполненной с соавторами (2021). Расчет описательных статистик для содержания Na^+ в водной вытяжке (смоль(экв.)/кг почвы) показал, что среднее значение равно 2.53, медиана – 0.15, минимальное значение – 0.04, максимальное – 15.74 и стандартное отклонение – 4.57 (табл. 3).

Связь между удельной электропроводностью и активностями ионов натрия и хлора, измеряемыми в водной суспензии (1:5), показана на рисунке 2. Между тремя показателями выявлены относительно тесные коррелятивные связи. Наиболее высокий коэффициент корреляции установлен между удельной электропроводностью и активностью иона натрия ИСЭ ($r = 0.94$, $n = 488$). Для хлорид-иона ИСЭ он составил: $r = 0.90$, $n = 417$. Корреляция показателей активности ионов натрия и хлора довольно высокая ($r = 0.87$, $n = 507$), т.к. данные ионы являются определяющими для почв хлоридно-натриевого химизма засоления, к которому относятся изучаемые почвы. По этим ионам можно проводить оценку степени засоления данных почв.

Было проведено сопоставление результатов анализа удельной электропроводности с измерениями натрия в водной вытяжке (1: 5) методом пламенной ААС (рис. 3).

Таблица 1. Данные анализа гранулометрического состава почв.

Горизонт	Глубина, см	Гигроскопическая влага, %	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						Сумма частиц		Гранулометрический состав*
			1.0-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	>0.01	<0.01	
Солонец солончаковый											
A	0-12	1.2	0.1	16.4	48.5	10.1	14.6	10.3	65.0	35.0	ССкп
B1	12-30	3.1	0.1	10.1	33.1	7.2	10.4	39.1	43.3	56.7	ЛГи-кп
B2	30-45	3.4	0.1	10.5	35.5	5.9	10.3	37.7	46.2	53.8	ЛГи-кп
BC	45-55	2.7	0.0	8.4	40.3	5.8	11.6	33.9	48.7	51.3	ЛГкп-и
Cca	60-80	2.5	0.3	8.8	41.0	6.9	12.9	30.1	50.1	49.9	ТСкп-и
Cca	100-120	2.0	0.2	13.4	37.9	7.5	12.9	28.2	51.4	48.6	ТСкп-и
Cca	120-140	2.3	0.1	15.2	37.4	6.6	12.2	28.5	52.7	47.3	ТСкп-и
Cca	140-160	2.3	0.1	16.4	38.4	6.5	10.4	28.2	54.8	45.2	ТСкп-и
Cca	160-180	2.6	0.1	20.3	35.5	5.7	9.7	28.7	55.8	44.2	ТСкп-и
Cca	180-200	2.5	0.1	20.4	33.3	5.8	9.6	30.9	53.8	46.2	ТСкп-и
Лугово-каштановая почва											
A'	0-16	2.3	0.2	12.6	44.0	11.8	17.3	14.1	56.8	43.2	ТСкп
A''	16-30	2.5	0.1	13.6	41.0	11.1	16.0	18.2	54.7	45.3	ТСкп
B	30-45	3.0	0.1	10.3	36.8	6.7	9.8	36.3	47.2	52.8	ЛГкп-и
BC	50-60	3.1	0.1	9.1	39.6	6.4	8.5	36.4	48.8	51.2	ЛГкп-и

Примечания к таблице 1. *Гранулометрический состав: ССкп – средний суглинок крупнопылеватый, ЛГи-кп – легкая глина иловато-крупнопылеватая (и > кп), ЛГкп-и – легкая глина крупнопылевато-иловатая (кп > и), ТСкп-и – тяжелый суглинок крупнопылевато-иловатый, ТСкп – тяжелый суглинок крупнопылеватый.

Выявлена достаточно тесная коррелятивная связь между Na^+ (ААС) и удельной электропроводностью водной суспензии ($r = 0.97$; $n = 72$) и получена следующая функция связи: $EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$ (со свободным членом), $EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}$ (без свободного члена).

В работе Л.П. Копиковой и В.С. Скулкина (1990) при сравнении концентрации иона натрия водной вытяжки и удельной электропроводности экстракта коэффициент корреляции составил 0.94 (при $n = 48$), а уравнение регрессии получилось следующее: $EC_{паста} = 1.34Na_{1:5} + 1.75$ (экстракт). Используя для сопоставления с нашими результатами уравнение пересчета из публикации J.R. Landon (1991) для почв, не содержащих большого количества гипса ($EC_e = 6.4 EC_{1:5}$), получаем уравнение следующего вида: $EC_{1:5} = (0.213 \cdot 6.4)Na_{1:5} + 0.17$ или $EC_{1:5} = 1.36Na_{1:5} + 1.09$, что является результатом, близким к уравнению Л.П. Копиковой и В.С. Скулкина (1990).

В исследованиях Н.И. Сотневой (2005) не проводилось такого сопоставления, однако при сравнении активности иона натрия с электропроводностью фильтратов из паст было получено следующее уравнение регрессии ($r = 0.99$, $n = 6$): $EC_{паста} = 0.2017Na + 0.3473$ (aNa паста). Стоит отметить, что число анализируемых проб составило всего 6, а содержание натрия определялось по разности между ионами кальция и магния. Тем не менее, коэффициенты в этой работе оказались близки к нашим.

Таким образом, согласно нашим данным и анализу опубликованных данных, можно предложить следующие уравнения пересчета показателей засоления: $EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$ (со свободным членом) и $EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}$ (без свободного члена).

Сопоставление вычисленной оценки с опубликованными данными. В таблице 4 приведено сопоставление оценки степени засоления почв, вычисленной по нашим данным и по опубликованным источникам. Как видно из таблицы, градации, вычисленные по показателю содержания водорастворимого натрия согласно разработанному нами уравнению пересчета в электропроводность, хорошо сопоставимы с опубликованными данными, в особенности с

критериями, полученными в публикации S. Sonmez с соавторами (2008). Таким образом, заключаем, что можно использовать уравнение пересчета между водорастворимым натрием $EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}$, $EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$ и критериями, предложенными в таблице 4.

Таблица 2. Химические свойства почв ключевого участка.

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	рН водн. выт., (1: 5)	НСО ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	СО ₂ карб., %	SO ₄ общ., %
				смоль(экв.)/кг почвы								
Солонец солончаковый												
A	0-12	1.44	7.28	0.54	0.15	0.12	0.18	0.28	0.43	0.09	–	–
B1	12-30	1.63	8.87	0.95	2.36	0.44	0.23	0.30	3.42	0.02	–	–
B2	30-45	0.98	8.78	0.52	6.52	1.92	0.43	0.55	8.93	0.02	0.13	–
BC	45-55	0.54	9.06	0.56	6.83	2.80	0.48	0.68	9.83	0.03	2.38	–
Cca	60-80	–	8.22	0.23	6.07	15.44	6.78	3.53	10.75	0.06	3.43	1.18
Cca	100-120	–	8.79	0.44	6.54	3.48	0.58	1.00	9.66	0.05	2.53	0.15
Cca	120-140	–	8.97	0.45	8.31	3.52	0.68	0.85	9.89	0.04	2.16	0.15
Cca	140-160	–	8.70	0.34	6.27	5.56	0.93	1.38	10.35	0.04	1.85	0.23
Cca	160-180	–	8.63	0.31	6.19	8.60	1.48	1.60	10.61	0.05	1.45	0.33
Cca	180-200	–	8.88	0.37	6.79	3.08	0.75	1.15	10.31	0.05	1.42	0.31
	200-250	–	8.90	0.32	6.62	3.76	0.65	1.00	8.83	0.04	2.29	0.18
	250-300	–	9.05	0.48	5.47	2.92	0.45	0.30	7.77	0.02	2.73	0.17
	300-350	–	8.93	0.36	5.07	5.56	0.65	0.95	9.00	0.03	2.11	0.29
	350-400	–	8.85	0.32	5.28	6.72	1.10	1.90	9.73	0.03	1.98	0.39
	400-450	–	8.92	0.36	5.18	5.88	0.80	0.85	9.34	0.03	2.02	0.30
	450-500	–	8.89	0.40	4.85	6.12	1.00	0.70	8.77	0.03	2.42	0.37
	500-550	–	8.99	0.36	5.18	5.04	0.95	0.20	8.99	0.03	2.16	0.24
	550-600	–	8.99	0.34	4.99	5.32	0.65	0.50	8.95	0.03	1.85	0.32
Лугово-каштановая почва												
A'	0-16	2.68	7.14	0.17	0.03	0.16	0.18	0.20	0.02	0.15	–	–
A''	16-30	1.92	7.22	0.13	0.03	0.20	0.23	0.18	0.04	0.14	–	–
B	30-45	1.28	7.21	0.17	0.02	0.12	0.15	0.20	0.03	0.09	–	–
BC	50-60	1.16	8.29	0.62	0.05	0.20	0.43	0.37	0.06	0.12	–	–
	80-100	–	8.63	0.52	0.06	0.08	0.35	0.10	0.07	0.11	3.78	0.03
	100-120	–	8.66	0.52	0.02	0.12	0.45	0.05	0.13	0.13	3.08	0.02
	120-140	–	8.59	0.54	0.07	0.14	0.40	0.15	0.17	0.13	1.80	0.00
	140-160	–	9.29	0.56	0.05	0.04	0.25	0.25	0.17	0.10	1.98	0.01
	160-180	–	8.87	0.62	0.05	0.16	0.25	0.35	0.32	0.08	2.42	0.20
	180-200	–	8.76	0.60	0.10	0.20	0.30	0.15	0.48	0.07	2.02	0.00
	200-250	–	8.67	0.48	1.30	0.32	0.40	0.45	1.06	0.09	1.80	0.20
	250-300	–	8.47	0.48	2.78	0.20	0.70	0.90	1.65	0.09	2.77	0.01
	300-350	–	8.55	0.38	2.93	0.28	0.55	1.00	2.01	0.06	3.43	0.02
	350-400	–	8.57	0.30	3.17	0.44	0.65	0.75	2.65	0.04	2.64	0.05
	400-450	–	8.54	0.42	2.78	0.68	0.45	0.75	2.82	0.04	1.80	0.03
	450-500	–	9.15	0.34	2.62	1.00	0.45	0.55	2.95	0.03	1.89	0.04
	500-550	–	8.66	0.38	2.59	1.24	0.60	0.45	3.39	0.03	1.67	0.06
	550-600	–	8.56	0.44	2.69	1.64	0.65	0.50	3.72	0.03	2.33	0.11

Пересчетные коэффициенты для легкоглинистых почв хлоридно-натриевого химизма засоления представлены в таблице 5.

Анализ таблиц сопряженности. В ходе анализа проведено сопоставление следующих градаций

засоленности почв из таблицы 4: содержание иона натрия в водной вытяжке 1: 5 (смоль(экв.)/кг почвы) и электропроводности в суспензии 1: 5 (дСм/м), рассчитанных согласно разным источникам. Результаты были представлены в виде таблицы сопряженности (табл. 6). На пересечении строки и столбца указана частота совпадений по степени засоления согласно различным градациям.

Проверка по критерию хи-квадрат показала наличие значимых статистических связей между переменными. Во всех случаях значения хи-квадрат получились больше табличных значений (при $p = 0.05$).

Таблица 3. Описательные (дескриптивные) статистики для иона натрия и удельной электропроводности, измеренных в водной вытяжке (суспензии) 1: 5.

Показатели	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
ЕС _{1:5} , дСм/м	0.71	0.27	1.01	0.13	4.72
Na ⁺ (ААС), смоль(экв.)/кг почвы	2.53	0.15	4.57	0.04	15.74

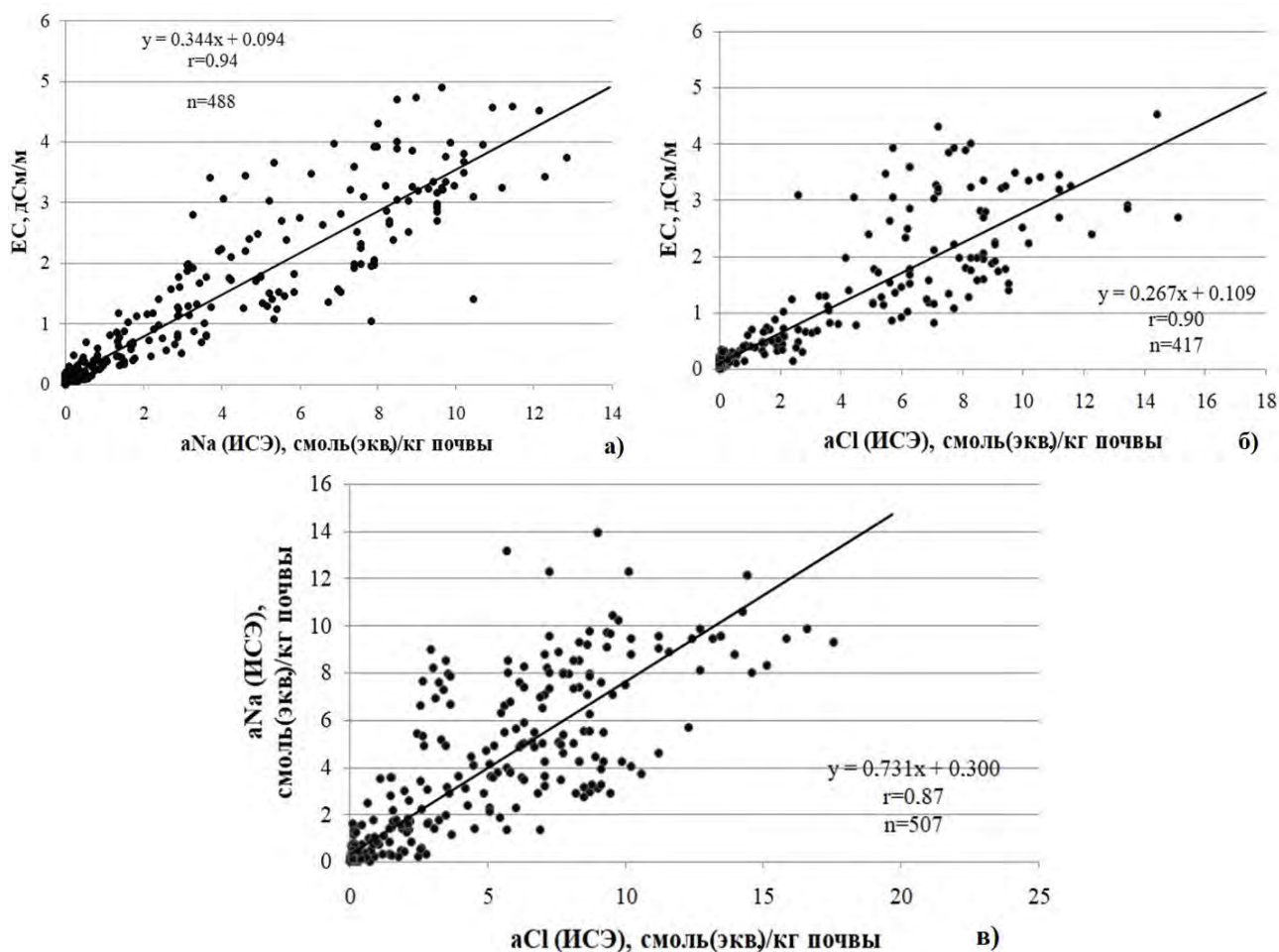


Рис. 2. Связь результатов анализа (Ики-Манлан) электропроводности и ионов хлора и натрия: А – активность ионов натрия (ИСЭ) и электропроводность (1: 5), Б – активность ионов хлора (ИСЭ) и электропроводность (1: 5), В – активности ионов хлора и натрия (ИСЭ; 1: 5). Условные обозначения: r – коэффициент корреляции, n – число проб для уравнений линейных трпндов.

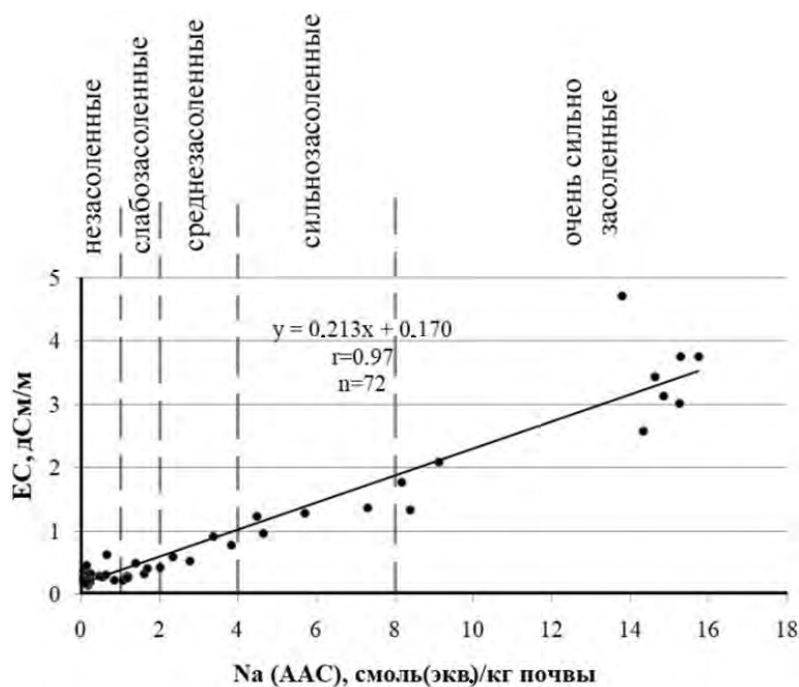


Рис. 3. Связь результатов анализа содержания ионов натрия (1: 5; ААС) и электропроводности (1: 5) с выделением степеней засоления по Na^+ согласно работе «Засоленные почвы России» (2006). Условные обозначения: r – коэффициент корреляции, n – число проб для уравнения линейного тренда.

Таблица 4. Оценка степени засоления почв по натрию и удельной электропроводности согласно разным источникам.

Степень засоления	$\text{Na}_{1:5}$ (смоль(экв.) / кг почвы)	ЕС экстракт, дСм/м		ЕС _{1:5} , дСм/м			
		2	3	4	5	6	7
Источник*	1	2	3	4	5	6	7
Незасоленные	<1	<2	<3	<0.25	<0.3	<0.23	<0.38
Слабозасоленные	1-2	2-4	3-5	0.25-0.5	0.3-0.6	0.23-0.46	0.38-0.6
Средnezасоленные	2-4	4-8	5-10	0.5-1.0	0.6-1.25	0.46-0.92	0.6-1.02
Сильнозасоленные	4-8	8-16	10-16	1-2	1.25-2.5	0.92-1.84	1.02-1.87
Очень сильнозасоленные	>8	>16	>16	>2	>2.5	>1.84	>1.87

Примечания к таблице 4. *Источник: 1 – критерии даны согласно монографии «Засоленные почвы России» (2006) для хлоридного и сульфатно-хлоридного химизма засоления, 2 – критерии даны по «US Salinity Lab» (Richards, 1954), 3 – критерии даны по Л.П. Копиковой и В.С. Скулкину (1990), 4 – пересчет критериев (Richards, 1954) по S. Sonmez с соавторами (2008) для суглинистых почв ($\text{ЕС}_{1:5} = \text{ЕСе} / 7.62$), 5 – пересчет критериев (Richards, 1954) по J.R. Landon (1991) для почв, не содержащих большого количества гипса ($\text{ЕС}_{1:5} = \text{ЕСе} / 6.4$), 6 – пересчет критериев из «Засоленные почвы России» (2006) согласно нашим данным для легкоглинистых почв хлоридно-натриевого химизма засоления ($\text{ЕС}_{1:5} = 0.23\text{Na}_{1:5}$), 7 – пересчет критериев из «Засоленные почвы России» (2006) согласно нашим данным для легкоглинистых почв хлоридно-натриевого химизма засоления ($\text{ЕС}_{1:5} = 0.213\text{Na}_{1:5} + 0.17$).

Согласно таблице 6, высокие значения индекса каппа показывают, что совпадения между рассматриваемыми градациями не случайны. Интерпретация значений индекса каппа следующая: 0.21-0.40 – удовлетворительное совпадение, 0.41-0.60 – хорошее совпадение, 0.61-0.80 – существенное совпадение, 0.80-0.99 – почти полное совпадение.

Таблица 5. Коэффициент детерминации (R^2) и регрессионные уравнения, описывающие связи между результатами химического исследования засоленности почв, полученные разными методами, для легкоглинистых почв хлоридно-натриевого типа засоления.

Со свободным членом		Без свободного члена		y	x	n
Уравнение	R^2	Уравнение	R^2			
$y = 0.213x + 0.170$	0.934	$y = 0.229x$	0.912	EC _{1:5} , дСм/м	Na ⁺ 1: 5 (ААС), смоль(экв.)/кг почвы	72
$y = 0.344x + 0.094$	0.882	$y = 0.358x$	0.877	EC _{1:5} , дСм/м	aNa 1: 5 (ИСЭ), смоль(экв.)/кг почвы	488
$y = 0.267x + 0.109$	0.802	$y = 0.281x$	0.793	EC _{1:5} , дСм/м	aCl 1: 5 (ИСЭ), смоль(экв.)/кг почвы	417

Таблица 6. Таблица сопряженности между градациями по содержанию водорастворимого натрия и электропроводности в суспензии (1: 5).

Источник: S. Sonmez с соавторами (2008), EC_{1:5} = ECe / 7.62						
EC _{1:5} (дСм/м)	Na _{1:5} (смоль(экв.)/кг почвы)					Всего
	<1	1-2	2-4	4-8	>8	
<0.25	29	2	0	0	0	31
0.25-0.5	16	6	0	0	0	22
0.5-1.0	1	0	4	1	0	6
1-2	0	0	0	3	2	5
>2	0	0	0	0	8	8
Всего	46	8	4	4	10	72
Общая точность					0.69	
Точность, обусловленная случаем					0.33	
Каппа					0.54	
Источник: J.R. Landon (1991), EC_{1:5} = ECe / 6.4						
EC _{1:5} (дСм/м)	Na _{1:5} (смоль(экв.)/кг почвы)					Всего
	<1	1-2	2-4	4-8	>8	
< 0.3	38	4	0	0	0	42
0.3-0.6	7	4	2	0	0	13
0.6-1.25	1	0	2	2	0	5
1.25-2.5	0	0	0	2	3	5
> 2.5	0	0	0	0	7	7
Всего	46	8	4	4	10	72
Общая точность					0,74	
Точность, обусловленная случаем					0,41	
Каппа					0,55	
Источник: наши данные, EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}						
EC _{1:5} (дСм/м)	Na _{1:5} (смоль(экв.)/кг почвы)					Всего
	< 1	1-2	2-4	4-8	> 8	
< 0.23	26	1	0	0	0	27
0.23-0.46	19	6	0	0	0	25
0.46-0.92	1	1	4	0	0	6
0.92-1.84	0	0	0	4	2	6
> 1.84	0	0	0	0	8	8

Продолжение таблицы 6.

Источник: наши данные, $EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}$						
Всего	46	8	4	4	10	72
Общая точность	0.67					
Точность, обусловленная случаем	0.30					
Каппа	0.52					
Источник: наши данные, $EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$						
	Na _{1:5} (смоль(экв.)/кг почвы)					Всего
EC _{1:5} (дСм/м)	< 1	1-2	2-4	4-8	> 8	
< 0.38	44	5	0	0	0	49
0.38-0.6	1	3	2	0	0	6
0.6-1.02	1	0	2	1	0	4
1.02-1.87	0	0	0	3	2	5
> 1.87	0	0	0	0	8	8
Всего	46	8	4	4	10	72
Общая точность	0.83					
Точность, обусловленная случаем	0.47					
Каппа	0.69					

Примечания к таблице 6: по главной диагонали серой заливкой выделено число значений, которые отнесены к одному и тому же классу степени засоления.

Самый высокий индекс выявлен для градации засоленности почв, вычисленной на основе нашего уравнения со свободным членом ($EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$), и составляет 0.69 (существенное совпадение). Высокий индекс каппа связан с тем, что очень хорошо совпали данные для первой категории по степени засоления (< 1). В остальных трех случаях получились близкие значения индекса каппа (0.54, 0.55 и 0.52 соответственно), а величина индекса говорит о хорошем совпадении. Как видно из таблицы 6, совпадение для первой градации получилось хуже, чем в первом случае, но лучше для других градаций.

Таким образом, можно рекомендовать использование следующих градаций для оценки степени засоления почв по данным электропроводности в суспензии 1: 5 (дСм/м): 0-0.4 – незасоленные, 0.4-0.6 – слабозасоленные, 0.6-1.0 – средnezасоленные, 1-1.9 – сильнозасоленные, >1.9 – очень сильнозасоленные.

Выводы

В работе представлено сопоставление результатов химического исследования засоленности в суспензии (1: 5) легкоглинистых почв сухостепной зоны преимущественно хлоридно-натриевого химизма, полученных в ходе различных методов определения.

При измерениях активности ионов в суспензии (1: 5) наибольшая корреляция наблюдается между измерениями удельной электропроводности и активности натрия.

Согласно нашим данным и анализу опубликованных данных, $EC_{1:5} = 0.213Na_{1:5} + 0.17$, $EC_{1:5} = 0.23Na_{1:5}$

Для оценки степени засоления по показателю удельной электропроводности (1: 5) предлагается использовать следующие критерии (дСм/м): 0-0.4 – незасоленные, 0.4-0.6 – слабозасоленные, 0.6-1.0 – средnezасоленные, 1-1.9 – сильнозасоленные, >1.9 – очень сильнозасоленные.

При сопоставлении различных градаций засоленности почв с помощью таблиц сопряженности с использованием хи-квадрат и индекса каппа выявлено наличие статистически значимой сопряженности, что позволяет использовать различные методы анализа почв для оценки степени засоления.

Вычисленные по нашим данным критерии оценки засоления почв по удельной электропроводности в суспензии (1: 5) согласуются с критериями в зарубежных публикациях.

Предложены пересчетные коэффициенты и таблица оценки по степени засоления почв в зависимости от различных показателей, которые используются.

Финансирование. Работа выполнена за счет финансирования, выделенного на цели функционирования Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ им. М.В. Ломоносова (распоряжение Правительства РФ № 1736-р от 26.06.2021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* 1972. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 5. С. 36-40
- Бакинова Т.И., Воробьева Н.П., Зеленская Е.А.* 1999. Почвы Республики Калмыкия. Элиста-Ростов-на-Дону: Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы. 115 с.
- ГОСТ 26427-85. 1985. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке // Сборник ГОСТов. М.: Издательство стандартов.
- ГОСТ 26423-85. 1985. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки // Сборник ГОСТов. М.: Издательство стандартов.
- Дмитриев Е.А.* 2019. Математическая статистика в почвоведении. М.: URSS. 334 с.
- Доскач А.Г.* 1979. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука. 142 с.
- Засоленные почвы России. 2006. М.: Академкнига. 854 с.
- Зимовец Б.А., Кауричева З.Н.* 1976. Определение степени и типа засоления почв по почвенным растворам и водным вытяжкам в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Орошаемые почвы и методы их изучения. Ташкент. С. 72-83.
- Копикова Л.П., Скулкин В.С.* 1990. Оценка засоления почв по сопряженным данным водных вытяжек и экстрактов из водонасыщенных паст // Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи: Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М. С. 74-81.
- Минашина Н.Г.* 1970. Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления // Почвоведение. № 81971.. С. 92-105.
- Муратова В.С., Маргулис В.Ю.* Содержание токсичных солей в водных вытяжках и почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи // Почвоведение. № 12. С. 87-99.
- Прокопьева К.О., Конюшкова М.В., Новикова Н.М., Соболев И.В.* 2021. Цифровая фитоиндикация засоления почв в сухой степи (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. Т. 27. № 2 (87). С. 68-81. [*Prokopyeva K.O., Konyushkova M.V., Novikova N.M., Sobolev I.V.* 2021. Digital Phytoindication of Soil Salinity in Dry Steppes (Republic of Kalmykia) // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 2. P. 173-185.]
- Прокопьева К.О.* 2022. Использование разновременных космических снимков высокого разрешения для оценки засоления почв солонцового комплекса (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. Т. 28. № 4 (93). С. 61-74. [*Prokopyeva K.O.* 2022. The Use of Multi-Temporal High-Resolution Satellite Images to Soil Salinity Assessment of the Solonchic Complex (Republic of Kalmykia) // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 4. P. 394-406.]
- Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л.* 2011. Количественный метод сравнения почвенных карт и картограмм // Вестник Московского университета. Сер. 17, Почвоведение. № 3. С. 3-5.
- Сотнева Н.И.* 2005. Применение экспресс-методов для оценки почв по степени засоления (на примере почв севера Прикаспийской низменности) // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 57. С. 68-80.
- FAO запускает Российскую сеть почвенных лабораторий. 2022 [Электронный ресурс <https://www.fao.org/russian-federation/news/detail/ru/c/1512615/> (Дата обращения 25.12.2022)].
- Хитров Н.Б., Понизовский А.А.* 1990. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева. 236 с.
- Шамрикова Е.В., Ванчикова Е.В., Кондратёнок Б.М., Лантева Е.М., Кострова С.Н.* 2022. Проблемы и ограничения дихроматометрического метода измерения содержания почвенного органического вещества (обзор) // Почвоведение. № 7. С. 787-794.
- Benedetti F., Caon L.* 2021. Global Soil Laboratory Assessment 2020 – Laboratories' Capacities and Needs. Rome, FAO. 38 p.
- Davenport J.R., Jabro J.D.* 2001. Assessment of Hand Held Ion Selective Electrode Technology for Direct Measurement of Soil Chemical Properties // Communications in Soil Science and Plant Analysis. Vol. 32. No. 19-20. P. 3077-3085.
- Developments in Salinity Assessment, Modeling, Mapping, and Monitoring from Regional to Submicroscopic Scales. 2013 // Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation – Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture / eds. S.A. Shahid, M.A. Abdelfattah, F.K. Taha. Springer, Dordrecht/Heidelberg/New York/London. P. 3-43.

- Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils: USDA Agriculture Handbook. 1954. No. 60. 160 p.
- Karadağ S., Eren E., Çetinkaya E., Özen S., Deveci S.* 2016. Optimization of Sodium Extraction from Soil by Using a Central Composite Design (CCD) and Determination of Soil Sodium Content by Ion Selective Electrodes // Eurasian Journal of Soil Science. No. 5 (2). P. 89-96.
- Khitrov N.B., Rukhovich D.I., Pankova E.I., Novikova A.F., Vilchevskaya E.V., Kalinina N.V., Koroleva P.V., Chernousenko G.I., Konyushkova M.V.* 2022. Salt-Affected Soils of the Russian Federation // Global Assessment of the Status of Salt-Affected Soils. Rome: FAO.
- Landon J.R.* 1991. Booker Tropical Soil Manual. Booker Tate Limited. 474 p.
- Shamrikova E.V., Kondratenok B.M., Tumanova E.A., Vanchikova E.V., Lapteva E.M., Zonova T.V., Lu-Lyan-Min E.I., Davydova A.P., Libohova Z., Suvannang N.* 2022. Transferability between Soil Organic Matter Measurement Methods for Database Harmonization // Geoderma. Vol. 412. P. 115547.
- Shirokova Y., Forkutsa I., Sharafutdinova N.* 2000. Use of Electrical Conductivity instead of Soluble Salts for Soil Salinity Monitoring in Central Asia // Irrigation and Drainage Systems. No. 14. P. 199-205.
- Sonmez, S., Buyuktas D., Okturen F., Citak S.* 2008. Assessment of Different Soil Water Ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in Soil Salinity Studies // Geoderma. Vol. 144. P. 361-369.

**О БАЛАНСЕ АЗОТА В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ**

© 2023 г. Т.А. Асварова, Г.Н. Гасанов, К.М. Гаджиев, Р.Р. Баширов,
К.Б. Гимбатова, А.С. Абдулаева

Прикаспийский институт биологических ресурсов

Дагестанского Федерального исследовательского центра РАН

Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: tatacvar@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2023. После доработки 03.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Приведены результаты исследований по накоплению и транслокации фитомассы по блокам растительного вещества, концентрации и запасам азота. Дана оценка скомпенсированности баланса азота светло-каштановой, лугово-каштановой почвы и солончака типичного в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия в условиях аридизации и опустынивания.

Ключевые слова: азот, запасы азота, баланс азота, накопление фитомассы, блоки растительного вещества, зеленая масса, ветошь, войлок, аридизация, опустынивание.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-36-45

EDN: YBSEMS

В Прикаспийском регионе России определено 32 млн. га засушливых земель: часть Волгоградской, Саратовской, Астраханской, Ростовской областей, Республики Калмыкия и равнинного Дагестана находятся в пределах зон сухих степей, полупустыни и пустыни, подверженных процессам аридизации (Зональные типы ..., 2003). Процессы опустынивания усиливаются в последние годы, и в 2019-2020 гг. более 24% территории Северо-Западного Прикаспия были заняты песчаными массивами, а около 50% почв отнесены к солончакам (Доклад об особенностях климата ..., 2020). В связи с обострением экологической ситуации на данной территории основное внимание исследователей (Абатуров, Кулакова, 2010; Абатуров, Нухимовская, 2013; Бананова, Лазарева, 2014; Гасанов и др., 2018; Залетаев, 1989; Залибеков, 2005; Залибеков и др., 2016, 2021; Кулакова, Абатуров, 2010; Кулик, 2005) направлено на разработку основ оценки деградации аридных земель и на обоснование основных методов борьбы с опустыниванием.

Актуальность изучения проблемы естественно-антропогенного воздействия в экосистемах обусловлена угрозой необратимых трансформаций вследствие непрекращающегося существенного потепления климата. За 65-летний период средняя температура воздуха повысилась на 2 градуса (Сапанов, Сиземская, 2015).

Основные факторы, способствующие формированию классификационных признаков аридных почв юга России, – это засушливый климат, засоление, дефляция и щелочная среда, увеличение различного рода нагрузок и антропогенных воздействий (Залибеков и др., 2021; Кулик, 2005).

В Терско-Кумской низменности площадь, занимаемая техногенными системами, составляет 20-22% общей территории, а всего процессами опустынивания охвачено более 2.5 млн. га сельскохозяйственных и лесных угодий республики Дагестан (Джамбулатов, 2020).

Мы провели исследования о влиянии антропогенных и климатических факторов на продуктивность, формирование блоков растительного вещества, количественную оценку транслокации и пути компенсации азота и других биофидных элементов из почвы в растительных экосистемах Северо-Западного Прикаспия.

Целью исследований является определение концентрации, запасов и баланса азота по блокам растительного вещества (зеленая масса, ветошь, войлок, корни) в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия в условиях аридизации и опустынивания.

Материалы и методы

Исследования проводились в травяных экосистемах Северо-Западного Прикаспия на территории Терско-Кумской низменности на Кочубейской биосферной станции (Прикаспийский Институт Биологических Ресурсов ДФИЦ РАН) на светло-каштановой, лугово-каштановой карбонатной солончаковой почвах и солончаке типичном в условиях заповедного режима (снятие выпаса). Географические координаты расположения светло-каштановой почвы – 44.40880 с.ш. и 46.24771 в.д., лугово-каштановой – 44.40720 с.ш. и 46.24727 в.д., солончака типичного – 44.680741 с.ш. и 46.410828 в.д.

Экспериментальные участки по изученным трем типам почв, каждый площадью по 100 м², были обнесены железной сеткой, и каждый из трех участков разбит на 100 постоянных квадратов площадью 1 м² (1 x 1 м) с помощью деревянных кольшков и полиэтиленового шпагата. Площадка вне заповедных экспериментальных участков принималась в качестве фона (контроль). Такая разбивка сохранялась на весь период исследований (2011-2018 гг.). Образцы на определение азота в почвах брали три раза: весной при возобновлении вегетации растений (вторая половина апреля), летом (конец июля – начало августа) и осенью (октябрь-ноябрь).

Определение общего азота в слое проведено фотометрическим методом «индофеноловой зелени», легкогидролизуемого азота по методу И.В. Тюрина и М.М. Кононовой, содержания азота в растениях – с помощью мокрого озоления растений (Практикум по агрохимии, 1987). Определение легкорастворимых солей – методом водной вытяжки, содержание гумуса проводили по общепринятым методикам (Аринушкина, 1970).

Климатические условия учитывали по данным метеостанции пос. Кочубей Тарумовского района по таким показателям, как сумма месячных и годовых осадков, среднемесячные и среднегодовые температуры и влажность воздуха. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова: $ГТК = 10R / \sum t$, где R – месячное количество осадков, $\sum t$ – сумма температур за месяц.

Накопление органической массы фитоценозов и азота по блокам растительного вещества (зеленая масса, ветошь, степной войлок, живые и мертвые корни), а также расчет баланса азота и его компенсированности в экосистемах проводили по А.А. Титляновой (1988). Названия видов растений даны по Р.А. Муртазалиеву (2009). Статистическая обработка результатов проводилась в Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Анализ структуры фитомассы показывает увеличение средней величины зеленой массы эфемерово-кубанковой ассоциации (*Efemeretum-Cannabietum sativae*) – 23.4 ц/га по сравнению с эфемерово-камфоросмовой (*Efemeretum-Camforosmetum*) ассоциацией – 16.4 ц/га и эфемерово-полынно-многолетне-солянковой ассоциацией – 13.8 ц/га, что указывает на лимитирующую роль полупустынного климатического режима в их развитии (Залибеков, Биарсланов, 2016; Залибеков и др., 2021; Ярулина, 1983).

Результаты наших исследований современного состояния азотного и углеродного почвенного фонда Терско-Кумской низменности в заповедном режиме показали, что содержание общего азота колеблется в пределах 0.15-0.20%, азота легкогидролизуемого – от 2.4 до 5.3 мг/100 г в изучаемых типах почв, что в среднем в 2.5 раза выше, чем в целинных почвах (контроль). Запасы азота в гумусовом горизонте лугово-каштановой почвы (5.2 т/га), под полынно-злаковой (*Artemioso-Graminosum*) и светло-каштановой почвой (5.0 т/га), под эфемероидно-полынно-злаковыми (*Ephemeroso-artemioso-graminosum*) ассоциациями гораздо выше по сравнению с солончаком (4.3 т/га) под разнотравно-кострово-петросимониевой ассоциацией (*Varioherboso-bromoso-petrosimoniosum*). Запасы азота и углерода в почве осенью по сравнению с весной ниже в 1.5 раза и в 1.6-1.8 раза с контролем, что связано с увеличением продуктивности фитоценоза в заповедном режиме (Асварова и др., 2021).

Совокупность негативных процессов аридизации и перевыпас скота вызывают обеднение биоразнообразия, снижение продуктивности сообществ и биофильных элементов в природных пастбищных экосистемах Северо-Западного Прикаспия. При соблюдении норм выпаса или условиях заповедного режима зональная растительность восстанавливается приблизительно через 30 лет (Ли Яомин, 2009).

В формировании фитоценозов (заповедный режим) участвуют однолетние и многолетние виды растений пастбищного типа, которые в дальнейшем определяют основу для восстановления биоресурсного потенциала полупустынных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия.

Видовой состав растений светло-каштановой почвы в заповедных условиях насчитывает 12 видов: Poaceae (6), Chenopodiaceae (1), Asteraceae (2), Brassicaceae (1) и Caryophyllaceae (2). Изменчивость видового состава свидетельствуют о неустойчивости фитоценозов. Растительное сообщество представлено эфемерово-полынно-солянково-злаковыми (*Ephemerose-artemioso-salsoloso-graminosum*), разнотравно-солянковыми ассоциациями (*Varioherboso-Salsolosum*), проективное покрытие которых составляет 85%. Доминанты сообщества – виды злаковых (Poaceae): ячмень заячий (*Hordeum leporinum* Link.), костер растопыренный (*Bromus squarrosus* L.), костер кровельный (*Anisantha tectorum* L.), полевица малая (*Eragrostis minor* Host.), мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), мортука пшеничный (*Eremopyrum triticeum* (Gaerth.) Nevski.); из крестоцветных (Brassicaceae) это бурачок пустынный (*Alyssum desertorum* Stapf.); из сложноцветных (Asteraceae) – полынь таврическая (*Artemisia taurica* Willd.), полынь Лерха (*Artemisia lercheana* Web. ex Stechm.); из маревых (Chenopodiaceae) – солянка иберийская (курай) (*Salsola iberica* Sennenet Rai.); из гвоздичных (Caryophyllaceae) – смолевка коническая (*Silene conica* L.) и грыжник седой (*Herniaria incane* L.; Гасанов и др., 2017).

В первой половине лета вегетируют эфемеры (мортука пшеничный, костер кровельный) и эфемероиды (мятлик луковичный). Доминируют сообщества из полевицы малой, бурачка пустынного, мятлика луковичного, мортука пшеничного, костра растопыренного, костра кровельного и многолетние виды растений: полыни таврической и Лерха, грыжника седого и др. В осенний период формируется урожай за счет видов разнотравья и солянок: виды полыни таврической и Лерха, солянки иберийской и др. Ветошь урожая за 3-4 летних месяца не успевает полностью транслоцироваться в степной войлок, поэтому ее доля в общей фитомассе остается достаточно высокой.

Для солончака типичного характерна постепенная транслокация ветоши в войлок в течение всего летнего периода, что и является причиной относительно меньшего накопления ветоши на солончаке типичном, чем на других типах почв.

Фитоценоз солончака типичного и лугово-каштановой почвы представлен полынными таврической и Лерха (37.7-40% по количеству, 83.7-85% по массе), другими видами солянок, ветошь которых медленнее переходит в степной войлок, чем мятликово-бобово-разнотравная растительность светло-каштановой почвы, и сохраняется почти полностью до конца вегетационного периода.

Травяные экосистемы считаются наиболее продуктивными по сравнению с лесными и достигают 15-20 т/га-год (Базилевич, Титлянова, 2008; Титлянова, 1988). В условиях Терско-Кумской полупустыни продуктивность значительно меньше и только на светло-каштановой почве приближаются к нижнему из этих пределов, а на лугово-каштановой почве и солончаке типичном она меньше в 2.2-2.6 раза. Аналогичные результаты получены и другими авторами в районе исследований (Загидова и др., 2015; Гасанов и др., 2017; Ярулина, 1983), в аридной зоне Астраханской области (Тютюма, Булахтина, 2016), в засушливых районах Ирана (Saffariha et al., 2014), Китая (Zuo et al., 2011) и других регионах мира.

По нашим данным, общая фитомасса Терско-Кумской низменности на светло-каштановой, лугово-каштановой почвах и солончаке типичном в среднем за 2011-2018 гг. составила 91.5, 41.2 и 34.0 т/га-год соответственно, в т.ч. 13.3, 6.13 и 5.39 т/га-год надземной и 78.2, 35.1 и 28.6 т/га-год подземной массы. Соотношение подземной массы к надземной (П: Н) на светло-каштановой, лугово-каштановой почвах и солончаке типичного составило 5.9, 5.7 и 5.3 соответственно; зеленой массы – 4.45, 2.05 и 1.86 т/га-год; ветоши, находящейся в прямой зависимости от общей надземной фитомассы, – 4.76, 2.13 и 1.87 т/га-год или 35.8, 34.7 и 34.7% от общей фитомассы; войлока – 4.12, 1.85 и 1.65 т/га-год.

В исследованиях выявлено, что доля корней в суммарной фитомассе по типам почв равна 82.2-85.5% и приближена к верхнему пределу этих показателей. Такое высокое соотношение надземной массы к подземной (1: 5.6-1: 6.1) характерно для всех засушливых регионов мира (Сиземская, 2013). На лугово-каштановой почве и солончаке типичном их масса оказалась в 2.2 и 2.9 раз меньше, чем на светло-каштановой.

Коррелятивные зависимости между накоплением надземной (y) и подземной (x) массы по типам почв в полупустынных заповедных условиях в течение 2011-2018 гг. следующие:

$$\text{светло-каштановая} - y = 6.75x - 11.89, r = 0.96, R^2 = 0.92 \quad (1),$$

$$\text{лугово-каштановая} - y = 6.33x - 3.73, r = 0.84, R^2 = 0.71 \quad (2),$$

$$\text{солончак типичный} - y = 4.29x + 5.45, r = 0.91, R^2 = 0.82 \quad (3),$$

где r – коэффициент корреляции, R^2 – коэффициент детерминации.

Взаимосвязь органов приводит к большой зависимости развития надземной массы растений от подземной массы, и наоборот. Результаты исследований парной линейной регрессии в полупустынных заповедных условиях в течение 2011-2018 гг. по типам почв показали 92.19% для светло-каштановой почвы, 71.47% для лугово-каштановой почвы и 82.11% для солончака типичного от общей вариабельности накопления надземной массы, что объясняется изменением подземной массы. Параметры были оценены методом наименьших квадратов. Статистическая значимость уравнения была проверена с помощью коэффициента детерминации.

Необходимо отметить, что среднее значение гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (ГТК) за 2011-2018 гг. исследований составляет 0.13, что по классификации Г.Т. Селянинова соответствует полупустынной и пустынной зонам. В соответствии с данной шкалой, период 2011-2018 гг. характеризуется очень сильной засухой (ГТК = 0.06 – 0.19; табл. 1). Показатели ГТК, равные 0.19, 0.21 и 0.2 в 2011, 2012, 2016 гг. соответствуют слабой влагообеспеченности, поэтому их можно характеризовать как оптимальное состояние для формирования продуктивности фитоценоза. В последующие 2017-2018 гг. незначительное выпадение осадков (сумма осадков составила 106-140 мм) во взаимосвязи с высокой температурой воздуха (19.8-20.6°C) в период вегетации произошло резкое падение ГТК и продуктивности фитоценоза, что соответствует природной зоне пустыни.

Таблица 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период апрель-октябрь 2011-2018 гг.

Год	$M_{\text{ср.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$M_{\text{ср.}} \text{ осадки, мм}$	$\Sigma \text{ осадки, мм}$	$\Sigma \text{ } ^\circ\text{C}$	ГТК
2011	19.6	33.8	238	136.0	0.2
2012	20.2	42.0	287	147.4	0.21
2013	19.4	24.0	168	136.2	0.12
2014	19.9	21.3	155	139.3	0.11
2015	20.0	18.0	125	140.5	0.09
2016	19.8	38.8	272	138.2	0.20
2017	19.8	17.2	119	138.5	0.07
2018	20.6	15.1	106	144.3	0.07

Концентрация валового азота в блоках растительного вещества в светло-каштановой почве весной составляет в зеленой массе – 2.2, в ветоши – 1.3, в войлоке – 1.17%, в лугово-каштановой почве – 1.76, 1.61, 1.4% соответственно, в солончаке типичном – 1.72, 1.43 и 1.41%, а осенью азот снижается в 1.3 раза.

Результаты исследований множественной регрессионной зависимости содержания азота в зеленой массе фитоценоза, сформированного на светло-каштановой почве весной и осенью, от содержания азота в гумусовом горизонте почвы и от климатических факторов (ГТК Селянинова) за 2011-2018 гг. были оценены методом наименьших квадратов. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации:

$$\text{весна} - Y = 0.02 + 3.13X_1 + 4.49X_2, r = 0.97, R^2 = 0.94 \quad (1),$$

$$\text{осень} - Y = -1.096 + 14.75X_1 + 0.32X_2, r = 0.72, R^2 = 0.52 \quad (2),$$

где r – коэффициент корреляции, R^2 – коэффициент детерминации, Y – N в зеленой массе фитоценоза, %, X_1 – N в гумусовом горизонте почвы, %, X_2 – ГТК.

Возможна интерпретация параметров модели: уравнение регрессии содержания азота в фитомассе в зависимости от содержания азота в почве и от ГТК в весенний период показывает, что увеличение содержания азота в почве (X_1) на 1% приводит к увеличению содержания азота

в фитомассе (Y) в среднем на 3%, а увеличение ГТК (X_2) на 1% приводит к увеличению Y в среднем на 4.5% (коэффициент регрессии $\beta_2 = 0.848$). Количество осадков и температура оказывают большее влияние на накопление азота в фитомассе. Установлено, что 94.47% от общей вариальности Y объясняется изменением факторов X_2 . Здесь происходит перераспределение азота из трудногидролизуемой фракции в более мобильную легкогидролизуемую фракцию. Осенью выявлена зависимость азота в фитомассе от содержания азота в почве, увеличение X_1 на 1% приводит к увеличению Y в среднем на 14.7% ($\beta_1 = 0.742$). Установлено, что 51.71% общей вариальности Y объясняется изменением X_1 .

Результаты данных уравнения множественной регрессии объясняется сменой условий засушливости, где ГТК колеблется в пределах 0.21 до 0.34 весной, что по классификации уровней тепло- и влагообеспеченности по ГТК соответствует средней засухе, а осенью ГТК колеблется от 0.07 до 0.12, что соответствует очень сильной засухе. Наибольшее влияние в весенний период на результат содержания азота в фитомассе оказывает фактор ГТК, количество осадков и температура. Полученные данные подтверждают исследования, которые объясняют интенсивность поступления азота в растения наличием благоприятных гидротермических условий (Titlyanova, 2012; Kader, Lindberg, 2010).

На контрольном участке происходит значительное уменьшение запасов азота в почве в 1.6-1.8 раз и составляет 2.6 т/га, а запасов азота в зеленой массе – 3.0 кг/га на светло-каштановой почве, находящейся под действием интенсивного выпаса скота.

Основной причиной снижения сборов фитомассы на лугово-каштановой почве и солончаке типичном является повышение степени и изменение химизма засоления почвы в сторону увеличения соотношения ионов $Cl^- : SO_4^{2-}$ (Гасанов и др., 2018).

Согласно данным наших исследований, азот в одинаковых количествах накапливается в надземных органах растений и выше в 1.5-2.5 раза, чем в подземных. Концентрация азота в корнях в 1.3 раза меньше, чем в зеленых органах растений.

Физиологические особенности роста растений заключаются в том, что растения не могут усваивать большое количество азота и запастись азотом, как ряд биофильных элементов (углерод, фосфор, калий, кальций) в живой клетке в виде различных соединений. В степной зоне злаковые травы накапливают незначительное количество азота в биологической форме: в надземной массе – 22, в корнях – 18 кг/га (Василенко, 2017).

Наибольшая концентрация и запасы азота отмечены за вегетационный период (апрель-октябрь) в фитомассе на светло-каштановой почве (2.35% и 10.4 кг/га). Для сравнения: на лугово-каштановой почве эти показатели составили 1.94% и 4.0 кг/га, на солончаке типичном – 1.76% и 3.27 кг/га. Это связано с более высокой продуктивностью фитоценоза светло-каштановой почвы по сравнению с другими типами почв: 4.45 т/га-год против 2.0 и 1.86 для зеленой массы и 78.2, 35.1 и 28.6 т/га-год для корневой массы (табл. 2, рис.).

Таблица 2. Концентрация азота (%) и запасы азота (кг/га) в блоках растительного вещества по типам почв за 2011-2018 гг. (заповедный режим).

Блок растительного вещества	Тип почвы					
	Светло-каштановая		Лугово-каштановая		Солончак типичный	
	концентрация	запасы	концентрация	запасы	концентрация	Запасы
Зеленая масса	2.35 ± 0.12	10.4	1.94 ± 0.08	4.0	1.76 ± 0.1	3.27
Ветошь	2.11 ± 0.11	10.0	1.53 ± 0.07	3.26	1.32 ± 0.08	2.47
Войлок	2.17 ± 0.12	8.94	1.75 ± 0.09	3.24	1.7 ± 0.1	2.8
Подземная масса	1.82 ± 0.15	142	1.5 ± 0.1	52.6	1.42 ± 0.11	40.6

В исследованных типах почв азот больше всего накапливается в зеленой массе фитоценоза. В ветоши концентрация азота снижается в 1.2-1.4 раза, в войлоке незначительно изменяется по сравнению с его показателями в зеленой массе. Эти значения по накоплению и концентрации азота в корневой массе ниже, чем в зеленой массе в 1.3 раза.

Математический анализ вариабельности азота в блоках растительного вещества показывает, что в зеленой массе, ветоши и войлоке на светло-каштановой почве его содержание имеет более высокие значения (в пределах 2.11-2.35%) по сравнению с показателями вариабельности, полученными в фитомассе на лугово-каштановой почве (1.53-1.94%) и солончаке типичном (1.32-1.76%). Но коэффициент вариации на этих почвах был более высоким (7.73-10.4% и 6.83-11.3%), чем на светло-каштановой. Возможно, это объясняется тем, что на последней накапливается больше надземной и подземной фитомассы, чем на других типах почв. При этом его значение в корнях фитомассы было выше, чем в надземной массе, и колебалось от 15.3 до 18.7%.

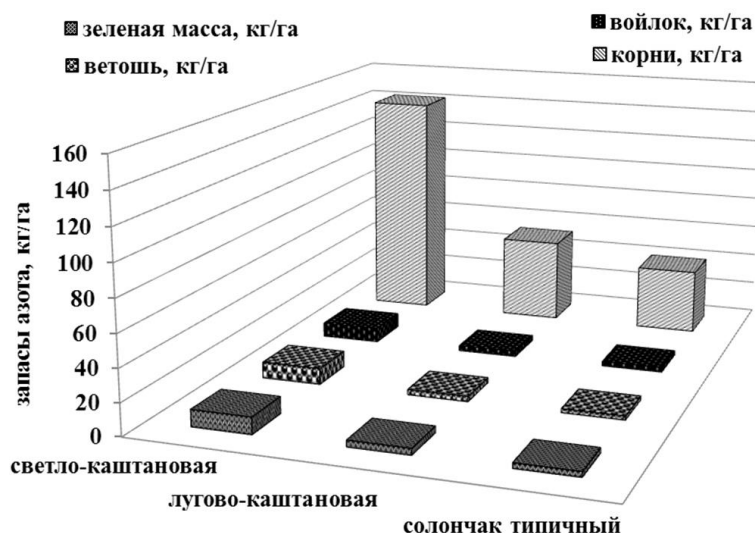


Рис. Запасы азота (кг/га) в блоках растительного вещества (зеленая масса, ветошь, войлок, корни) в зависимости от типа почв за 2011-2018 гг.

Мы выявили различия концентрации азота в доминирующих видах растений на светло-каштановой почве, где наиболее высокими показателями характеризовались полынь Лерха (1.37%), полынь таврическая (1.3%) и солянка иберийская (1.28%). Возможно, высокая концентрация азота в фитомассе связана с преобладанием видов полыни таврической и Лерха, солянки грузинской, в которых значения азота в 5-8 раз выше, чем в фитомассе, где преобладают виды семейства злаковых, крестоцветных и гвоздичных (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация и коэффициент биологического поглощения (КБП) азота (надземная часть/почва) в доминирующих видах фитоценозов на светло-каштановой почве 2018 г.

Вид растений	Семейство	N, %	КБП
Полынь Лерха <i>Artemisia lercheana</i> Web. ex Stechm.	Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	1.37	6.9
Полынь таврическая <i>Artemisia taurica</i> Willd.	Сложноцветные <i>Asteraceae</i>	1.30	6.5
Курай-солянка иберийская <i>Salsola iberica</i> Sennenet Раи.	Маревые <i>Chenopodiaceae</i>	1.28	6.4
Ячмень заячий <i>Hordeum leporinum</i> Link.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.68	3.4
Мятлик луковичный <i>Poa bulbosa</i> L.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.20	1.0
Костер растопыренный <i>Bromus squarrosus</i> L.	Злаковые <i>Poaceae</i>	0.38	1.9
Бурачок пустынный <i>Alyssum desertorum</i> Stapf	Крестоцветные <i>Brassicaceae</i>	0.32	1.6
Смолевка коническая <i>Silene conica</i> L.	Гвоздичные <i>Caryophyllaceae</i>	0.27	1.4

Динамика запасов азота в фитомассе, по данным исследований за 2011-2018 гг., имеет различия в зависимости от климатических условий и сезона года (весна и осень): они выше в зеленой массе весной (апрель-май) по сравнению с периодом образования семян в августе-сентябре, а осенью (октябрь-ноябрь) отмечается минимальное потребление азота фитоценозом. Такое перераспределение объясняется усиливающейся потребностью растений в азоте весной, обусловленной синтезом белка при формировании урожая фитомассы. Снижение азота осенью обусловлено увеличением засоленности почвы, способствующим повышению осмотического давления почвенного раствора и торможению поступления питательных элементов в растения.

Транслокация зеленой массы в ветошь, а затем в войлок на исследуемых типах почв протекает достаточно интенсивно, несмотря на засушливость климата данной территории. Концентрация азота выше всего в зеленой массе, в ветоши она снижается в 1.3-1.4 раза, в войлоке изменяется незначительно по сравнению с его содержанием в зеленой массе. Эти данные согласуются с исследованиями других авторов, где его концентрация в опаде пустынных формаций составляет 1.7%, степных – 1.2, лесных – 0.6% (Титлянова, 2009).

Уравнение линейной регрессии зависимости запасов азота (Z) от концентрации азота в блоках растительного вещества (y) и от типа почв (x) в виде проекции 3М поверхности имеет вид:

$$Z = 0.21 - 0.17x + 1.22y \quad (1).$$

Исходя из этого уравнения, изменение запаса азота (Z) зависит в большей степени от содержания азота в блоках растительного вещества ($1.22y$), чем от типа почв ($0.17x$).

Подводя итоги многолетних и масштабных исследований, Н.И. Базилевич и А.А. Титлянова (2008) установили, что система обменных процессов универсальна для всех автотрофных наземных экосистем: проявление биотического круговорота азота и зольных элементов (химизм растительности, запасы элементов питания, интенсивность обменных процессов) характеризуется степенью сходства, которое меняется на разных уровнях организации биосферы от тождественности до специфичности.

Запасы азота по блокам растительного вещества, по данным наших исследований, образуют следующий убывающий ряд: корни \geq зеленая масса \geq ветошь \geq войлок. Процесс накопления азота в подземных органах более интенсивен ввиду высокой продуктивности всей подземной фитомассы по сравнению с надземной. В зеленой массе и мортмассе (ветошь и войлок) запасы азота примерно одинаковы.

В мертвой растительной массе в заповедных степных участках удерживается около 50-160 кг/га азота и 400-950 кг/га минеральных веществ. Следует отметить, что пастбищные млекопитающие освобождают из надземной фитомассы около 15 кг/га доступных форм азота, что обеспечивает увеличение скорости биологического круговорота азота, способствует увеличению азота в доступных растениям формах в почве и в целом поддерживает положительный баланс биологического круговорота азота в пастбищной экосистеме (Абатуров, Кулакова, 2010).

С учетом приведенных выше данных, мы составили баланс азота в фитоценозах на трех исследуемых типах почв (табл. 4).

При расчетах количества азота и химических элементов, выщелоченных из надземных органов фитоценозов, и прижизненных выделений из подземных органов мы использовали данные А.А. Титляновой (2007). Разница между водами, прошедшими через травостой, и атмосферными осадками учитывается при определении выщелачивания элементов в травяных экосистемах. С учетом незначительного количества атмосферных осадков (годовое количество осадков в среднем составляет до 292 мм) в природных условиях полупустынного региона наших исследований, различие в вымывании азота из надземных органов в почву связано с перераспределением осадков на неоднородных по структуре растительных сообществах, образующих мозаичность фитоценоза на поступление влаги в зависимости от типа почв. Поэтому суммарное поступление азота в светло-каштановую почву было больше, чем в лугово-каштановую, в 2.7 раза, в солончак типичный – в 3.5 раза.

Данные исследований по вопросу выщелачивания из надземной фитомассы и корневые выделения показывают, что больший процент азота в рассматриваемых условиях приходится на полупустыни, чем на луговые степи Курской области. Свое влияние могло оказать его поступление с осадками (Jonasson, 2006; Titlyanova et al., 2006).

Таблица 4. Баланс азота в фитоценозе по типам почв Северо-Западного Прикаспия в 2011-2018 гг., кг/га в год (заповедный режим).

Показатель	Тип почвы		
	светло-каштановая	лугово-каштановая	солончак типичный
Всего потреблено фитоценозом	171.6	63.1	49.1
Закреплено в ветоши	10.0	3.3	2.5
Возвращено в почву:			
выщелочено из надземных органов	0.3	0.3	0.3
выделено прижизненно из подземных органов	0	0	0
при разложении войлока	81.1	28.9	23.9
при разложении подземных органов	90.5	34.2	25.2
Всего	171.9	63.4	49.4
Баланс	+10.3	+3.6	+2.8

Установлено, что на трех типах почв в заповедном режиме количество возвращенного в почву и закрепленного в ветоши азота в среднем за 2011-2018 гг. превышает количество потребленного на создание фитомассы на светло-каштановой почве на 10.3 кг/га в год, на лугово-каштановой – на 3.6 кг/га в год, на солончаке типичном автоморфном – на 2.8 кг/га в год. Следовательно, в условиях заповедного режима содержания пастбищ на всех типах почв Северо-Западного Прикаспия складывается скомпенсированный баланс азота. Интенсивность обменных процессов азота в фитоценозах зависит от величины первичной продуктивности, состава доминирующих видов фитоценоза и гидротермических условий среды.

Выводы

1. В заповедных условиях наибольшая концентрация и запасы азота отмечены в фитомассе, формирующейся на светло-каштановой почве (2.35% и 10.4 кг/га) по сравнению с лугово-каштановой почвой (1.94% и 4.0 кг/га) и солончаком типичным (1.76% и 3.27 кг/га). Это связано, в первую очередь, с более высокой продуктивностью фитоценоза на светло-каштановой почве, по сравнению с другими типами почв: 4.5 т/га•год против 2.0 и 1.86 зеленой массы и 78.2; 35.1 и 28.6 т/га•год корневой массы.

2. В результате множественного регрессионного анализа установлено, что весной 94.5% от общей вариабельности концентрации азота в фитомассе происходит за счет изменения факторов ГТК, условий увлажненности. Перераспределение азота из трудногидролизуемой фракции в более мобильную легкогидролизуемую фракцию весной объясняется наличием благоприятных гидротермических условий. Осенью 52% от общей вариабельности зависит от содержания азота в почве.

3. На контрольном участке происходит значительное уменьшение запасов азота в почве 1.6-1.8 раза и составляет 2.6 т/га, запасов азота в зеленой массе – 3.0 кг/га на светло-каштановой почве, находящейся под действием интенсивного выпаса скота.

4. Запасы азота по блокам растительного вещества образуют следующий убывающий ряд: корни \geq зеленая масса \geq ветошь \geq войлок.

5. В приходной части баланса в светло-каштановой почве накапливается (кг/га) 171.6 азота, в лугово-каштановой – 63.1, в солончаке типичном автоморфном – 49.1, в расходной части – 171.9, 63.4 и 49.4 кг/га соответственно. Количество возвращенного в почву и закрепленного в ветоши азота превышает количество потребленного на создание фитомассы: на светло-каштановой почве – на 10.3 кг/га в год, на лугово-каштановой – на 3.6 кг/га в год, на солончаке типичном автоморфном – на 2.8 кг/га в год. В условиях заповедного режима пастбищ на всех типах почв складывается скомпенсированный баланс азота.

В современных условиях при разработке приемов восстановления деградированных фитоценозов в аридной зоне Северо-Западного Прикаспия необходимо проведение продолжительных периодов

контролируемого порядка выпаса скота в условиях заповедного режима и перегона скота с зимних на летние пастбища в горные районы республики.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН «Мониторинг и прогноз динамики почвенного покрова и биопродуктивности ландшафтов Северо-Западного Прикаспия и дагестанской части Восточного Кавказа», раздел 2 № АААА-А20-120062990014-2 «Биопродуктивность ландшафтов и балансы азота и углерода в экосистемах, подвергшихся естественно-антропогенной трансформации Северо-Западного Прикаспия» (тема 2 № 122032200273-6), а также при финансовой поддержке МСХ РФ по ЕГИСУ НИОКТР 1022040900563-6-4.1.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Б.Д., Кулакова Н.Ю.* 2010. Роль выпаса животных и степных палов в круговороте азота и зольных элементов в степных пастбищных экосистемах // Аридные экосистемы. Т. 16. № 2. С. 54-64.
- Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д.* 2013. Опыт количественной оценки продукции надземной фитомассы и ее составляющих на степном пастбище // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4 (57). С. 14-22. [*Abaturov B.D., Nukhimovskaya Yu.D.* 2013. Quantitative Assessment of Aboveground Plant Production and Its Components in Steppe Pasture // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 4. P. 198-204.]
- Ариунушкина Е.В.* 1970. Химический анализ почв. М.: МГУ. С. 386-426.
- Асварова Т.А., Гасанов Г.Н., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Гимбатова К.Б., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К., Кичева Ж.О.* 2021. Запасы азота и углерода в почвах Терско-Кумской низменности // Вестник Воронежского государственного университета. № 3. С. 33-40.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* 2008. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН. 376 с.
- Бананова В.А., Лазарева В.Г.* 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. 119-126.]
- Василенко Р.Н.* 2017. Значение многолетних трав в системе земледелия // AgroOne. № 23. С. 23-25.
- Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Ахмедова З.Н., Салихов Ш.К.* 2017. Видовой состав и продуктивность пастбищных фитоценозов Терско-Кумской низменности (на примере Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН) // Растительные ресурсы. № 53 (4). С. 459-475.
- Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С., Салихов Ш.К.* 2018. Динамика химических элементов в блоках растительного вещества травяных экосистем Терско-Кумской низменности Прикаспия // Проблемы развития АПК региона. № 4 (36). С. 39-45.
- Джамбулатов З.М.* 2020. Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, 24-25 сентября 2020 г. 457 с.
- Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2019 год. 2020. М.: Росгидромет. 97 с.
- Загидова Р.М., Бийболатова З.Д., Асгерова Д.Б., Абдурашидова П.А.* 2015. Экология смен в растительных группировках Терско-Кумской и Терско-Сулакской низменностей // Вестник Дагестанского государственного университета. № 30 (1). С. 60-65.
- Залетаев В.С.* 1989. Экологически дестабилизированная среда. Экосистемы аридных зон в изменяющемся гидрологическом режиме. М. 43 с.
- Залибеков З.Г.* 2005. Аридное почвообразование и проблемы его изучения в регионах европейского юга России // Аридные экосистемы. Т. 11. № 26-27. С. 94-99.
- Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б.* 2016. О разнообразии почвенных ресурсов и их роли в создании продовольственной безопасности // Аридные экосистемы. Т. 22. № 2 (67). С. 5-15. [*Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B.* 2016. Soil Resource Diversity and Its Role in Food Security Preservation // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 2. P. 81-88.]
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Асгерова Д.Б., Магомедов Р.А.* 2021. Потенциал биопродукционных ресурсов почвенного покрова: использование и источники возобновления // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1 (86). С. 15-23. [*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.]

- Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов. 2003 / Ред. К.М. Петров. СПб. 246 с.
- Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д. 2010. Элементы круговорота азота в ландшафтах Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 151-159.
- Кулик К.Н. 2005. Разработка субрегиональной национальной программы действий по борьбе с опустыниванием для юго-востока Европейской части РФ // Биологическое и почвенное разнообразие аридных экосистем юга России. Махачкала. С. 12-20.
- Ли Яомин. 2009. Опустынивание и восстановление биоресурсного потенциала субаридных и аридных ландшафтов (на примере Северо-Западного Прикаспия и пустынь Центральной Азии). Авт. дисс. ... канд. географ. наук. СПб. 17 с.
- Муртазалиев Р.А. 2009. Конспект флоры Дагестана. Т. I-IV / Ред. Р.В. Камелин. Махачкала: Эпоха. Т. 1., 320 с.; Т. 2., 248 с.; Т. 3., 304 с.; Т. 4., 232 с.
- Практикум по агрохимии. 1987 / Сост. Б.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др. М.: Агропромиздат. 275 с.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л. 2015. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 307-321.
- Сиземская М.Л. 2013. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК. 276 с.
- Титлянова А.А. 1988. Продуктивность травяных экосистем // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Ред. В.Б. Ильин. Новосибирск. 134 с.
- Титлянова А.А. 2007. Бюджет элементов питания в экосистемах // Почвоведение. № 12. С. 1422-1430.
- Титлянова А.А. 2009. Сукцессии и биотический круговорот // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 11. № (1-7). С. 1596-1604.
- Тютюма Н.В., Булахтина Г.К. 2016. Проблема опустынивания аридной зоны Астраханской области в условиях изменения климата и повышенного антропогенного воздействия // Материалы Международной конференции ООН по борьбе с опустыниванием, 24-26 ноября 2016 г. Махачкала. С. 68-72.
- Ярулина Н.А. 1983. Первичная биологическая продуктивность почв дельта Терека. М.: Наука. 87с.
- Jonasson S. 2006. Interactions between Plants, Litter and Microbes in Cycling of nitrogen and Phosphorus in the Arctic // Soil Biology & Biochemistry. Vol. 38. P. 526-532.
- Kader M., Lindberg S. 2010. Cytosolic Calcium and pH Signaling in Plants under Salinity Stress // Plant Signaling & Behavior. No. 5 (3). P. 233-238.
- Saffariha M., Azarnivand H., Tavili A. 2014. Effects of Grazed Enclosure on Some of Nutrient Elements of Aerial and Underground Organs of *Artemisia sieberi*, *Stipa hohenacheriana* and *Salsola rigida* // International Journal of Agronomy and Agricultural Research. No. 4 (2). P. 62-70.
- Titlyanova A.A. 2012. Above-ground and Below-ground Productivity of Central Asian Steppes // Steppe Ecosystems: Dynamics, Land and Conservation / ed. M.G. Denise. 354 p.
- Titlyanova A.A., Bienkovski P., Shibareva S.V. 2006. Chemical Properties of Litter of Forest and Grassland Ecosystems: Transect Studies in Siberia (Russia) // Polish Journal of Ecology. Vol. 54. No. 1. P. 53-59.
- Zuo X.A., Knops J.M.H., Zhao X.Y., Zhao H.L., Li Y.Q., Guo Y.R. 2011. A Positive Correlation between Plant Diversity and Productivity is Indirectly Caused by Environmental Factors Driving Spatial Pattern of Vegetation Composition in Semiarid Sandy Grassland // Biogeosciences Discussions. No. 8. P. 1795-1801.

УДК 581.527.2; 581.527.5

**КАРТА СОВРЕМЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ПОПУЛЯЦИИ САЙГАКА (*SAIGA TATARICA TATARICA* L., 1766)
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРИКАСПИИ**

© 2023 г. **И.Н. Сафронова***, **Н.Ю. Степанова****, **Т.Ю. Каримова*****, **О.Г. Калмыкова******,
С.С. Уланова*****, **Н.Л. Федорова*******, **И.А. Горяев***,
С.А. Полуэктов*****, **Д.Г. Поляков*******

**Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН*
Россия, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, д. 2
E-mail: irasafroнова@yandex.ru, gorjaev.arслан@yandex.ru

***Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН*
Россия, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 4. E-mail: ny_stepanova@mail.ru

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

*****Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

******Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра*
Уральского отделения РАН
Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, д. 11
E-mail: okstepposa@gmail.com, electropismo@yandex.ru

******Институт комплексных исследований аридных территорий*
Россия, 358005, г. Элиста, ул. Хомутникова, д. 111
E-mail: svetaulanova@yandex.ru, bekeevan@yandex.ru

******Центр развития творчества детей и юношества «Гермес»*
Россия, 127247, г. Москва, Дубнинская ул., д. 21. E-mail: biom@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.03.2023. После доработки 18.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

В статье представлена карта современного растительного покрова на территорию настоящего и предполагаемого распространения популяции сайгака в Северо-Западном Прикаспии. Карта создана по предложению Всемирного фонда дикой природы (WWF) в масштабе 1:200000 в программе ArcGIS. Легенда содержит 61 номер, которые объединены в 11 подразделений по доминирующей формации. В степной зоне разновозрастные залежи и пастбища на слабоволнистых и волнистых равнинах со светло-каштановыми почвами представлены: лерхополынно-тырсиковыми (*Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*) сообществами на суглинистых и супесчаных почвах в комплексе с лерхополынными (*A. lerchiana*) и злаковыми (*Leymus ramosus*, *Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*) на солонцах (I); полукустарничково-злаково-ковыльными (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *Tanacetum achilleifolium*) сообществами на суглинистых и супесчаных почвах в комплексе с полукустарничковыми (*Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *T. achilleifolium*) на солонцах (II); лерхополынно-злаковыми (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Stipa sareptana*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*) сообществами на суглинистых и супесчаных солонцеватых почвах в комплексе со злаково-полукустарничковыми (*Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *T. achilleifolium*, *Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*) на солонцах (III); полукустарничково-злаковыми (*Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*, *Stipa sareptana*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *T. achilleifolium*) сообществами на суглинистых и супесчаных солонцеватых почвах в комплексе с полынными (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *A. pauciflora*) на солонцах (IV); злаково-полынными (*Artemisia lerchiana*, *A. austriaca*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*) и полынно-злаковыми (*Festuca valesiaca*, *Poa bulbosa*, *Artemisia austriaca*) сообществами на суглинистых и супесчаных засоленных почвах в

комплексе с полынными (*Artemisia pauciflora*, *A. santonica*) на солонцах (V). В пустынной зоне пастбища на бугристо-грядовых песках, на волнистых и увалистых равнинах с бурыми пустынными песчаными и супесчаными почвами представлены: мятликово-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхопопынно-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) сообществами (VI); мятликово-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхопопынно-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) сообществами на засоленных почвах легкого гранулометрического состава в комплексе с чернопопынными (*Artemisia pauciflora*) и мятликово-чернопопынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*) на солонцах (VII); комплексами мятликово-лерхопопынных (*Artemisia lerchiana*, *P. bulbosa*), мятликово-попынных (*Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *P. bulbosa*) и мятликово-таврическопопынных (*Artemisia taurica*, *P. bulbosa*) сообществ на засоленных почвах легкого гранулометрического состава (VIII); комплексами лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и таврическопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*) сообществ на засоленных почвах легкого гранулометрического состава (IX); мятликово-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *P. bulbosa*) сообществами на увалистых песках, джугуновыми (*Calligonum aphyllum*) на бугристо-грядовых песках (X); мятликовыми (*Poa bulbosa*), злаково-мятликовыми (*P. bulbosa*, *Stipa sareptana*, *S. caspia*, *Agropyron fragile*), спороболуосово-мятликовыми (*P. bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*), однолетниковыми (*Ceratocarpus arenarius*) сообществами на сбитых пастбищах с песчаными почвами (XI).

Ключевые слова: карта растительности, современный растительный покров, степная зона, пустынная зона, залежь, пастбище, сайгак.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-46-56

EDN: QSGELU

В течение многих лет авторы статьи изучают растительность Калмыкии, поэтому предложение Всемирного фонда дикой природы (WWF) создать карту растительности для территории распространения сайгака в Северо-Западном Прикаспии при расширении его ареала явилось той инициативой, благодаря которой закономерности современного распределения растительного покрова нашли картографическое отображение. В 2021 и 2022 гг. при поддержке фонда и организаций, в которых работают авторы были проведены дополнительные маршруты.

Растительный покров Северо-Западного Прикаспия чрезвычайно неоднороден. В одних случаях это объясняется природными условиями, когда из-за наличия солонцов, солончаков, соров и лиманов формируются комплексы и сочетания. Однако в большинстве случаев неоднородность связана с деятельностью человека. В настоящее время на закартированной территории в степной зоне растительный покров представляет собой разновозрастные залежи (используемые под пастбища), а в пустынной зоне – пастбищные варианты с разной степенью нагрузки, часто сильно выбитые, вплоть до развеваемых песков, лишенных растительности. На залежах и пастбищах растительный покров часто бесструктурный, мозаичный, пятнистый.

Материалы и методы

Карта современного растительного покрова создана по материалам, полученным авторами в 2015-2017 и 2021-2022 гг. в ходе маршрутных исследований. Общая протяженность маршрутов составила 8500 км (рис. 1). Треки маршрутов записывались, проводилась привязка координат точек геоботанических описаний, почвенных разрезов, сборов гербария и фотографий.

Сделано 250 геоботанических описаний по стандартной методике на площадках размером 10x10 м² (Полевая геоботаника, 1972; Нешатаев, 1987; Тиходеева, Лебедева, 2015), заложено и описано 23 геоботанических и 4 почвенных профиля, собрано более 1000 гербарных листов, сделано более 10 тыс. фотографий. В ходе анализа геоботанических описаний проведена эколого-фитоценотическая классификация сообществ (Александрова, 1969). Названия видов растений даны по работам: С. К. Черепанов (1995) и «Флора Нижнего Поволжья» (2018).

При создании карты проведен сбор и компьютерная обработка картографического материала и материалов дистанционного зондирования (геопозиционирование, векторизация топокарт масштаба 1:200000; Уланова и др., 2019). Степная и пустынная растительность на космоснимках

не читается, поэтому они были полезны в основном для выявления полей, ирригационных систем, кошар и т.п. Контурная нагрузка карты создана на основе данных о растительном покрове, полученных в ходе наземных маршрутов. Все изменения в покрове записывались в полевых дневниках по спидометру и наносились на топографические карты масштабом 1: 200000.

Результаты и обсуждение

Важнейшим этапом в процессе создания карты является построение легенды. Легенды к картам основываются на классификации растительности, но отличаются тем, что в них одновременно используются единицы разного таксономического ранга – как фитоценотические (фитоценомеры), так и территориальные (фитоценохоры). Структура подзаголовков иерархическая, что позволяет детально отразить закономерности растительного покрова. Для показа особенностей, не выражающихся в масштабе карты, применяются внесмасштабные знаки, подчеркивающие своеобразие выделов (Исаченко, 1962; Грибова, Исаченко, 1972).

Карта современной растительности Северо-Западного Прикаспия создана на территорию распространения популяции сайгака (*Saiga tatarica tatarica* L., 1766; рис. 2), т.к. по оценкам специалистов к 2030 году площадь его ареала должна возрасти с 3 тыс. до 30 тыс. км² (Распоряжение ..., 2021). Небольшая часть этой территории лежит в степной зоне, но большая часть находится в пустынной зоне. В степной зоне рельеф волнистый и слабоволнистый, распространены светлокаштановые, в основном супесчаные почвы, часто засоленные, образующие комплексы с солонцами и солончаками (Борликов и др., 2009). Пустынная зона занята грядовыми и бугристо-грядовыми песчаными массивами, увалистыми и волнистыми равнинами с бурными песчаными, местами засоленными, почвами. Характерны соленые озера (соры).

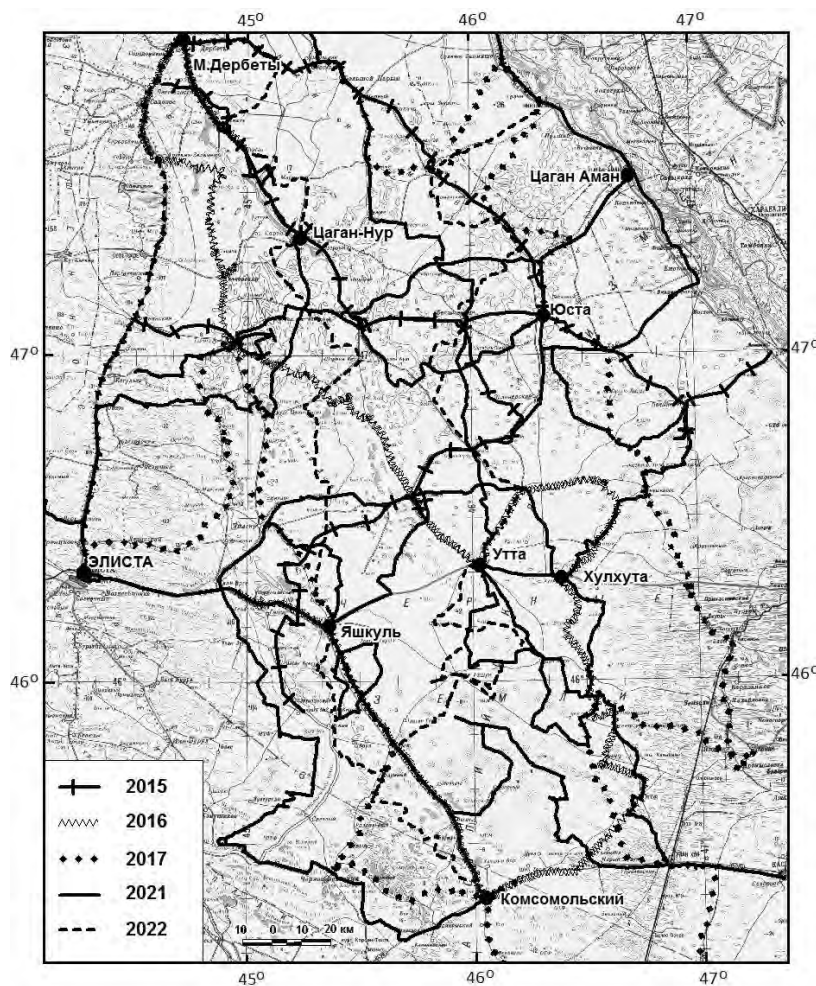


Рис. 1. Карта маршрутов.

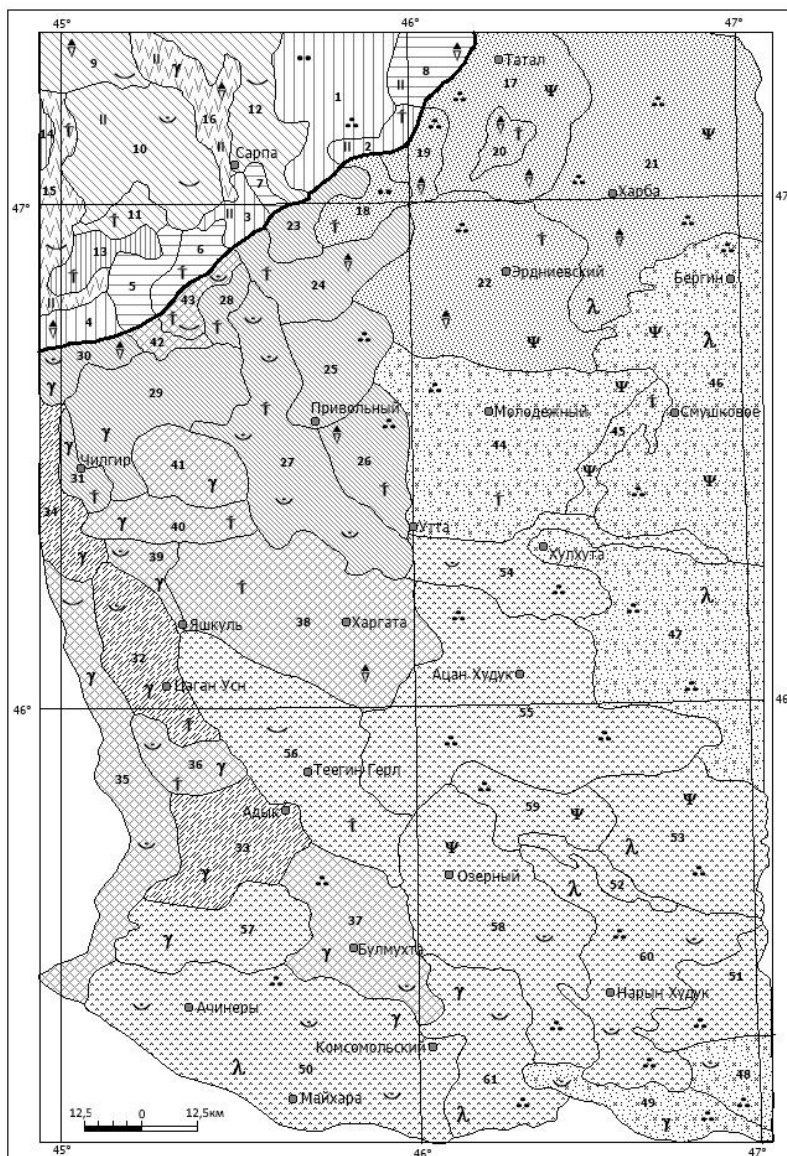


Рис. 2. Карта современной растительности Северо-Западного Прикаспия на территорию распространения популяции сайгака. Условные обозначения: жирная линия – граница степной и пустынной зон; нумерация контуров (соответственно легенде): I – 1-4, II – 5-8, III – 9-12, IV – 13-14, V – 15-16, VI – 17-22, VII – 23-31, VIII – 32-34, IX – 35-43, X – 44-49, XI 50-61; † – *Anabasis aphylla*, Ψ – *Peganum harmala*, ♣ – *Artemisia pauciflora*, Υ – *Tamarix* spp., λ – *Calligonum aphyllum*, || – лиманы, ∪ – засоленные депрессии, ∩ – соры, •• – заросшие пески, ⊘ – разбитые пески.

В настоящее время сайгаки из-за низкой численности держатся в основном в пределах пустынной зоны, на охраняемых и прилегающих к ним территориях: в заповеднике «Черные Земли» Республики Калмыкия и в заказнике «Степной» Астраханской области. В рацион сайгака Северо-Западного Прикаспия входят более 150 видов высших растений. Согласно исследованиям В.Х. Лебедевой (1959), в течение года он отдает предпочтение разным кормам: ранней весной это злаковые (до 85.7% в рационе), весной – злаковые (29.6%), эфемеры и эфемероиды (42.6%), летом – злаковые (29.9%) и маревые (33%), осенью и зимой – маревые (57.1-66.7%). Вид обладает высокой мобильностью: при высокой численности в 1960-е гг. сайгаки в поисках пропитания совершали миграции протяженностью более 400 км, что позволяло им избегать конкуренции за кормовые ресурсы с домашними животными. Распашка земель, переход от отгонного животноводства

к оседлому и увеличению численности скота с 70-80-х гг. прошлого столетия привели к деградации растительных сообществ на этой территории. Карта современного состояния растительного покрова Северо-Западного Прикаспия необходима для предстоящей оценки этой территории на наличие кормовой базы для сайгака и понимания путей возможных миграций вида при увеличении его численности в ближайшие годы.

Легенда

В легенде к карте заголовки самого высокого ранга говорят о зональной принадлежности картируемых единиц к степной или пустынной зоне. Следующая иерархическая единица отражает формационное разнообразие степной и пустынной растительности и пространственную неоднородность покрова. Таких единиц 11. В их формулировках учитывается также динамическое состояние растительности. Например, различием в степени пастбищного использования объясняется выделение мятликово-лерхопопынных сообществ, а при большей нагрузке на пастбище – лерхопопынно-мятликовых.

Низшие картируемые единицы легенды (61 шт.) представляют собой фитоценохоры – комплексы (с растительностью на солонцах) и сочетания (с растительностью на сорах и песках). Несмотря на то что экологические условия Калмыкии мало разнообразны (территория равнинная, с преобладанием почв легкого гранулометрического состава), почти нет пространств, характеризующихся однородным растительным покровом, поэтому в легенде не использованы фитоценомеры. Смена сообществ происходит очень часто, местами – на каждом километре маршрута. Такое многообразие растительных сообществ объясняется динамическим состоянием покрова: на разновозрастных залежах происходит восстановление степей (которые в свою очередь используются для выпаса), на пастбищах наблюдаются разные стадии их выбитости.

На карте использованы и внесмасштабные знаки. Они подчеркивают своеобразие выделов: разбитые пески без растительности, засоленные депрессии с чернопопынными, сантониопопынными, однолетнесолянковыми сообществами, соры с комплексом галофитных сообществ (*Halocnemum strobilaceum*, *Petrosimonia* spp.), лиманы с пырейными (*Elytrigia repens*) лугами, обилие итсигека (*Anabasis aphylla*), гармалы (*Peganum harmala*) у кошар, встречаемость черной полыни (*Artemisia pauciflora*), джугуна (*Calligonum aphyllum*), тамариксов (*Tamarix* spp.).

СТЕПНАЯ ЗОНА

Разновозрастные залежи и пастбища на слабоволнистых и волнистых равнинах со светло-каштановыми почвами в комплексе с солонцами, местами в сочетании с солончаками на сорах (соленых озерах) и луговыми почвами в лиманах

I. Лерхопопынно-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*) сообщества на светло-каштановых суглинистых и супесчаных почвах в комплексе с лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*) и злаковыми (*Leymus ramosus*, *Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*) на солонцах

1. Лерхопопынно-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*), тырсиково-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Stipa sareptana*) в комплексе с лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*), пустынножитняковыми (*Agropyron desertorum*) и вострецовыми (*Leymus ramosus*).

2. Лерхопопынно-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*), лерхопопынно-мятликово-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) в комплексе с мятликово-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и мятликовыми (*Poa bulbosa*).

3. Ромашниково-злаково-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*, *Tanacetum achilleifolium*), тырсиково-ромашниковые (*Tanacetum achilleifolium*, *Stipa sareptana*), эфемерово-мятликово-ромашниковые (*Tanacetum achilleifolium*, *Poa bulbosa*, *Anisantha tectorum*) в комплексе с мятликово-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*).

4. Лерхопопынно-мятликово-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), попынно-злаковые (*Stipa sareptana*, *Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *A. austriaca*) в комплексе с мятликово-тырсиково-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *Stipa sareptana*, *Poa bulbosa*), мятликово-лерхопопынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), таврическопопынно-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*).

II. Полукустарничково-злаково-ковыльные (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca*,

***Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *Tanacetum achilleifolium*) сообщества на светло-каштановых суглинистых и супесчаных почвах в комплексе с полукустарничковыми (*Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *Tanacetum achilleifolium*) на солонцах**

5. Полынно-злаково-ковыльные (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *A. austriaca*) в комплексе с мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), мятликово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*) и мятликово-ромашниковыми (*Tanacetum achilleifolium*, *Poa bulbosa*).

6. Ромашниково-полынно-злаково-ковыльные (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *Tanacetum achilleifolium*) в комплексе с ромашниковыми (*Tanacetum achilleifolium*) и полынными (*Artemisia lerchiana*, *A. taurica*).

7. Ромашниково-лерхополынно-злаково-ковыльные (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Poa bulbosa*, *Festuca valesiaca*, *Leymus ramosus*, *Agropyron desertorum*, *Artemisia lerchiana*, *Tanacetum achilleifolium*) в комплексе с ромашниково-злаково-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Festuca valesiaca*, *Leymus ramosus*, *Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Agropyron desertorum*, *Tanacetum achilleifolium*).

8. Ромашниково-лерхополынно-злаково-ковыльные (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *Tanacetum achilleifolium*) в комплексе с мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), мятликово-полынными (*Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *Poa bulbosa*) и мятликово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*).

III. Лерхополынно-злаковые (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Stipa sareptana*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*) сообщества на светло-каштановых суглинистых и супесчаных солонцеватых почвах в комплексе со злаково-полукустарничковыми (*Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *Tanacetum achilleifolium*, *Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*) на солонцах

9. Лерхополынно-пустынножитняково-типчаковые (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Artemisia lerchiana*), лерхополынно-типчаковые (*Festuca valesiaca*, *Artemisia lerchiana*), ромашниково-лерхополынно-вострецово-пустынножитняково-типчаковые (*Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*, *Tanacetum achilleifolium*) в комплексе с мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*).

10. Лерхополынно-вострецово-типчаково-пустынножитняковые (*Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*), мятликово-лерхополынно-тырсиковые (*Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) в комплексе с вострецово-ромашниковыми (*Tanacetum achilleifolium*, *Leymus ramosus*), мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и мятликово-лерхополынно-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *A. lerchiana*, *Poa bulbosa*).

11. Лерхополынно-злаковые (*Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*), ромашниково-злаковые (*Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Stipa sareptana*, *Tanacetum achilleifolium*) в комплексе с мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и мятликово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*).

12. Лерхополынно-пустынножитняковые (*Agropyron desertorum*, *Artemisia lerchiana*), лерхополынно-вострецовые (*Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*), австрийскополынно-типчаковые (*Festuca valesiaca*, *Artemisia austriaca*) в комплексе с лерхополынно-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), лерхополынно-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *A. lerchiana*), чернополынно-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Artemisia pauciflora*) и ромашниковыми (*Tanacetum achilleifolium*).

IV. Полукустарничково-злаковые (*Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*, *Stipa sareptana*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *Tanacetum achilleifolium*) сообщества на светло-каштановых суглинистых и супесчаных солонцеватых почвах в комплексе с полынными (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *A. pauciflora*) на солонцах

13. Лерхополынно-злаковые (*Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *Artemisia lerchiana*) в комплексе с пустынножитняково-мятликово-полынными (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Agropyron desertorum*), мятликово-лерхополынными (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и мятликово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*).

14. Ромашниково-таврическополынно-злаковые (*Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*, *Agropyron desertorum*, *Artemisia taurica*, *Tanacetum achilleifolium*) в комплексе с мятликово-полынными (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *Poa bulbosa*) и мятликово-таврическополынными (*Artemisia taurica*, *Poa bulbosa*).

V. Злаково-полынные (*Artemisia lerchiana*, *A. austriaca*, *Festuca valesiaca*, *Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*) и полынно-злаковые (*Festuca valesiaca*, *Poa bulbosa*, *Artemisia austriaca*) сообщества на светло-каштановых суглинистых и супесчаных засоленных почвах в комплексе с полынными (*Artemisia pauciflora*, *A. santonica*) на солонцах

15. Злаково-полынные (*Artemisia lerchiana*, *A. austriaca*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*, *Agropyron desertorum*, *A. cristatum*), австрийскополынно-мятливо-типчачковые (*Festuca valesiaca*, *Poa bulbosa*, *Artemisia austriaca*) в комплексе с чернополынно-вострецово-мятликовыми (*Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*, *Artemisia pauciflora*), чернополынными (*Artemisia pauciflora*) и сантоникополынными (*Artemisia santonica*).

16. Пустынножитняково-чернополынные (*Artemisia pauciflora*, *Agropyron desertorum*) в комплексе с пустынножитняково-сантоникополынными (*Artemisia santonica*, *Agropyron desertorum*) и вострецово-сантоникополынными (*Artemisia santonica*, *Leymus ramosus*).

ПУСТЫННАЯ ЗОНА

Пастбища на бугристо-грядовых и увалистых песках в сочетании с солеными озерами (сорами), на волнистых и увалистых равнинах с бурыми пустынными песчаными и супесчаными почвами, местами в комплексе с солонцами

VI. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхополынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) сообщества на бурых пустынных песчаных и супесчаных почвах

17. Осоково-мятливо-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*), иногда с участием тырсика (*Stipa sareptana*).

18. Эфемерово-осоково-мятливо-ромашниково-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Tanacetum achilleifolium*, *Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*, *Alyssum desertorum*, *Filago arvensis*), местами – мятликовые (*P. bulbosa*) с узорами доминирования тырсика (*Stipa sareptana*), ромашника (*Tanacetum achilleifolium*), житняка ломкого (*Agropyron fragile*).

19. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), иногда с участием востреца (*Leymus ramosus*).

20. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), лерхополынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) с обилием итсигека (*Anabasis aphylla*).

21. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), лерхополынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и мятликовые (*Poa bulbosa*). При перевыпасе характерны тырсики (*Stipa sareptana*), житняк ломкий (*Agropyron fragile*), обилён многолетний гулявник (*Sisymbrium polymorphum*), местами – однолетник дескурайния (*Descurainia sophia*).

22. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), лерхополынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), лерхополынно-осоково-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*, *Artemisia lerchiana*), редко с единичным участием тырсика (*Stipa sareptana*). Большие площади занимает однолетниково-мятливый (*Poa bulbosa*, *Anisantha tectorum*, *Alyssum desertorum*, *Eragrostis minor*, *Amaranthus albus*, *Salsola tragus*) и однолетниковый сбой.

VII. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхополынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) сообщества на бурых пустынных засоленных почвах легкого гранулометрического состава в комплексе с чернополынными и мятликово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*) на солонцах

23. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) с единичным участием тырсика (*Stipa sareptana*) в комплексе с чернополынными (*Artemisia pauciflora*).

24. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) с единичным участием тырсика (*Stipa sareptana*) в комплексе с мятликово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*).

25. Мятликово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхополынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) с единичным участием тырсика (*Stipa sareptana*) в комплексе с

мятlikово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*). При перевыпасе – лерхополынно-полеви́чковые (*Eragrostis minor*, *Artemisia lerchiana*), полеви́чково-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Eragrostis minor*) с пятнами обилия осоки (*Carex stenophylla*), пятнами обилия амаранта (*Amarantus albus*), с небольшим участием полыни таврической (*Artemisia taurica*) и итсигека (*Anabasis aphylla*).

26. Мятlikово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхополынно-мятlikовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) с единичным участием тырсика (*Stipa sareptana*) в комплексе с мятlikово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*). Местами сплошной покров образует полеви́чка (*Eragrostis minor*), местами – курай (*Salsola tragus*).

27. Мятlikово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), вострецово-мятlikово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*) в комплексе с мятlikово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*) и вострецово-мятlikово-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*).

28. Итсигеково-лерхополынно-мятlikовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *Anabasis aphylla*) с участием житняка пустынного (*Agropyron desertorum*) и тырсика (*Stipa sareptana*).

29. Мятlikово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и полынно-мятlikовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*), иногда с участием итсигека (*Anabasis aphylla*) или зопника колючего (*Phlomis pungens*), в комплексе с чернополынными (*Artemisia pauciflora*) и сантоникополынными (*Artemisia santonica*).

30. Мятlikово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), злаково-австрийскополынные (*Artemisia austriaca*, *Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*) в комплексе с чернополынными (*Artemisia pauciflora*).

31. Мятlikово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) в комплексе с сантоникополынными (*Artemisia santonica*) и чернополынными (*Artemisia pauciflora*).

VIII. Комплексы мятlikово-лерхополынных (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), мятlikово-полынных (*Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *Poa bulbosa*) и мятlikово-таврическополынных (*Artemisia taurica*, *Poa bulbosa*) сообществ на бурых пустынных засоленных почвах легкого гранулометрического состава

32. Комплекс мятlikово-лерхополынных (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), мятlikово-таврическополынных (*Artemisia taurica*, *Poa bulbosa*) и полынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*).

33. Комплекс мятlikово-лерхополынных (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), мятlikово-полынных (*Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *Poa bulbosa*) и мятlikово-таврическополынных (*Artemisia taurica*, *Poa bulbosa*). При перевыпасе покров тырсиково-мятlikовый (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*), эфемерово-мятlikовый (*Poa bulbosa*, *Trigonella orthoceras*); на увалистых песках – спороболлюсово-мятlikовый (*Poa bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*).

34. Комплекс мятlikово-полынных (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *Poa bulbosa*) и древовидносолянково-мятlikово-полынных (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Salsola dendroides*).

IX. Комплексы лерхополынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и таврическополынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*) сообществ на бурых пустынных засоленных почвах легкого гранулометрического состава

35. Комплекс таврическополынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*) и мятlikово-полынных (*Artemisia taurica*, *A. lerchiana*, *Poa bulbosa*), мятlikовых (*Poa bulbosa*), осоково-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*).

36. Комплекс лерхополынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и мятlikово-таврическополынных (*Artemisia taurica*, *Poa bulbosa*). На больших пространствах сомкнутый покров полеви́чки (*Eragrostis minor*), спороболлюса (*Sporobolus cryptandrus*), амаранта (*Amaranthus albus*).

37. Комплекс таврическополынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*) и однолетнесолянково-таврическополынно-мятlikовых (*Climacoptera crassa*); между сорами древовидносолянково-таврическополынно-мятlikовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*, *Salsola dendroides*).

38. Комплекс таврическополынно-мятlikовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*) и лерхополынно-

мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), итсигеково-лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *Anabasis aphylla*) таврическопопынно-полевищковых (*Eragrostis minor*, *Artemisia taurica*) и мятликовых (*Poa bulbosa*).

39. Комплекс лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и древовидносолянково-попынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia pauciflora*, *A. lerchiana*, *A. taurica*, *Salsola dendroides*).

40. Комплекс мятливо-лерхопопынных (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и пынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*); редко – мятливо-пынных (*Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *Poa bulbosa*).

41. Комплекс таврическопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*) с редким участием ковылей (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*) и лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), вострецово-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Leymus ramosus*).

42. Комплекс лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и таврическопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*). Пятна скопления мятлика (*Poa bulbosa*), ковылей (*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*), однолетников (*Lepidium perfoliatum*, *Sisymbrium altissimum*, *Anisantha tectorum*, *Eremopyrum orientale*, *Polygonum* spp.).

43. Комплекс лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), пынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *A. austriaca*), пынно-злаково-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*, *Artemisia lerchiana*, *A. austriaca*), австрийскопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia austriaca*) и таврическопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*).

X. Мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) сообщества на увалистых и грядовых песках, джугуновые (*Calligonum aphyllum*) на бугристо-грядовых песках

44. Мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхопопынно-мятливо (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), иногда с участием тырсика (*Stipa sareptana*) и ковылка (*S. lessingiana*).

45. Мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и осоково-мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*), иногда с участием *Stipa sareptana*.

46. Осоково-мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*), мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*), иногда с участием *Stipa sareptana*. На бугристо-грядовых песках заросли джугуна (*Calligonum aphyllum*) с песчаной пынью (*Artemisia arenaria*).

47. Пынно-джугуновые (*Calligonum aphyllum*, *Artemisia arenaria*, *A. lerchiana*) и лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*). Много разбитых песков, лишенных растительности.

48. Мятливо-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) и лерхопопынно-мятливо (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*). На бугристых рыхлых песках житняково-мятливо (*Poa bulbosa*, *Agropyron fragile*), есть заросли джугуна (*Calligonum aphyllum*).

49. Пынно-джугуновые (*Calligonum aphyllum*, *Artemisia arenaria*, *A. lerchiana*) и лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*). На слабозакрепленных песках со злаками (*Leymus racemosus*, *Agropyron fragile*, *Bromus squarrosus*) и разнотравьем (*Syrenia siliculosa*, *Euphorbia seguieriana*, *Centaurea arenaria*, *Hypocoum pendulum*, *Astragalus astrachanicus*, *Teucrium polium*).

XI. Мятликовые (*Poa bulbosa*), злаково-мятливо (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *Agropyron fragile*, *Stipa caspia*), спороблюсово-мятливо (*Poa bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*), однолетниковые (*Ceratocarpus arenarius* и др.) сообщества на сбитых пастбищах с бурными пустынными песчаными почвами

50. Мятликовые (*Poa bulbosa*), лерхопопынно-мятливо (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), мятливо-пынные (*Artemisia lerchiana*, *A. taurica*, *Poa bulbosa*).

51. Мятликовые (*Poa bulbosa*), лерхопопынно-мятливо (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*); на рыхлых песках – мятливо-житняково-лерхопопынные (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron fragile*, *Poa bulbosa*).

52. Мятликовые (*Poa bulbosa*), лерхопопынно-мятливо (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) с однолетниками (*Eragrostis minor*, *Polygonum* spp., *Sisymbrium altissimum*).

53. Мятликовые (*Poa bulbosa*), лерхопопынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), таврическопопынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia taurica*).

54. Сочетание мятликовых (*Poa bulbosa*), лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*), итсегеково-лерхопопынно-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *Anabasis aphylla*) на бэровских буграх с чернопопынными (*Artemisia pauciflora*), итсегеково-чернопопынными (*Artemisia pauciflora*, *Anabasis aphylla*) мятликовыми (*Poa bulbosa*) с итсегеком (*Anabasis aphylla*) между буграми. По разбитым пескам обильны однолетники: курай (*Salsola tragus*), рогоплодник (*Ceratocarpus arenarius*), полевичка (*Eragrostis minor*), костер (*Anisantha tectorum*), жабник (*Filago arvensis*), гулявник (*Sisymbrium altissimum*).

55. Сочетание тырсыково-мятликовых (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*), иногда с участием ковылка (*Stipa lessingiana*), кураевых (*Salsola tragus*), мятликовых (*Poa bulbosa*) с обилием однолетников (*Sisymbrium altissimum*, *Ceratocarpus arenarius*, *Filago arvensis*, *Alyssum desertorum*, *Lepidium perfoliatum*, *Chenopodium album*, *Amaranthus albus*, *Anisantha tectorum*), мятликово-лерхопопынных (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*).

56. Эфемерово-осоково-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Carex stenophylla*, *Alyssum desertorum*, *Trigonella orthoceras*), гелиотропово-тырсыковые (*Stipa sareptana*, *Heliotropium suaveolens*), гелиотроповые (*Heliotropium suaveolens*), амарантовые (*Amaranthus albus*), полевичковые (*Eragrostis minor*) с участием спороболуса (*Sporobolus cryptandrus*) и итсегека (*Anabasis aphylla*); мятликово-таврическопопынные (*Artemisia taurica*, *Poa bulbosa*).

57. Спороболусово-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*), эфемерово-спороболусово-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*, *Trigonella orthoceras*).

58. Мятликовые (*Poa bulbosa*), ковыльно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *S. lessingiana*), тырсыково-спороболусово-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*, *Stipa sareptana*), спороболусово-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Sporobolus cryptandrus*), лерхопопынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*) и попынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*, *A. taurica*).

59. Эфемерово-тырсыково-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *Alyssum desertorum*) сообщества и эфемерово-ковыльно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *S. lessingiana*, *Alyssum desertorum*).

60. Осоково-злаково-однолетниковые (*Anisantha tectorum*, *Alyssum desertorum*, *Amaranthus albus*, *Eragrostis minor*, *Chenopodium album*, *Ceratocarpus arenarius*, *Salsola tragus*, *Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *Agropyron fragile*, реже *Stipa lessingiana*, единично *Stipa capillata*, *Carex stenophylla*), однолетниково-мятликовые и лерхопопынно-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Artemisia lerchiana*); редко встречаются песчаные бугры с джужуном (*Calligonum aphyllum*) и терескеном (*Krascheninnikovia ceratoides*).

61. На бугристых песках кусты тамарисов (*Tamarix* spp.) и джужуна (*Calligonum aphyllum*); на песчаных грядах мятликовые (*Poa bulbosa*), лерхопопынно-житняково-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Agropyron fragile*, *Artemisia lerchiana*), злаково-мятликовые (*Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*, *S. caspia*, *Agropyron fragile*), однолетниковые (*Lagoseris sancta*, *Heliotropium suaveolens*, *Ceratocarpus arenarius*, *Filago arvensis*, *Eragrostis minor*, *Amaranthus albus*).

Выводы

Общее впечатление от современного растительного покрова Северо-Западного Прикаспия двойственное: с одной стороны, благоприятное, т.к. в степной зоне идет восстановление злаковых (в том числе ковыльных) степей; и в то же время в пустынной зоне на больших площадях наблюдается перевыпас, из-за которого пастбища заняты малопродуктивными однолетниковыми (*S. tragus*, *C. arenarius*) и мятликовыми (*P. bulbosa*) сообществами.

Карта растительности создана по предложению «Оценка местообитаний сайгака Северо-Западного Прикаспия» Всемирного фонда дикой природы в связи с предполагаемым расширением распространения вида из-за роста численности. В настоящее время сайгаки держатся в основном в пределах пустынной зоны – на охраняемых и прилегающих к ним территориях: заповеднике «Черные Земли» Республики Калмыкия и в заказнике «Степной» Астраханской области. По нашим оценкам, современное состояние растительного покрова на значительной части закартированной территории соответствует пищевым предпочтениям сайгака и обеспечит кормом его растущую

популяцию в течение всего года. Неблагоприятны для расселения сайгаков разбитые незакрепленные пески в восточной и южной частях региона.

Финансирование. Работа выполнена по договору НИР №1/71 от 30 апреля 2021 г. Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН с Всемирным фондом дикой природы «Оценка местообитаний сайгака Северо-Западного Прикаспия»; по гранту Российского фонда фундаментальных исследований № 15-05-06773 «Растительный покров Прикаспийской низменности в системе ботанико-географического районирования»; по плановой теме № 121032500047-1 лаборатории Общей геоботаники Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации»; по госзаданию №122042700002-6 Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН; поддержке Минобрнауки ЦКП "Гербарий ГБС РАН" (№ 075-15-2021-67); по плановой теме Института Степи УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1; по теме госзадания № АААА-А18-118042490055-7 (0089-2021-0010) Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН «Фундаментальные проблемы охраны живой природы и рационального использования биоресурсов»; 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; по теме госзадания Института комплексных исследований аридных территорий «Мониторинг современного состояния пастбищных ресурсов Республики Калмыкия с применением геоинформационных систем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В.Д.* 1969. Классификация растительности. Л.: Наука. 275 с.
- Борликов Г.М., Бакинова Т.И., Зеленская Е.А.* 2009. Почвенно-земельные ресурсы аридных территорий. Состояние, использование, оценка. Элиста: Изд-во Калмыцкого университета. 200 с.
- Грибова С.А., Исаченко Т.И.* 1972. Картирование растительности в съемочных масштабах // Полевая геоботаника. Л.: Наука. С. 137-324.
- Исаченко Т.И.* 1962. Принципы и методы генерализации геоботанических карт крупного, среднего и мелкого масштаба // Принципы и методы геоботанического картографирования. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 28-46.
- Лебедева Л.С.* 1959. Питание сайгака на правом берегу Волги // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Серия биологическая. Т. 64. Вып. 5. С. 27-35.
- Нешатаев Ю.Н.* 1987. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во Ленинградского университета. 192 с.
- Полевая геоботаника. 1972 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. Т. 4. М.-Л.: Наука. 336 с.
- Распоряжение Минприроды России от 11.08.2021 № 30-Р «Об Утверждении Стратегии Сохранения сайгака в Российской Федерации». 2021 [Электронный ресурс <https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-11.08.2021-N-30-r/> (дата обращения 12.02.2023)].
- Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х.* 2015. Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ): учебное пособие. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета. 166 с.
- Уланова С.С., Чемидов М.М., Кондышев О.Ю., Никитенко Е.В., Маитыков К.В., Федорова Н.Л., Горяев И.А.* 2019. Геоинформационные системы в региональных исследованиях: теория, методология, практика (на материалах Республики Калмыкия). Элиста: Изд-во ИКИАТ. 168 с.
- Флора Нижнего Поволжья. 2018. Т. 2. Ч. 1-2. М.: Товарищество научных изданий КМК. 1016 с.
- Черепанов С.К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб: Мир и семья. 495 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АЛЛЕРГЕННЫХ РАСТЕНИЙ В РАВНИННЫХ БИОМАХ РОССИИ

© 2023 г. Т.В. Дикарева, В.Ю. Румянцев, М.С. Солдатов, С.М. Малхазова

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

Поступила в редакцию 02.03.2023. После доработки 15.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

В статье анализируется набор видов аллергенных растений в равнинных биомах России. Выявлено их видовое разнообразие, проведен статистический анализ связей между числом видов аллергенных растений в региональных биомах и климатическими показателями, построены соответствующие картосхемы и дан их анализ. Показано, что распределение числа видов аллергенных растений весной отражает их явное преобладание в биомах широколиственных лесов и лесостепей, в то время как летом аллергенные растения преобладают в лесостепных и степных биомах. Наиболее тесная положительная связь установлена между числом видов аллергенных растений, цветущих летом, и среднегодовыми температурами воздуха, а также между всеми видами аллергенных растений и среднегодовой температурой воздуха. Однако связь числа видов аллергенных растений в биомах с индексом аридности оказалась низкой.

Ключевые слова: аллергенные растения, региональные биомы, климатические факторы, аридность, картографический и корреляционный анализ.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-57-67

EDN: GIRHWI

Здоровье населения в XXI веке становится одной из приоритетных ценностей каждого государства и всего мирового сообщества. Биоразнообразие растений того или иного района играет заметную роль в формировании здоровья его населения. Растения не только сельскохозяйственного использования, но также лекарственные, аллергенные и ядовитые виды могут оказывать воздействие на состояние здоровья. Именно поэтому выявление закономерностей распространения растений, значимых для здоровья населения, является важной научной и прикладной задачей.

Аллергенные растения в настоящее время привлекают все больше внимания как специалистов, так и населения. Аллергия на пыльцу растений – поллиноз – относится к массовым сезонным заболеваниям, которыми страдает каждый четвертый житель планеты. Пыльцевая аллергия проявляется как насморк, кашель, першение в горле, слезоточивость, зуд и покраснение век. Она также выражается в общем снижении процессов жизнедеятельности. Крайней степенью аллергической реакции можно считать бронхоспазмы и приступы бронхиальной астмы.

В российской научной литературе различным аспектам воздействия пыльцы растений на человека уделено значительное внимание. Существуют, например, календари цветения аллергенов (Календарь цветения ..., 2023), но географическое распространение таких растений практически не анализировалось. Зарубежная же аллергология с начала XXI века занимается этим активно (May et al., 2008; Rondón et al., 2011). В США существует сайт PollenLibrary (2023), на котором ежедневно можно отследить цветение и опасность любого из 300 видов-аллергенов во всех штатах и крупных населенных пунктах.

Авторами ранее опубликован ряд статей, посвященных проблемам географического распространения аллергенных, а также ядовитых и лекарственных растений России (Дикарева, Румянцев, 2015; Дикарева и др., 2017, 2018, 2021, 2022). Тем не менее, задача более детального изучения распространения таких растений в региональных биомах России остается актуальной.

В настоящей работе анализируется распространение аллергенных растений в равнинных региональных биомах России. *Цель работы* – выявление закономерностей распределения видового разнообразия аллергенных растений в этих биомах. В *задачи* работы входило выявление видового

разнообразия аллергенных растений, проведение статистического анализа корреляционных связей между числом видов этих растений в региональных биомах и климатическими показателями, построение соответствующих тематических картосхем и их анализ.

Материалы и методы

В работе использованы методические приемы, ранее уже апробированные авторами при анализе распространения в России аллергенных (Дикарева, Румянцев, 2015), ядовитых (Дикарева и др., 2017, 2018) и лекарственных (Дикарева и др., 2021) растений.

Исследование проводилось на основе карты «Биомы России» (Огуреева и др., 2018, 2020). Показанные на этой карте региональные биомы – составные части биомов планетарного уровня, отражающие зонально-региональные особенности растительного покрова России (Огуреева и др., 2020). В анализ включены 54 региональных биома (рис. 1). Это только равнинные биомы, поскольку для горных биомов определение характерных климатических показателей затрудняется наличием высотной поясности.

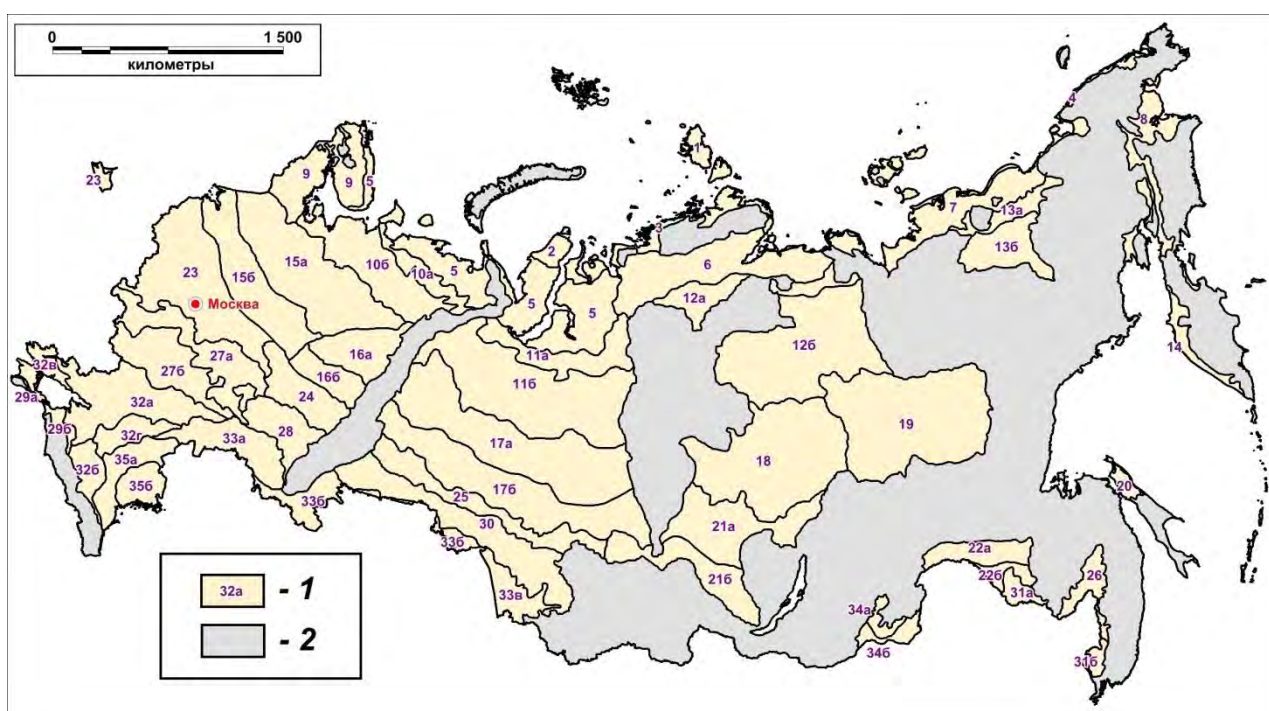


Рис. 1. Распределение равнинных биомов по территории России: равнинные биомы (1), включённые в анализ (Огуреева и др., 2020) и горные биомы (2).

В анализ включены 119 видов аллергенных растений, в т.ч. 46 видов, цветущих весной, и 73 вида, цветущих летом. При выборе растений для анализа мы руководствовались указаниями для врачей-аллергологов (Аллергология ..., 2009; Приказ ..., 2010), интернет-ресурсами (Аллергия на травы, 2023; PollenLibrary, 2023) и некоторыми другими источниками (Esch et al., 2001).

Для анализа были выбраны только дикорастущие растения – вид может встречаться и в культуре, но обязательно должен обитать и в дикой природе. Данные об ареалах этих видов получены из определителей высших сосудистых растений (Гроссгейм, 1949; Рубцов, 1972; Губанов и др., 1995; Сосудистые растения ..., 1995), а также из некоторых атласов (Атлас ареалов ..., 1983; Агроэкологический атлас ..., 2015; Медико-географический атлас ..., 2019). Присутствие в биоме конкретного вида определялось по факту вхождения хотя бы незначительной части его ареала в пределы данного выдела (регионального биома).

В качестве основных климатических факторов, вероятно, влияющих на число видов аллергенных растений в биомах, были приняты:

- среднегодовая температура воздуха, °С,

- годовая сумма осадков, мм,
- средняя температура июля, °С,
- сумма температур >10°С.

Данные по этим показателям были взяты из монографии «Биоразнообразие биомов России» (Огуреева и др., 2020). Если для биома имелось более одного значения показателя, они усреднялись. Результат округлялся до целого числа для упрощения дальнейших расчётов.

В качестве дополнительных факторов, возможно, влияющих на число видов аллергенных растений в биомах, были приняты:

- общее число видов сосудистых растений в биоме (рис. 2). Эти данные взяты из того же источника (Огуреева и др., 2020),
- индекс аридности Де Мартона (de Martonne, 1925; Справочник ..., 2016). Индекс аридности (arid index, AI) – частное от деления среднегодовой суммы осадков (R) на среднегодовую температуру воздуха (T), увеличенную на 10, т.е. $AI = R/(T+10)$. Этот индекс используется как за рубежом, так и в России (Казеев и др., 2015; Baltas, 2007).

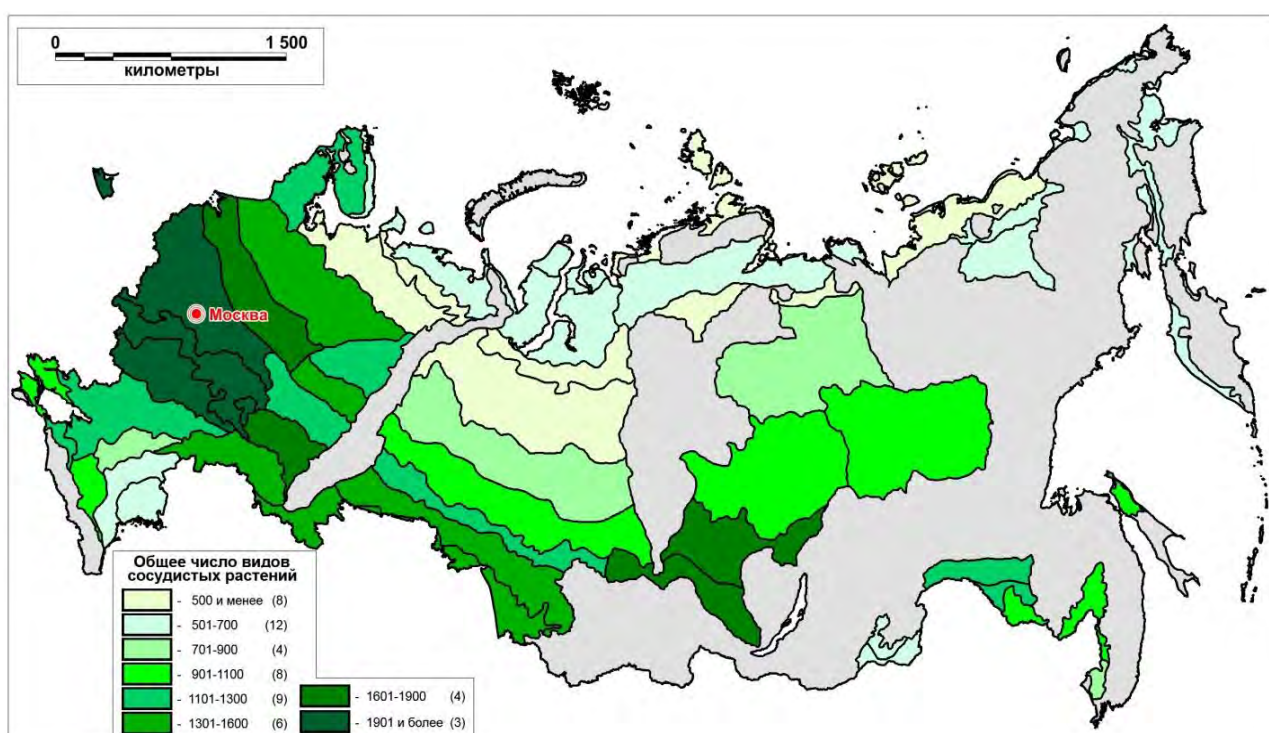


Рис. 2. Общее число видов сосудистых растений в равнинных биомах России (здесь и далее на картах в скобках указано число выделов (биома и суббиома) в данной градации).

Материалы средствами системы управления базами данных Visual FoxPro 9.0 организованы в компьютерную базу данных, привязанную к цифровой карте-основе в среде ГИС MapInfo 15.0 Professional (рис. 1). На этой основе составлена серия картосхем распределения аллергенных растений в равнинных биомах России. В программе STATISTIKA 6.0 рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона, характеризующие связи числа видов аллергенных растений с показателями, обозначенными выше как вероятные факторы, определяющие пригодность территории для их произрастания.

Результаты и обсуждение

Были рассмотрены гипотезы: 1) число видов аллергенных растений в конкретном биоме определяется общим видовым разнообразием сосудистых растений, зависящим от положения биома в системе природной зональности, в свою очередь определяемым климатическими факторами, такими как среднегодовая температура воздуха и среднегодовая сумма осадков, а также средняя температура

июля и сумма температур >10 ; 2) число видов аллергенных растений прямо связано с климатическими факторами и в меньшей степени – с общим числом видов в биомах; 3) наибольшее число таксонов аллергенных растений свойственно наиболее аридным территориям.

Включенные в анализ 119 видов аллергенных растений относятся к 17 семействам (табл. 1, 2). Значительное число видов принадлежат к семействам злаковых (Poaceae), сложноцветных (Compositae), маревых (Chenopodiaceae), ивовых (Salicaceae), гречишных (Polygonaceae), березовых (Betulaceae). При этом в группе довольно велика роль древесных растений – представителей семейств ивовых (Salicaceae), березовых (Betulaceae), сосновых (Pinaceae). Ряд семейств включает только по одному виду каждой группы – 4 семейства из 17 для аллергенов (табл. 2).

Таблица 1. Семейства, включающие аллергенные виды растений.

Семейства, включающие аллергенные виды		Число видов в семействах
Poaceae	Злаковые	22
Compositae	Сложноцветные	19
Salicaceae	Ивовые	16
Chenopodiaceae	Маревые	12
Polygonaceae	Гречишные	11
Betulaceae	Березовые	10
Pinaceae	Сосновые	4
Plantaginaceae	Подорожниковые	5
Aceraceae	Кленовые	4
Ulmaceae	Вязовые	3
Fagaceae	Буковые	3
Urticaceae	Крапивные	3
Cupressaceae	Кипарисовые	2
Juglandaceae	Ореховые	1
Platanaceae	Платановые	1
Oleaceae	Маслиновые	1
Tiliaceae	Липовые	1

Распределение по биомам числа семейств аллергенных растений отчасти сходно с распределением в них количества соответствующих видов (табл. 1). Наибольшее число семейств отмечено в биомах, расположенных на европейской части России (далее – ЕТР) – в лесостепных, хвойно-широколиственных и степных. При движении на восток число семейств в лесостепных биомах уменьшается, хотя и остается высоким в сравнении с таежными и тундровыми.

Среди цветущих растений в весенний период отмечены только деревья и кустарники. Летом основные аллергены – это травянистые растения, которые преимущественно относятся к семействам злаковые (Poaceae), сложноцветные (Compositae) и маревые (Chenopodiaceae).

В таблице 2 приведен список всех региональных биомах, где встречаются аллергенные растения. По мере движения с севера на юг, например, в пределах ЕТР число видов аллергенов постепенно нарастает в растительном составе биомах. Так, в Новоземельско-Ямало-Гыданском арктическо-тундровом биоме отмечено всего 18% от общего числа аллергенных растений во всех биомах. В Мезено-Печорский гипоарктическо-таежном биоме в таежной части выявлено 58 видов.

Максимальное число видов аллергенных растений отмечается в Днепровско-Приволжском широколиственно-лесостепном биоме (более 70% от общего числа аллергенных растений). Заметное число аллергенных растений отмечено в смешанных лесах (более 60%). К ним относится растительность Вятско-Камского и Смоленско-Приволжского биомах широколиственно-хвойных лесов.

Таблица 2. Распределение аллергенных видов в региональных биомах.

Биомы и суббиомы	Индекс*	Число семейств в биомах	Число видов-аллергенов, цветущих		
			весной	летом	всего**
Днепровско-Приволжский:	27	16	–	–	–
Широколиственно-лесной	27а	–	29	59	88 (74%)
<i>лесостепной</i>	27б	–	31	55	86 (72%)
Вятско-Камский широколиственно-хвойных лесов	24	15	27	51	80 (67%)
Заволжско-Кулундинский:	33	11	–	–	–
заволжско-приуральский	33а	–	22	57	79 (66%)
зауральско-западносибирский	33б	–	20	51	71 (60%)
<i>Смоленско-Приволжский широколиственно-хвойно-лесной</i>	23	15	30	47	77 (65%)
Заволжский лесостепной	28	13	22	54	76 (64%)
Причерноморско-Предкавказский степной:	32	12	–	–	–
среднедонской	32а	15	23	51	74 (62%)
приазовско-предкавказский	32б	–	16	50	66 (55%)
крымско-причерноморский	32в	–	17	50	67 (56%)
доно-волжский	32г	–	18	48	66 (55%)
Тоболо-Приобский лесостепной	30	11	20	53	73 (61%)
Крымско-Кавказский лесостепной:	29	14	–	–	–
крымский	29а	–	19	51	70 (59%)
кубанский	29б	–	16	52	68 (57%)
<i>Западносибирский южный</i>	25	10	19	49	68 (57%)
Приуральский:	16	11	–	–	–
таежный	16а	–	22	40	62 (52%)
южнотаежный	16б	–	23	42	65 (54%)
Прибалтийско-Ветлужский:	15	12	–	–	–
среднетаежный	15а	–	21	38	59 (50%)
южнотаежный	15б	–	29	39	68 (57%)
Прикаспийский пустынно-степной:	35	14	–	–	–
опустыненных степей	35а	–	17	42	59 (50%)
остепненных (северных) пустынь	35б	–	18	36	54 (45%)
<i>Кольско-Карельский</i>	9	10	19	35	54 (45%)
Мезено-Печорский:	10	10	–	–	–
лесотундровый	10а	–	17	32	47 (40%)
северотаежный	10б	–	19	39	58 (49%)
Даурский степной:	34	12	–	–	–
северная полоса	34а	–	14	33	47 (40%)
южная полоса	34б	–	14	32	46 (39%)
Зее-Буреинский лесостепной:	31	11	–	–	–
приамурский	31а	–	18	24	42 (35%)
приханкайский	31б	–	20	32	52 (44%)
Амуро-Зейский:	22	10	–	–	–
южнотаежный	22а	–	18	31	49 (41%)
подтаежный	22б	–	18	30	48 (40%)

Продолжение таблицы 2.

Биомы и суббиомы	Индекс*	Число семейств в биомах	Число видов-аллергенов, цветущих		
			весной	летом	всего**
<i>Ангарский:</i>	21	10	–	–	–
южнотаежный	21а	–	12	34	46 (39%)
подтаежный	21б	–	12	35	47 (40%)
<i>Кольско-Большеземельско-Тазовский гипоарктическо-тундровый</i>	5	9	16	23	39 (33%)
<i>Котуйско-Ленский (Оленекский):</i>	12	10	–	–	–
лесотундровый	12а	–	14	25	39 (33%)
северо-таежный	12б	–	10	24	34 (29%)
<i>Западносибирский северный:</i>	11	10	–	–	–
лесотундровый	11а	–	15	23	38 (32%)
северо-таежный	11б	–	16	25	41(34%)
<i>Таймырско-Среднесибирский тундровый</i>	6	9	14	21	35 (29%)
<i>Ленско-Колымский гипоарктическо- тундровый</i>	7	9	12	20	32 (27%)
<i>Нижнеколымский:</i>	13	9	–	–	–
лесотундровый	13а	–	10	20	30 (25%)
северо-таежный	13б	–	10	20	30 (25%)
<i>Западнокамчатский</i>	14	8	10	17	27 (23%)
<i>Таймыро-Восточновосточный</i>	3	5	13	13	26 (22%)
<i>Новоземельско-Ямало-Гыданский</i>	2	6	12	10	22 (18%)
<i>Чукотский арктическо-тундровый</i>	4	4	12	7	19 (16%)
<i>Анадырско-Пенжинский гипоарктическо-тундровый</i>	8	6	9	9	18 (15%)
<i>Высокоарктический островной</i>	1	3	13	2	15 (12%)

Примечания к таблице 2: Индекс* – согласно рисунку 1 и работе Г.Н. Огуревой с соавторами (2020), всего** – процент от общего числа аллергенных видов в России, полужирный курсив – аридные и семиаридные биомы и суббиомы.

Далее на юг число видов в биомах уменьшается, хотя все еще остается относительно высоким. В Причерноморско-Предкавказском степном и Крымско-Кавказском лесостепном процентное соотношение аллергенов не превышает 60%. Наименьшее число видов на ЕТР отмечено в Прикаспийском пустынно-степном биоме – не более 50%.

В Западной Сибири наибольшее число аллергенных растений выявлено в самом южном биоме – в Тоболо-Приобском лесостепном, где их количество составило 73 (61%).

В биомах Дальнего Востока отмечено уменьшение общего числа видов растений и, соответственно, аллергенных растений. Наибольшее число аллергенов выявлено в лесостепном Зее-Буреинский биоме – 52 вида (44%) и Даурском степном (40%).

Распределение числа видов аллергенных растений в биомах весной (рис. 3) отражает их явное преобладание в биомах широколиственных лесов и лесостепей – в Прибалтийско-Ветлужском таежном, его южнотаежном суббиоме (29 видов), в Смоленско-Приволжском биоме широколиственно-хвойных лесов (30 видов) и в Днепровско-Приволжском, представленном двумя суббиомами – широколиственным (29 вид) и лесостепным (31 видов), а также в Вятско-Камском широколиственно-хвойных лесов (29 видов). Весенний поллиноз связан с цветением и обильным

пылением древесных видов растений, что подтверждает преобладание аллергенных видов именно в широколиственных лесах и лесостепях.

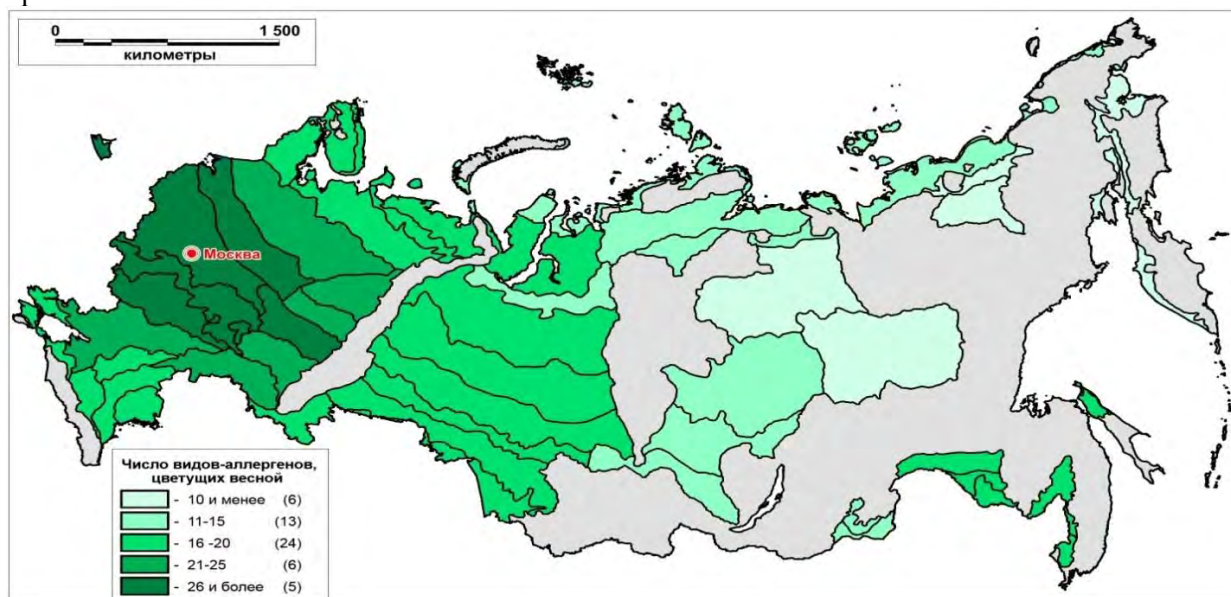


Рис. 3. Число видов аллергенных растений, цветущих весной.

Распределение числа видов аллергенных растений летом (рис. 4) отражает их явное преобладание в лесостепных и степных биотомах – Днепровско-Приволжском широколиственных лесов и лесостепи, представленного двумя суббиотомами – широколиственным (59 видов) и лесостепным (55 видов), а также в Вятско-Камском широколиственно-хвойных лесов (51 вид) и в лесостепных и степных биотомах – в Заволжском широколиственных лесов и лесостепи (54 вида), в Заволжско-Кулундинском степном, представленном двумя суббиотомами – заволжско-зауральских степей (57 видов) и кулундинских степей (51 вид). Кроме того, летом аллергенные растения преобладают в Тоболо-Приобском лесостепном (53 вида) и в Причерноморско-Предкавказском степном в суббиотоме среднедонских степей (51 вид), а также в Крымско-Кавказском лесостепном, представленном двумя суббиотомами – крымской дубовой лесостепи (51 вид) и кубанской дубовой лесостепи (52 вида). Летний поллиноз связан с цветением злаков и сложноцветных, что и отражается в распределении видов в лесостепных и степных биотомах. В целом видовое разнообразие таких аллергенных растений выше, чем весенних аллергенов.

В целом, для аллергенных растений, цветущих в течение вегетационного периода (рис. 5), характерно преобладание в биотомах широколиственных лесов и лесостепей, в таких как Смоленско-Приволжский широколиственно-хвойных лесов (77 видов), Вятско-Камский широколиственно-хвойных лесов (80 видов), Днепровско-Приволжский широколиственных лесов и лесостепи, представленного двумя суббиотомами – широколиственным (86 видов) и лесостепным (88 видов), Заволжский широколиственных лесов и лесостепи (76 видов), а также в Тоболо-Приобском лесостепном (73 вида).

Наименьшее число аллергенных видов (менее 25) отмечено для Высокоарктического островного (полярно-пустынного) биотома (15 видов), Чукотского арктическо-гипоарктическо-тундрового биотома (19 видов), Анадырско-Пенжинского гипоарктическо-тундрового (18 видов) и Новоземельско-Ямало-Гыданского арктическо-тундрового биотома (22 вида). Это, безусловно, связано с малым видовым разнообразием растений в целом в этих биотомах.

Для проверки высказанных выше гипотез о связи числа видов опасных растений с природными условиями биотомов были рассчитаны коэффициенты парных корреляций Пирсона для 23 пар «признак ↔ фактор» (табл. 3).

• *Общее число видов сосудистых растений в биоме* ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, средняя температура июля, сумма активных температур.

• *Аллергенные виды, цветущие весной* ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, сумма активных температур, средняя температура июля, общее число видов сосудистых растений в биоме.

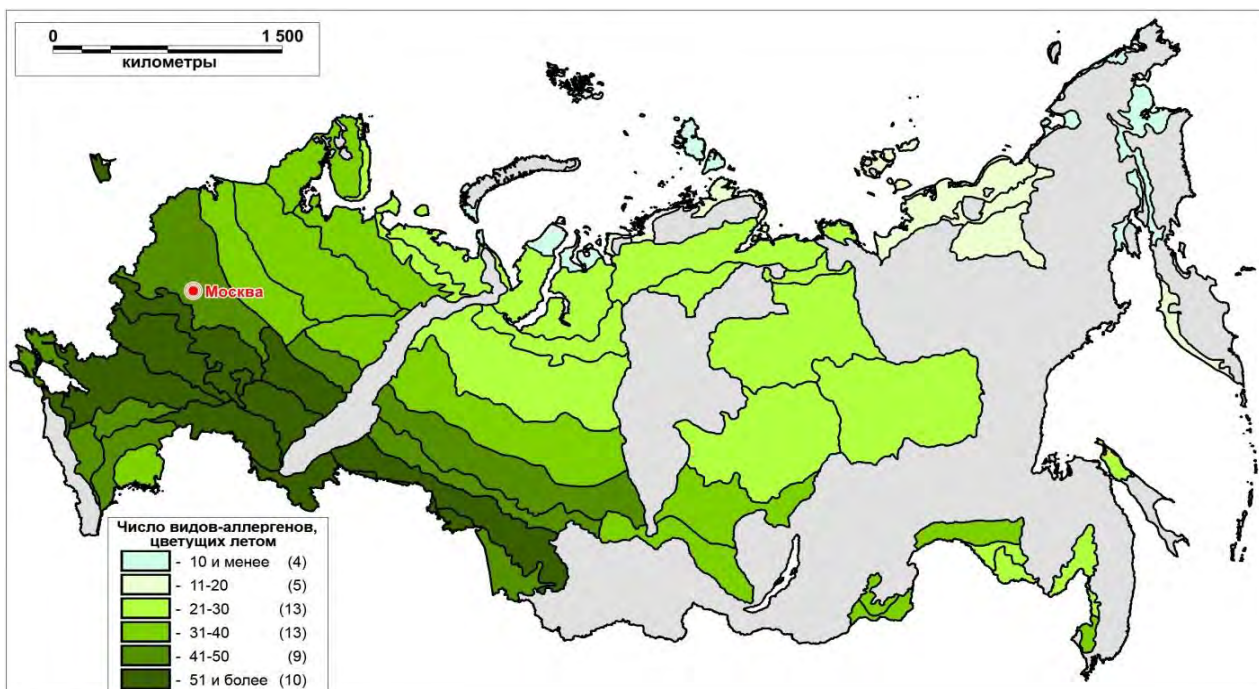


Рис. 4. Число видов аллергенных растений, цветущих летом.

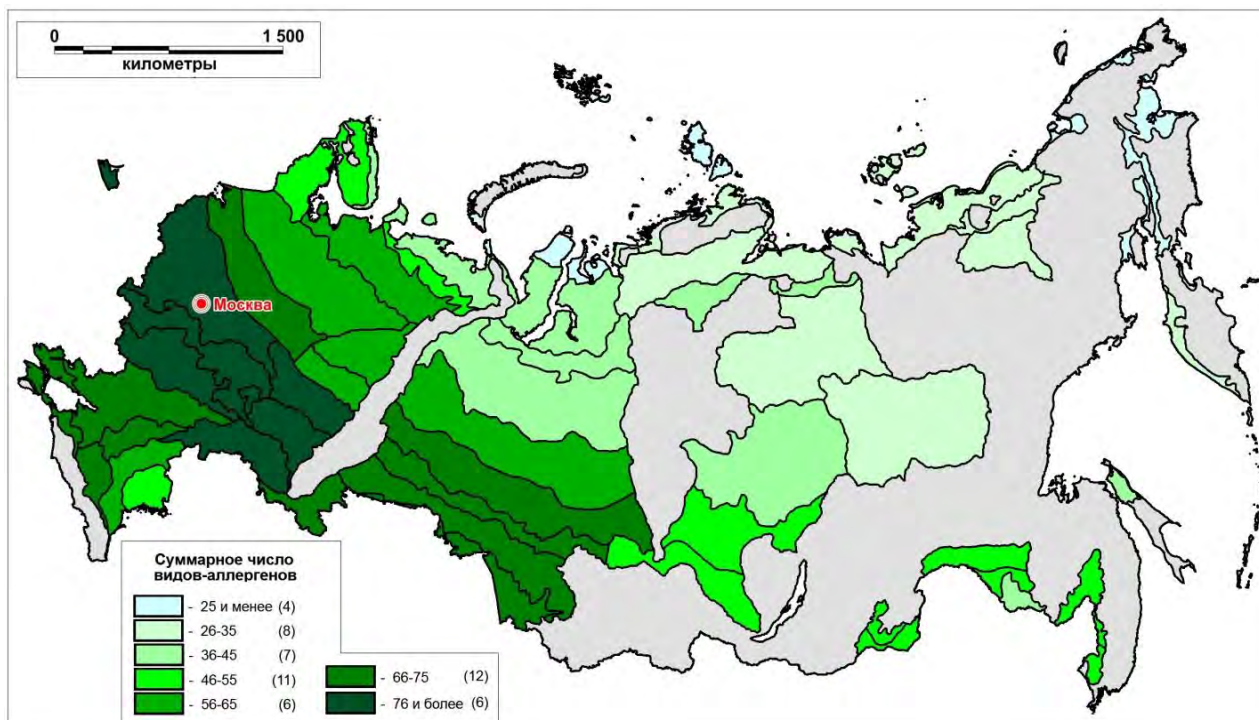


Рис. 5. Суммарное число видов аллергенных растений, цветущих в течение вегетационного периода.

• *Аллергенные виды, цветущие летом* ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, сумма активных температур, средняя температура июля, общее число видов сосудистых растений в биоме.

• *Аллергенные виды, цветущие в течение всего вегетационного периода* ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, сумма активных температур, средняя температура июля, общее число видов сосудистых растений в биоме.

Наиболее тесная положительная связь установлена между числом видов аллергенных растений, цветущих летом, и среднегодовыми температурами воздуха (0.82), а также между всеми видами аллергенных растений и среднегодовой температурой воздуха (0.81). Аллергенные виды, цветущие летом, в целом демонстрируют относительно высокую связь со среднегодовой температурой июля (0.76) и суммой активных температур (0.77). Относительно высока теснота связи числа аллергенных видов со среднегодовым количеством осадков (0.61) и с общим числом видов сосудистых растений в биомах (0.68). Таким образом, общее видовое разнообразие биома в какой-то мере определяет и число видов аллергенных растений.

Таблица 3. Коэффициенты парной корреляции Пирсона (r), $n = 54$.

Признаки (число видов растений)	Факторы*					
	1	2	3	4	5	6
Все виды сосудистых растений	0.52	0.53	<i>0.18</i>	0.49	0.45	–
Виды-аллергены, цветущие весной (46)	0.61	0.61	<i>0.17</i>	0.44	0.48	0.68
Виды-аллергены, цветущие летом (73)	0.82	0.41	<i>0.21</i>	0.76	0.77	0.68
Все виды-аллергены (119)	0.81	0.49	<i>0.21</i>	0.71	0.74	0.72

Примечания к таблице 3. *Факторы: 1 – среднегодовая температура воздуха, °С, 2 – годовая сумма осадков, мм, 3 – индекс аридности де Мартонна, 4 – средняя температура июля, °С, 5 – сумма температур >10°С, 6 – общее число видов сосудистых растений; все корреляции значимы при $p < 0.05$; полужирный курсив – случаи с теснотой связи >0.50; 0.82 – максимальные значения r для данного признака, 0.18 – минимальные значения.

Важно отметить, что для всех четырех анализируемых признаков связь с индексом аридности низка. Малая теснота этой связи может быть свидетельством того, что «аридность», понимаемая как соотношение значений среднегодовых температуры воздуха и суммы осадков (см. выше), не оказывает определяющего влияния на разнообразие аллергенных растений в биомах. Однако если понимать ее как высокие температуры воздуха в течение года в целом при среднем количестве осадков, то она способствует распространению аллергенных растений.

Выводы

Аллергенные виды растений относятся к 17 семействам. Больше всего аллергенных видов в семействах злаковых (Poaceae), сложноцветных (Compositae), маревых (Chenopodiaceae), гречишных (Polygonaceae), что в целом характерно для фитоценозов засушливых территорий. Вместе с тем среди аллергенных видов велика доля древесных растений из семейств ивовых (Salicaceae) и березовых (Betulaceae).

Распределение числа видов аллергенных растений в биомах весной отражает их явное преобладание в биомах широколиственных лесов и лесостепей.

Распределение числа видов аллергенных растений летом демонстрирует их преобладание в лесостепных и степных биомах.

В целом для аллергенных растений, цветущих в течение вегетационного периода, характерно преобладание в биомах широколиственных лесов и лесостепей.

Наиболее тесная положительная связь установлена между числом видов аллергенных растений, цветущих летом, и среднегодовыми температурами воздуха (0.82), а также между всеми видами аллергенных растений и среднегодовой температурой воздуха (0.81).

Теснота связи числа аллергенных видов с индексом аридности де Мартона низка.

В дальнейшем предполагается проведение исследования изменений в распространении аллергенных и лекарственных растений в России в связи с прогнозируемым изменением климатических факторов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы госзадания Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» № ЦИТИС 121051100137-4, а также Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [DVD-версия] / Ред. А.Н. Афонин, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролов. 2008 [Электронный ресурс <http://www.agroatlas.ru/ru/index.html/> (дата обращения 05.03.2023)].
- Аллергия на травы. 2020 [Электронный ресурс <https://www.emcmos.ru/disease/allergiya-na-travy/> / (дата обращения 10.01.2023)].
- Аллергология и иммунология: национальное руководство. 2009 / Ред. Р.М. Хаитов, Н.И. Ильина. М.: ГЭОТАР-Медиа. 656 с.
- Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. 1983. М.: ГУГК. 340 с.
- Гроссгейм А.А. 1949. Определитель растений Кавказа. М.: Советская наука. 376 с.
- Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. 1995. Определитель сосудистых растений центра Европейской России. М.: Аргус. 560 с.
- Дикарева Т.В., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С. 2017. Эколого-географический анализ распространения ядовитых растений в России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 4. С. 29-37.
- Дикарева Т.В., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С. 2018. Влияние аридных условий на распространение ядовитых растений в региональных биотомах России // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 84-93. [Dikareva T.V., Malkhazova S.M., Rumyantsev V.Yu., Soldatov M.S. 2018. Effect of Arid Conditions on the Distribution of Poisonous Plants in the Regional Biomes of Russia // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 64-72.]
- Дикарева Т.В., Румянцев В.Ю. 2015. Картографический анализ распространения растений-аллергенов в России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 6. С. 34-40.
- Дикарева Т.В., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С., Малхазова С.М. 2021. Лекарственные растения аридных и семиаридных биотомов России // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1 (86). С. 75-86. [Dikareva T.V., Rumyantsev V.Y., Soldatov M.S., Malkhazova S.M. Medicinal Plants of Arid and Semiarid Biomes of Russia // Arid Ecosystems. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 62-72.]
- Дикарева Т.В., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С., Малхазова С.М. 2022. Опасные для здоровья человека растения аридных и семиаридных биотомов России // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1 (90). С. 80-90. [Dikareva T.V., Rumyantsev V.Y., Soldatov M.S., Malkhazova S.M. Plants Hazardous to Human Health in Arid and Semiarid Biomes of Russia // Arid Ecosystems. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 68-77.]
- Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. 2015. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. № 1. С. 112-120.
- Календарь цветения для аллергиков на 2023 год в Москве [Электронный ресурс <https://astrolstar.com/lunnyu-kalendar/zdorovya/kalendar-tsveteniya.html> (дата обращения 25.02.2023)]
- Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения». 2019 / Ред. С.М. Малхазова. М.: Географический факультет МГУ. 304 с.
- Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Емельянова Л.Г., Булдакова Е.В., Кадетов Н.Г., Архипова М.В., Микляева И.М., Бочарников М.В., Дудов С.В., Игнатова Е.А., Игнатов М.С., Мучник Е.Э., Урбанавичюс Г.П., Румянцев В.Ю., Леонтьева О.А., Романов А.А., Губанов М.Н., Котова Т.В., Константинов П.И. 2018. Биотомы России. Карта М. 1:7500000. Издание 2-е, перераб. и доп. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 8 л.
- Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Микляева И.М., Бочарников М.В., Федосов В.Э., Мучник Е.Э., Урбанавичюс Г.П., Емельянова Л.Г., Хляп Л.А., Румянцев В.Ю., Кузиков И.В., Липка О.Н., Архипова М.В., Булдакова Е.В., Кадетов Н.Г. 2020. Биоразнообразие биотомов России. Равнинные биотомы / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ФГБУ «ИГКЭ». 623 с.
- Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации № 60н2 от 4 февраля 2010 г. Порядок оказания медицинской помощи больным с аллергическими заболеваниями и

- болезнями, ассоциированными с иммунодефицитами. 2010 [Электронный ресурс <http://www.1ner.ru/pro/legislation/126763/> (дата обращения 11.01.2023)].
- Рубцов Н.И.* 1972. Определитель высших растений Крыма. М.: Наука. 550 с.
- Сосудистые растения советского Дальнего Востока. 1995. В 8 т. СПб: Наука. Т.1. 399 с.; Т. 2. 446 с.; Т. 3, 421 с.; Т.4. 380 с.; Т. 5. 390 с.; Т.6. 428 с.; Т. 7. 395 с.; Т. 8. 383 с.
- Справочник по показателям и индексам засушливости. 2016 [Электронный ресурс https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf (дата обращения 09.03.2023)].
- Baltas E.* 2007. Spatial Distribution of Climatic Indices in Northern Greece // *Meteorological Applications*. Vol. 14. P. 69-78.
- De Martonne E.* 1925. *Traite de Geographie Physique*. Vol. 1. 496 p.
- Dikareva T.V., Rumyantsev V.Yu.* 2015. Distribution of Allergenic Plants in Russia // *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 8. No. 4. P. 18-25.
- Esch R.E., Hartsell C.J., Crenshaw R.* 2001. Common Allergenic Pollens, Fungi, Animals and Arthropods // *Clinical Review in Allergy and Immunology*. Vol. 21. P. 261-292.
- PollenLibrary. 2023 [Электронный ресурс <http://www.pollenlibrary.com/> (дата обращения 01.02.2023)].

УДК 581.4:55

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ НЕКОТОРЫХ ЭНДЕМИЧНЫХ И РЕДКИХ ВИДОВ РОДА *TULIPA* L. (LILIACEAE) В ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ (УЗБЕКИСТАН)

© 2023 г. Н.Ю. Бешко, О.С. Абдураимов, У.Х. Кодиров, Ф.М. Мадаминов, А.В. Махмудов

Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан

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

Поступила в редакцию 05.12.2022. После доработки 30.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Изучение онтогенетической структуры ценопопуляций уязвимых, эндемичных и редких видов растений позволяет оценить их состояние в условиях антропогенной трансформации экосистем и разработать научные основы их охраны. Средняя Азия является одним из центров происхождения и видового разнообразия рода *Tulipa* L. Во флоре Республики Узбекистан насчитывается 34 вида тюльпанов, из них 19 видов (55.88%) находятся под угрозой исчезновения вследствие сбора цветов и луковиц и чрезмерного выпаса скота и разрушения местообитаний. Они занесены в национальную Красную книгу. Статья посвящена оценке современного состояния 13 ценопопуляций 5 редких и эндемичных видов рода *Tulipa* (*T. borszczowii*, *T. butkovii*, *T. dubia*, *T. greigii*, *T. korolkowii*), произрастающих в Ташкентской области Узбекистана на территориях с различным природоохранным режимом и уровнем антропогенного пресса. Установлено, что 8 изученных ценопопуляций – нормальные и полночленные; 5 популяций являются неполночленными, в них отсутствуют сенильные особи, что является биологической особенностью рода *Tulipa*. 6 ценопопуляций относятся к левостороннему типу, их онтогенетический спектр совпадает с характерным спектром рода *Tulipa*; 4 ценопопуляции имеют центрированный тип спектра, 3 – бимодальный. Низкая доля молодых особей в некоторых изученных ценопопуляциях объясняется влиянием чрезмерного выпаса скота, а также высокой конкуренцией с другими видами в сообществе. Рекомендовано включение в следующее издание Красной книги Узбекистана редкого эндемика среднеазиатских пустынь *Tulipa borszczowii* и национального эндемика, узколокального эндемика Чаткальского хребта *Tulipa butkovii*. Рекомендовано создание охраняемой природной территории (заказника или памятника природы) для сохранения реликтового песчаного массива Дальверзинские пески в Ташкентской области.

Ключевые слова: антропогенный пресс, Красная книга, онтогенетическая структура, редкие виды, Узбекистан, ценопопуляция, эндемик, *Liliaceae*, *Tulipa* L.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-68-80

EDN: PHWIBU

В связи с ростом антропогенного воздействия на экосистемы все большую актуальность приобретает целенаправленное изучение уязвимых, эндемичных, редких видов и растительных сообществ (Денисова, Гусева, 2016). Онтогенетическая структура представляет собой один из ключевых параметров популяции; эта сторона структурной организации обеспечивает способность популяции к самоподдержанию и определяет ее устойчивость (Заугольнова, 1994; Жукова, 1995). Анализ онтогенетической структуры позволяет прогнозировать дальнейшую судьбу популяций видов растений (Черемушкина, 2004; Османова, 2007).

Род *Tulipa* L. – один из наиболее крупных, таксономически сложных и интенсивно изучаемых родов в семействе *Liliaceae* Juss. и в классе однодольных растений в целом (Hall, 1940; Бочанцева, 1962; Баранова, 1999; Иващенко, 2005; Прагов и др., 2006; Zonneveld, 2009; Тожибаев, Кадыров, 2010; Christenhusz et al., 2013; Everett et al., 2013; Tojibaev, Beshko, 2015; Wilson et al., 2021; Dekhkonov et al., 2021). Неослабевающий интерес исследователей к роду *Tulipa* связан с высокими декоративными качествами, широким распространением и видовым разнообразием тюльпанов. Дикорастущие тюльпаны играют важную роль в экосистемах и в культуре многих народов

и представляют собой ценный генетический ресурс для селекции культурных сортов. В то же время многие виды *Tulipa* находятся под угрозой исчезновения вследствие массового сбора цветов и луковиц, чрезмерного выпаса скота, антропогенной деградации местообитаний и их хозяйственного освоения, а также аридизации климата. В IUCN Red List (2022) к числу глобально угрожаемых отнесены 4 вида тюльпанов, в т.ч. 3 со статусом CR (Critically Endangered или Находящиеся на грани полного исчезновения): *Tulipa albanica* Kit Tan & Shuka (Албания), *T. gumusanica* Terzioglu (Турция), *T. akamasica* Christodoulou, Hand & Charalambous (Кипр); в один вид – *T. cypria* Stapf ex Turrill (Кипр) – отнесен к категории EN (Endangered или Исчезающие). Многие виды дикорастущих тюльпанов занесены в национальные или региональные Красные книги.

Средняя Азия, в особенности ее горная часть, является центром происхождения и видового разнообразия рода *Tulipa* (Бочанцева, 1962; Иващенко, 2005; Тожибаев, Кадыров, 2010; Tojibaev, Beshko, 2015). В «Определителе растений Средней Азии» (Введенский, Ковалевская, 1971) приведено 63 вида, и еще 12 видов были описаны после публикации данной фундаментальной сводки. По современным сведениям, во флоре Узбекистана насчитывается 34 вида рода *Tulipa* (Tojibaev, Beshko, 2015), из них 19 видов (55.88%) занесены в новое издание национальной Красной книги Республики Узбекистан (2019). К сожалению, несмотря на то что для видов, занесенных в Красную книгу, в законодательстве установлен особый правовой статус, предусматривающий запрет на их изъятие из природы и разрушение местообитаний, многие популяции тюльпанов подвергаются значительному антропогенному прессу, в особенности за пределами охраняемых природных территорий. Серьезную проблему представляет массовый незаконный сбор дикорастущих тюльпанов на букеты. В связи с этим исследования, посвященные изучению распространения и состояния популяций дикорастущих тюльпанов Узбекистана и оценке влияния на них антропогенных факторов, имеют большую актуальность (Абдураимов, 2017; Шомуродов, Абдураимов, 2017; Abduraimov et al., 2020; Shomurodov et al., 2021; Dekhkonov et al., 2021).

Целью данной работы является оценка современного состояния ценоотических популяций некоторых эндемичных и редких видов рода *Tulipa* L., произрастающих в Ташкентской области Республики Узбекистан на территориях с различным природоохранным режимом и уровнем антропогенного пресса.

Материалы и методы

Ташкентская область расположена в северо-восточной части Узбекистана и граничит на севере и северо-западе с Казахстаном, на северо-востоке – с Кыргызстаном, на востоке – с Наманганской областью, на юге – с Таджикистаном, на юго-западе – с Сырдарьинской областью. Ее площадь составляет около 15.3 тыс. км², численность населения – более 2.9 млн. человек, средняя плотность населения – около 173 чел/км². В физико-географическом отношении изучаемая территория расположена в средней части бассейна реки Сырдарья и включает бассейны двух ее крупных правобережных притоков, рек Чирчик и Ахангаран. В геоморфологическом плане выделяется равнинная часть, которая занимает западную и центральную часть области, и горная часть, представленная хребтами Западного Тянь-Шаня. Абсолютная высота местности лежит в пределах от 250-260 до 4395 м н.у.м. БС. По своим природно-климатическим условиям территория Ташкентской области относится к зоне континентального семиаридного климата (Арамов, 2012). В пределах области представлено большинство характерных для Узбекистана экосистем – от тугаев и песчаной пустыни, которые в настоящее время сохранились лишь фрагментарно, до альпийских и субнивальных. В равнинных и предгорных районах преобладают антропогенные ландшафты.

В результате исследований, проводившихся в 2021 году, изучено 13 ценопопуляций 5 видов тюльпанов: *Tulipa korolkowii* Regel (ЦП 1, 2, 3), *T. borszczowii* Regel (ЦП 4), *T. butkovii* Botschantz. (ЦП 5, 6), *T. greigii* Regel (ЦП 7, 8, 9, 10, 11, 12) и *T. dubia* Vved. (ЦП 13; рис. 1). Данные об изученных ценопопуляциях приводятся ниже в таблице 1. Проективное покрытие видов рода *Tulipa* в ценопопуляциях составило 1-5%.

Tulipa korolkowii Regel – эндемик горной Средней Азии с разрозненным ареалом и сокращающейся численностью. Ареал охватывает Юго-Западный Тянь-Шань, Западный и Южный Памиро-Алай (Узбекистан, Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан). На территории Узбекистана встречается в Ташкентской, Джизакской, Самаркандской, Навоийской, Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областях. Произрастает единичными экземплярами или

разрозненными популяциями на каменистых и щебнистых склонах, от предгорий до среднего пояса гор. Цветёт в марте-апреле, плодоносит в июне-июле. Охраняется в Нуратинском, Зааминском, Китабском, Гиссарском и Сурханском заповедниках, Зааминском национальном парке. Занесен в Красную книгу Республики Узбекистана (2019) со статусом 3 (уязвимый, сокращающийся вид). Вид также занесен в Красные книги Республики Казахстана (2014), Кыргызской Республики (2006) и Республики Таджикистана (2015). Состояние популяций данного вида в Западном Памиро-Алае ранее изучалось О.С. Абдураимовым с соавторами (Abduraimov et al., 2020), однако популяции, произрастающие в Западном Тянь-Шане, ранее не изучались. В ходе экспедиционных исследований 2021 года были описаны 3 ценопопуляции *T. korolkowii* в Ташкентской области (ЦП 1, 2 и 3). ЦП 1 отмечена в составе разнотравно-эфемерово-эфемероидового сообщества (*Carex pachystylis*+*Poa bulbosa*+*Alyssum desertorum*+*Holosteum umbellatum*+*Ixiolirion tataricum*+*Tulipa bifloriformis*), ЦП 2 – в составе разнотравно-эфемероидового сообщества (*Carex pachystylis*+*Poa bulbosa*+*Achillea wilhelmsii*+*Ixiolirion tataricum*+*Centaurea virgata* subsp. *squarrosa*), ЦП 3 – в составе эфемерово-эремурусово-злакового сообщества (*Poa bulbosa*+*Bromus tectorum*+*Taeniatherum caput-medusae*+*Thinopyrum intermedium* subsp. *intermedium*+*Eremurus sogdianus*+*Alyssum alyssoides*). Все они произрастают на неохраняемой территории (рис. 1) и испытывают значительный антропогенный пресс. Основные негативные факторы, влияющие на изученные ценопопуляции, перечислены в таблице 1.

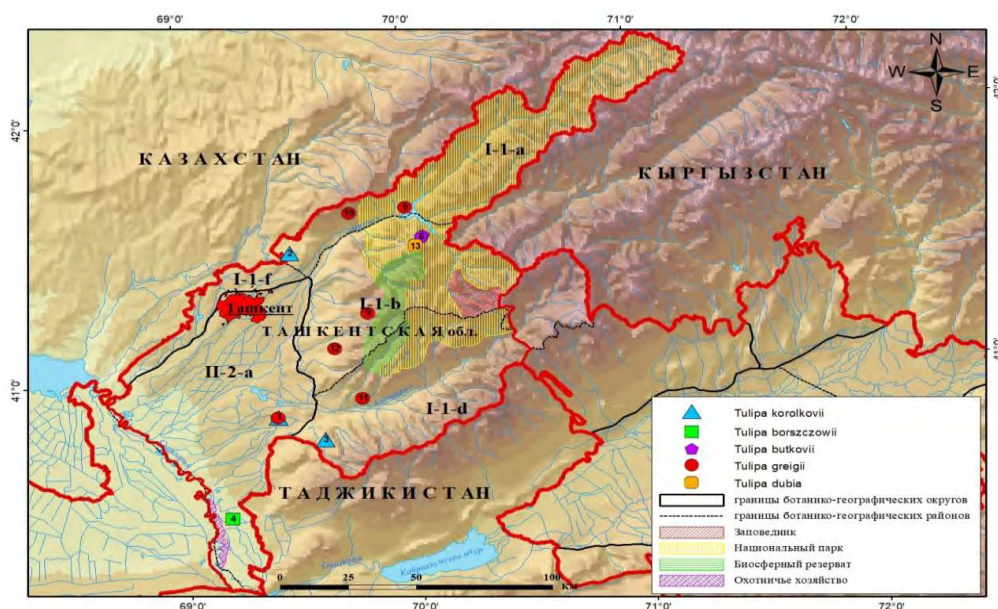


Рис. 1. Местонахождение изученных ценопопуляций.

Tulipa borszczowii Regel – эндемик северных пустынь Средней Азии, произрастает небольшими разрозненными популяциями в песчаных и каменистых пустынях, а также в останцовых низкогорьях. Цветёт в конце марта – апреле, плодоносит в мае. Его ареал охватывает Кызылкум, пустыню Бетпақдала и Приаралье (Введенский, Ковалевская, 1971; Иващенко, 2005). Вид считался эндемиком Казахстана (Иващенко, 2005) и занесен в Красную книгу Республики Казахстан (2014). В последние годы местонахождения *T. borszczowii* были найдены и на территории Узбекистана, в Центральном и Юго-восточном Кызылкуме, на территории Джизакской и Навоийской областей (Тојибоев, Beshko, 2015; Шомуродов, Абдураимов, 2017). В 2021 г. ценопопуляция *T. borszczowii* была обнаружена в Бекабадском районе Ташкентской области, в Дальверзинских песках (ЦП 4) в составе эфемерово-эфемероидово-джузгунового сообщества (*Calligonum litwinowii*+*Calligonum microcarpum*+*Carex pachystylis*+*Poa bulbosa*+*Bromus tectorum*+*Draba verna*). Это новое, ранее не известное местонахождение вида, ближайшие известные популяции произрастают в Юго-восточном Кызылкуме на восточном побережье оз. Тузкан. Состояние кызылкумских популяций вида было ранее изучено О.С. Абдураимовым (2017). Изученная популяция *T. borszczowii* находится на

неохраняемой территории (рис. 1), угрозу для нее представляют интенсивный выпас скота, освоение песчаного массива под сельхозугодья, добыча песка.

Таблица 1. Характеристика исследованных ценопопуляций (ЦП).

№ ЦП	Местонахождение	Географические координаты	Высота м н.у.м. БС	Площадь ЦП, га	Антропогенные факторы	Растительное сообщество	Общее ПП травостоя, %	ПП вида, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Tulipa korolkowii</i>								
1	Пскентский район, нижнее течение р. Ангрэн, окрестности кишлака Гультепа и кладбища «Бобо-Гози»	40.86993° с.ш., 69.40286° в.д.	417	1	Выпас скота, с/х освоение земель	Разнотравно-эфемеровое	60	2
2	Кибрайский район, предгорья хр. Каржантау, окрестности пос. Майский, урочище Белые Пески	41.49887° с.ш., 69.48399° в.д.	675	3	Выпас скота, использование грунтовых дорог, разработка песчаного карьера, свалка мусора	Разнотравно-эфемероидовое	40	1
3	Пскентский район, предгорья Кураминского хр., к югу от г. Алмалык, урочище Карасай	40.77909° с.ш., 69.60288° в.д.	792	5	Выпас скота	Эфемерово-эремурусово-злаковое	40	1
<i>Tulipa borszczowii</i>								
4	Бекабадский район, долина среднего течения р. Сырдарья, Дальверзинские пески	40.48678° с.ш., 69.18714° в.д.	270	50	Выпас скота, добыча песка, с/х освоение земель	Эфемерово-эфемероидово-джузгуновое	30	1
<i>Tulipa butkovii</i>								
5	Бостанлыкский район, Чаткальский хр., горный массив Чимган, Угам-Чаткальский национальный парк, урочище Гулькам, правый (северный) склон	41.55186° с.ш., 70.07034° в.д.	1176	30	Рекреация	Разнотравно-кустарниковое	30	3
6	Левый (южный) склон урочища Гулькам	41.54476° с.ш., 70.06546° в.д.	1324	10	Рекреация	Разнотравно-кустарниковое	40	4
<i>Tulipa greigii</i>								
7	Пскентский район, нижнее течение р. Ангрэн, окрестности кишлака Гультепа, святое место и кладбище «Бобо-Гози»	40.86847° с.ш., 69.4002° в.д.	424	0.1	Практически отсутствует	Злаково-эфемероидовое	85-90	2

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Tulipa greigii</i>								
8	Бостанлыкский район, Угам-Чаткальский национальный парк, предгорья Угамского хр. между кишлаками Хумсан и Сиджак	41.60137° с.ш., 69.99819° в.д.	1270	40	Рекреация, сенокос	Разнотравно-пырейное	70	2
9	Паркентский район, Чаткальский хр., окрестности кишлака Сукок	41.260391° с.ш., 69.812325° в.д.	1399	7	Рекреация, выпас скота	Разнотравно-эремурусово-миндалевое	18-20	1
10	Бостанлыкский район, Угам-Чаткальский национальный парк, хр. Каржантау, южный склон урочища Акташсай	41.646496° с.ш., 69.753532° в.д.	1076	5	Рекреация, сенокос	Разнотравно-шиповниковое	35	2
11	Ахангаранский район, Чаткальский хр., урочище Талбулаксай	40.932854° с.ш., 69.771532° в.д.	802	8	Рекреация, с/х освоение земель	Разнотравно-флемисово-эремурусовое	60	1
12	Паркентский район, предгорья Чаткальского хр., в 3 км от пос. Красногорск	41.128615° с.ш., 69.660791° в.д.	719	15	Рекреация, выпас скота	Разнотравно-осоково-эремурусово-андизовое	70	2
<i>Tulipa dubia</i>								
13	Бостанлыкский район, Чаткальский хр., горный массив Чимган, Угам-Чаткальский национальный парк, урочище Аксай (центральный кулуар Большого Чимгана)	41.51366° с.ш., 70.03878° в.д.	1983	1.7	Рекреация, выпас скота	Лигуляриево-тарановое	60	5

Tulipa butkovii Botschantz. – узколокальный эндемик западной части Чаткальского хребта, национальный эндемик Узбекистана (Введенский, Ковалевская, 1971). Его ареал охватывает участок северного склона Чаткальского хребта между г. Малый Чимган и р. Акбулак (около 170-175 км²), где он произрастает разрозненными популяциями на мелкоземистых, щебнистых и каменистых склонах в среднем поясе гор. Цветет в апреле-мае, плодоносит в мае-июне. *T. butkovii* был включен в первое, второе и третье издания Красной книги Республики Узбекистан (1984, 1998, 2006), но впоследствии исключен из-за того, что его таксономическое положение как самостоятельного вида было поставлено под сомнение (Van Raamsdonk, de Vries, 1995; Тожибаев, 2010). Согласно предварительным оценкам (Тожибаев, Beshko, 2015), этот вид отвечает критериям IUCN для категории Endangered (EN). Растение охраняется в Чаткальском заповеднике и Угам-Чаткальском национальном парке. Онтогенетическая структура ценопопуляций вида ранее не изучалась. В 2021 г. были исследованы 2 ценопопуляции с участием *T. butkovii* (ЦП 5 и 6) в составе разнотравно-кустарникового сообщества (*Prunus erythrocarpa*+*Prunus mahaleb*+*Spiraea hypericifolia*+*Ferula tenuisecta*+*Prangos pabularia*+*Eremurus lactiflorus*+*Eremurus turkestanicus*), при этом обе находятся на территории национального парка (рис. 1) – в популярном среди туристов и отдыхающих урочище.

Фактор рекреации в настоящее время оказывает умеренное негативное воздействие на популяцию, случаи сбора тюльпанов на букеты пресекаются инспекторами национального парка. Однако в последние годы рекреационная нагрузка на экосистемы национального парка неуклонно возрастает, и можно с уверенностью прогнозировать усиление антропогенного пресса на популяции вида.

***Tulipa greigii* Regel** – эндемик Северного и Западного Тянь-Шаня (Узбекистан, Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан). Занесен в Красную книгу Республики Узбекистан (2019) со статусом 3 (уязвимый, сокращающийся вид). Вид также занесен в Красные книги Республики Казахстан (2014), Кыргызской Республики (2006) и Республики Таджикистан (2015). На территории Узбекистана встречается в Ташкентской и Наманганской областях, охраняется в Чаткальском заповеднике, Угам-Чаткальском национальном парке и Угам-Чаткальском биосферном резервате. Произрастает единичными экземплярами или разрозненными популяциями на глинистых и каменистых склонах предгорий, нижнего и среднего пояса гор. Цветет в апреле-мае, плодоносит в июне-июле. Онтогенетическая структура ценопопуляций вида в Узбекистане ранее не изучалась. В 2021 г. исследованы 6 ценопопуляций с участием *T. greigii*, одна из них (ЦП 7) произрастает в составе злаково-эфемероидового сообщества (*Carex pachystylis*+*Poa bulbosa*+*Hordeum bulbosum*+*Hordeum spontaneum*+*Elaeosticta allioides*), на огражденной территории святого места и кладбища и практически не испытывает негативного влияния антропогенных факторов. ЦП 8 находится на территории Угам-Чаткальского национального парка в составе разнотравно-пырейного сообщества (*Thinopyrum intermedium* subsp. *intermedium*+*Hordeum bulbosum*+*Centaurea virgata* subsp. *squarrosa*+*Hypericum perforatum*+*Origanum tythanthum*+*Ziziphora pedicellata*), среди плантаций абрикоса (*Prunus armeniaca*), на участке, используемом как сенокосные угодья, который также является популярным местом для весенних пикников. На данной территории, расположенной вблизи автомобильной дороги, нередко отмечаются факты сбора тюльпанов на букеты. Остальные ценопопуляции (ЦП 9-12) произрастают на неохраняемой территории (рис. 1), а основные негативные факторы, влияющие на них, перечислены в таблице 1. ЦП 9 отмечена в составе разнотравно-эремурусово-миндалевого сообщества (*Prunus amygdalus*+*Eremurus robustus*+*Poa angustifolia*+*Capsella bursa-pastoris*), ЦП 10 – в составе разнотравно-шиповникового сообщества (*Rosa webbiana*+*Rosa kokanica*+*Crambe cordifolia* subsp. *kotschyana*+*Poa bulbosa*), ЦП 11 – в составе разнотравно-флоμισово-эремурусового сообщества (*Eremurus regelii*+*Phlomis regelii*+*Capparis spinosa* var. *herbacea*+*Phlomis isochila*), а ЦП 12 – в составе разнотравно-осоково-эремурусово-андизового (*Eremurus regelii*+*Inula grandis*+*Carex pachystylis*).

***Tulipa dubia* Vved.** – эндемик Западного Тянь-Шаня (Узбекистан, Казахстан, Кыргызстан). Занесен в Красную книгу Республики Узбекистан (2019) со статусом 3 (уязвимый, сокращающийся вид). На территории Узбекистана встречается в Ташкентской и Наманганской областях, охраняется в Чаткальском заповеднике, Угам-Чаткальском национальном парке и Угам-Чаткальском биосферном резервате. Произрастает единичными экземплярами или разрозненными популяциями на каменистых склонах и осыпях в среднем и верхнем поясах гор. Цветет в апреле-июне, плодоносит в мае-августе в зависимости от высоты местности. Ценопопуляция с участием данного вида (ЦП 13) была описана в Бостанлыкском районе Ташкентской области, в урочище Аксай (центральный кулуар Большого Чимгана), на высоте 1983 м н.у.м. БС в составе лигуляриево-таранового сообщества (*Koenigia coriaria*+*Ligularia alpigena*) с участием еще одного эндемика Западного Тянь-Шаня – *T. tschimganica* Botschantz. Вид был включен в первое, второе и третье издания Красной книги Республики Узбекистан (1998, 2006, 2009) со статусом 2, но впоследствии исключен из-за того, что данный таксон был сведен в подвиды к тюльпану Кауфмана – *T. kaufmanniana* subsp. *tschimganica* (Botschantz.) Tojibaev (Тожибаев, 2010). ЦП 13 произрастает на территории Угам-Чаткальского национального парка, вблизи туристской тропы в одном из наиболее посещаемых урочищ, где к тому же в летний период интенсивно выпасается скот.

Все изученные виды – луковичные многолетники, эфемероиды.

Структуру ценопопуляций изучали общепринятым методом (Уранов, 1975; Ценопопуляции растений ..., 1976). Трансекты закладывали длиной по 10 м, деля на площадки по 1 м². В каждой ценопопуляции закладывалось от 30 до 50 учетных площадок по 1 м², на которых подсчитывались все особи тюльпанов с разбивкой по возрастным группам. Поскольку изучаемые виды относятся к уязвимым и большинство из них имеет природоохранный статус, онтогенетическое состояние

особей определялось по надземным органам, а генеративные растения не подразделялись на молодые (g1), средневозрастные (g2) и стареющие (g3). С помощью GPS определялась площадь, занятая каждой популяцией.

Геоботанические описания растительных сообществ выполнялись по стандартной методике на площадках 100 м² (Полевая геоботаника, 1964). Регистрировались все виды растений, их обилие, высота, жизненность и фенофаза, общее проективное покрытие травостоя (ОПП), проективное покрытие вида (ППВ). Отмечали также состояние растительного покрова, влияющие на него антропогенные факторы и степень воздействия.

Онтогенетическая структура ценопопуляций определяется как соотношение в ценопопуляции особей разных онтогенетических состояний. За счетную единицу принята особь. При характеристике популяционной структуры опирались на представления о характерном онтогенетическом спектре (Заугольнова, 1994). По характеру распределения онтогенетических групп выделяют 4 типа спектров: левосторонний, центрированный, правосторонний и бимодальный. Характерный спектр зависит от биологических особенностей вида.

Ценопопуляции описывали согласно классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969). Плотность популяции определяли как количество особей на единицу площади. При этом определяли среднюю плотность, т.е. численность на единицу всей обследованной площади, и экологическую плотность, т.е. численность на единицу площади, фактически занятой популяцией (Одум, 1986). При определении значений индекса старения и индекса восстановления использовали методику Н.В. Глотова (1998), А.Р. Ишбирдина и М.М. Ишмуратовой (2004).

Принятые латинские названия изучаемых видов приведены согласно международной базе данных Plants of the World Online (2022).

Результаты и их обсуждение

В ходе наших исследований изучена онтогенетическая структура 13 ценопопуляций 5 видов дикорастущих тюльпанов: *Tulipa korolkowii* (3), *Tulipa borszczowii* (1), *Tulipa butkovii* (2), *Tulipa greigii* (6) и *Tulipa dubia* (1). Исходя из особенностей биологии тюльпанов (высокая семенная продуктивность и всхожесть семян, продолжительный прегенеративный период, способность к вегетативному размножению), характерным спектром ценопопуляций изученных видов следует считать левосторонний (Смирнова, 1987).

Установлено, что по классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), изученные ценопопуляции (ЦП) видов рода *Tulipa* L. являются нормальными, ЦП 1, 2, 5, 6, 8, 9, 12, 13 – полночленными, ЦП 3, 4, 7, 10, 11 – неполночленными. К левостороннему типу относятся 6 ценопопуляций (ЦП 1, 2, 4, 6, 9, 10), к центрированным – 4 (ЦП 3, 7, 11, 12) и бимодальным – 3 (ЦП 5, 8, 13).

Ценопопуляции с левосторонним типом спектра. Онтогенетическая структура большинства обследованных ценопопуляций – левостороннего типа (ЦП 1, 2, 4, 6, 9, 10). Левосторонние спектры – одновершинные (рис. 2). В ЦП 2 абсолютный максимум приходится на ювенильные особи – 41.48%. Этот вариант спектра у представителей рода *Tulipa* формируется при обильном плодоношении и достаточном количестве выпавших в осенне-зимне-весенний период атмосферных осадков (Кашин и др., 2016, 2019). В остальных ценопопуляциях (ЦП 1, 4, 6, 9, 10) преобладают виргинильные особи (от 39.6 до 58.1% соответственно), что связано как с хорошим семенным возобновлением, так и с большей продолжительностью данного онтогенетического состояния у представителей рода. Меньшая доля имматурных особей в большинстве случаев объясняется элиминацией молодых растений (водная эрозия, интенсивное использование пастбищ весной в период вегетации тюльпанов или высокая конкуренция с другими видами).

Ценопопуляции с центрированным типом спектра. В ценопопуляциях с центрированным типом спектра абсолютный максимум отмечается у генеративных растений (ЦП 3, 7, 11, 12). В данных ценопопуляциях доля генеративных особей варьирует от 36.66 до 52.94%. В спектре наблюдается постепенное увеличение доли определенной онтогенетической группы по сравнению с предыдущей, что, вероятно, связано с увеличением продолжительности нахождения особей в последующих состояниях и уменьшением отмирания особей (рис. 3). По литературным данным, продолжительность прегенеративного периода у видов рода *Tulipa* L. в естественных условиях

в среднем составляет 4-5 лет, а продолжительность генеративного периода – 10-25 лет (Бочанцева, 1956; Кобозева, 2010; Абдураимов, 2017). Одна из отмеченных популяций (ЦП 7) произрастает на огражденной территории святого места и кладбища, где благодаря отсутствию выпаса скота сформировался густой и высокий травостой с проективным покрытием до 90% и доминированием злаков (*Hordeum bulbosum* L., *H. spontaneum* K. Koch, *Poa bulbosa* L.), эфемероида *Carex pachystylis* J. Gay и двудольных эфемеров. Низкая доля ювенильных и имматурных особей в данной ценопопуляции объясняется конкуренцией с другими видами в фитоценозе.

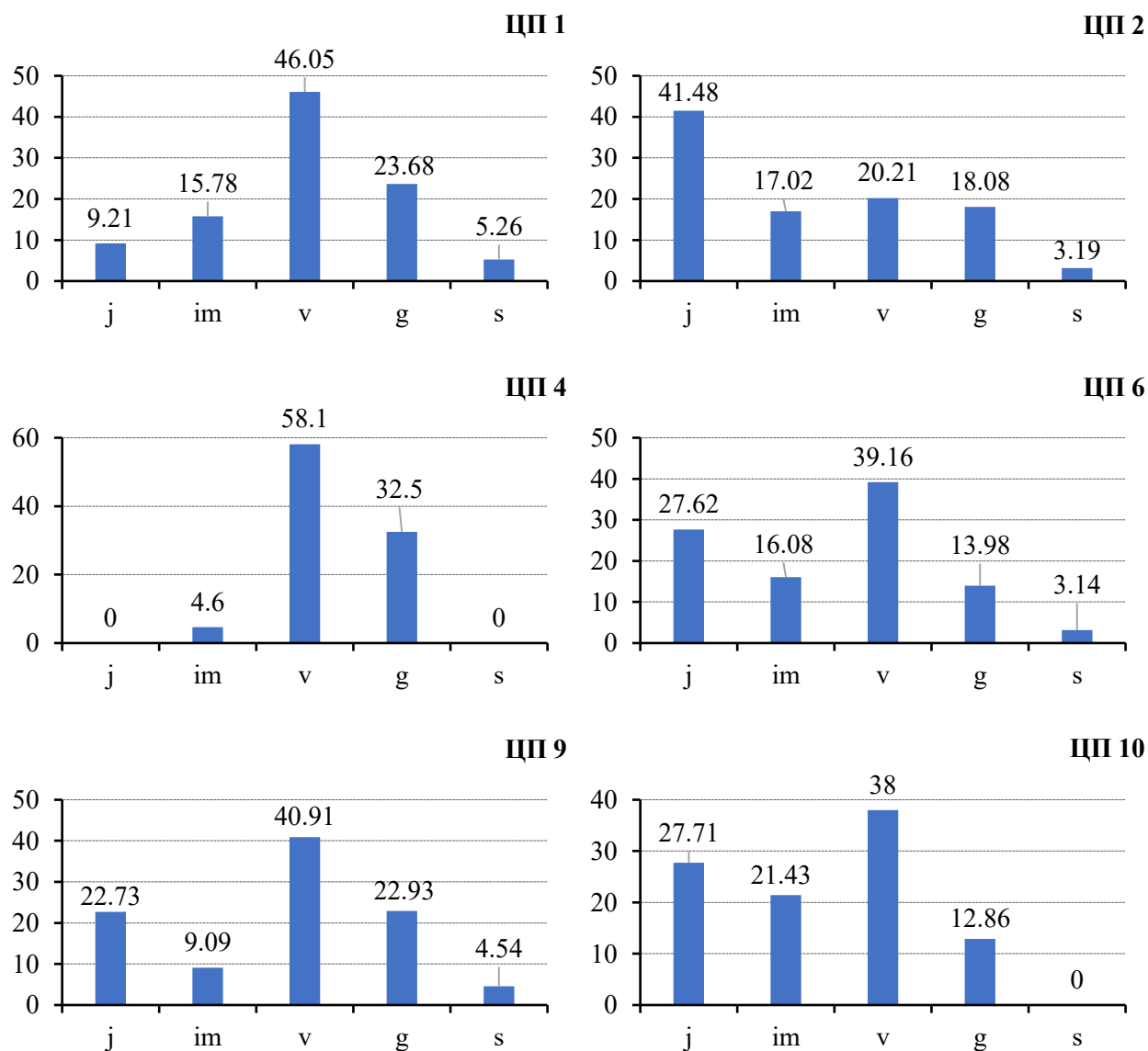


Рис. 2. Ценопопуляции с левосторонним онтогенетическим спектром.

Бимодальный онтогенетический спектр. Такой спектр обычно формируется в ценопопуляциях с умеренным семенным размножением. В них наблюдается высокая доля ювенильных и генеративных особей (рис. 4). Если успешный переход проростков, образованных за счет массового прорастания прошлых лет, с одной стороны, приводит к увеличению имматурных особей (ЦП 13), то, с другой стороны, удлинение продолжительности генеративного периода в благоприятных условиях способствует увеличению доли генеративных особей. Следует особо отметить, что в одной коробочке видов рода *Tulipa* образуются от 150 до 450 потенциальных семян.

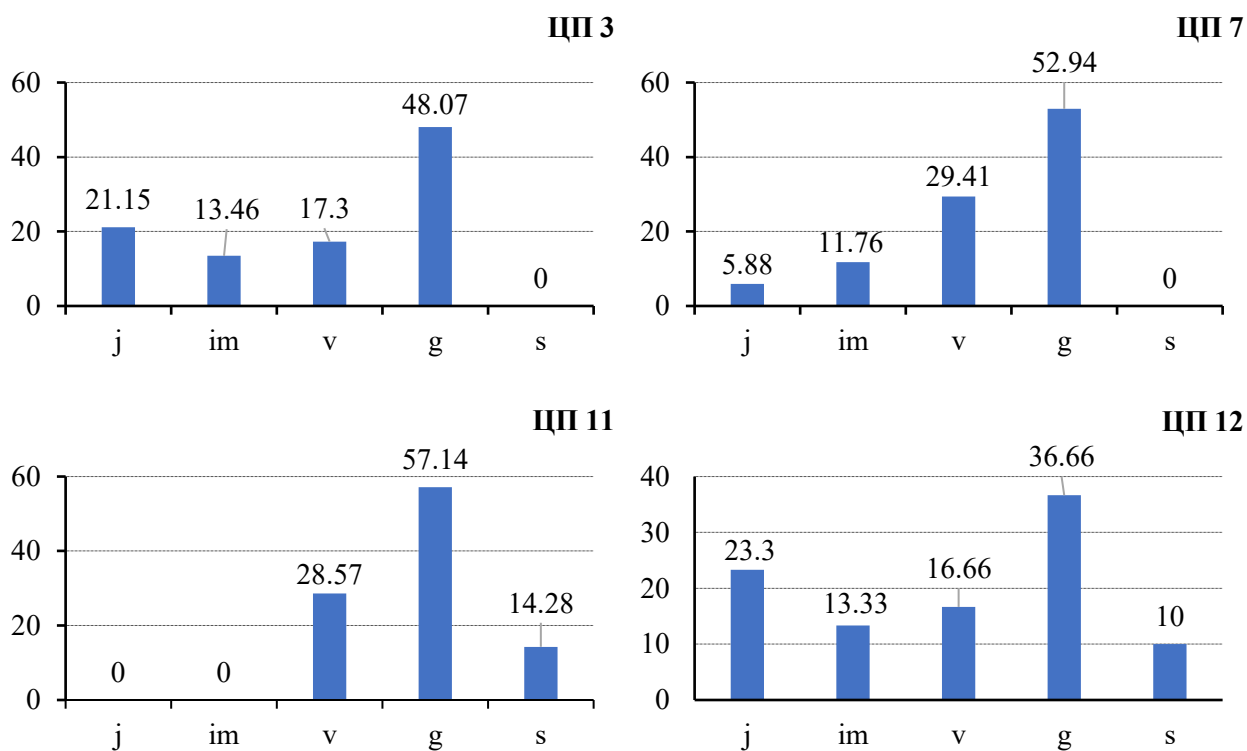


Рис. 3. Ценопопуляции с центрированным онтогенетическим спектром.

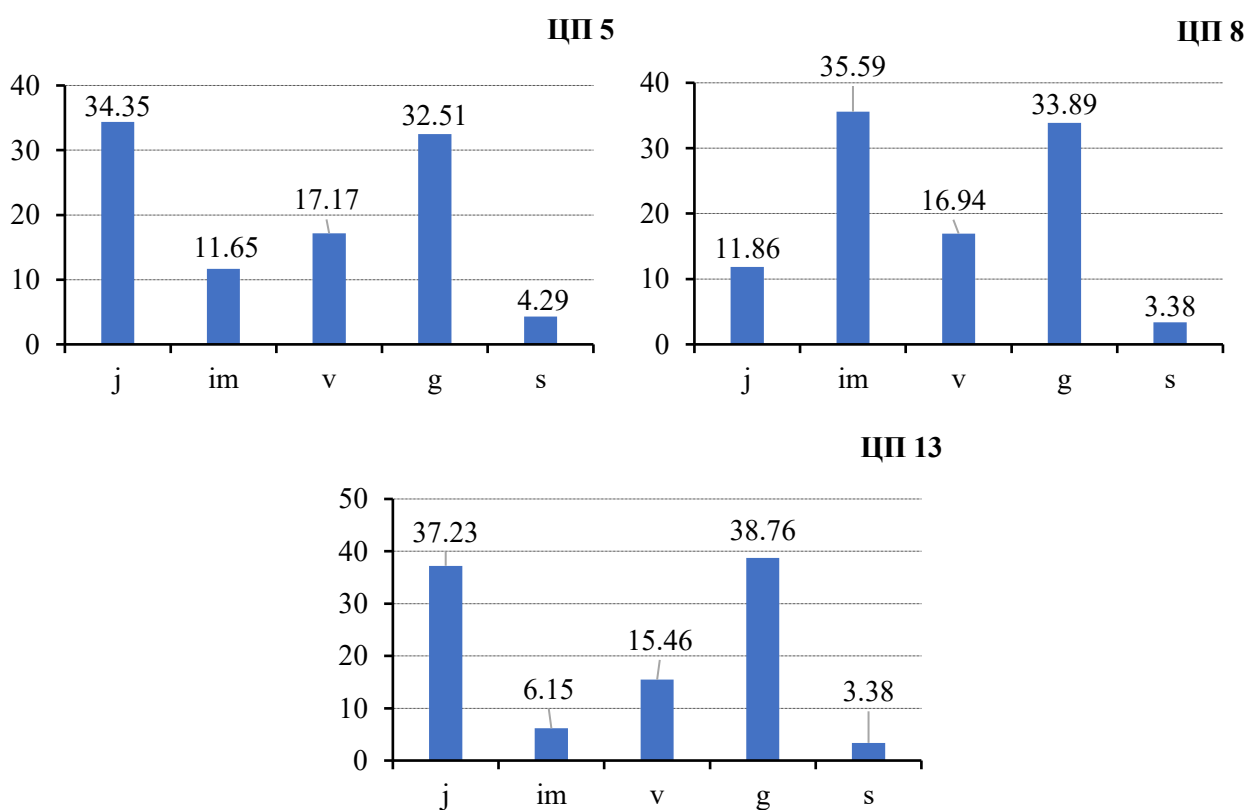


Рис. 4. Ценопопуляции с бимодальным онтогенетическим спектром.

Расположение луковицы луковичных растений разной глубины в зависимости от погодных условий и от питательных веществ в почве является одной из стратегий их адаптации к внешней среде. По литературным данным, более глубокое расположение луковиц от поверхности почвы объясняется стремлением к влаге и избеганием высокой температуры, тогда как формирование столонов у тюльпанов связано со стремлением в более богатые питательными веществами почвенные горизонты (Бочанцева, 1962).

Tulipa butkovii и *Tulipa dubia* образуют столоны в прегенеративный период (v). При ослаблении семенного размножения вида под воздействием различных факторов вегетативное размножение является одной из стратегий самосохранения в естественных условиях.

В зависимости от эколого-фитоценологических условий местообитания плотность особей в обследованных сообществах варьировала от 0.85 (*T. greigii*) до 16.25 экз./м² (*T. dubia*), а экологическая плотность – от 1.13 до 17.10 экз./м².

Проведено также сравнение индексов восстановления (I_в) и старения (I_{ст}), отражающих динамические процессы в ценопопуляции. В большинстве обследованных ценопопуляций индекс восстановления выше единицы, что свидетельствует о неплохом семенном возобновлении особей.

У ценопопуляций ЦП 7 и 11 с участием *T. greigii* индекс восстановления ниже 1. В данных ценопопуляциях генеративные особи составляют 52.94-57.14%, а семенное размножение имеет низкий показатель. Как было указано выше, ценопопуляция ЦП 7, произрастающая на огражденной территории святого места и кладбища «Бобо-Гози», имеет низкий индекс восстановления вследствие конкуренции с другими видами в фитоценозе. Высокая доля генеративных особей в ценопопуляциях *T. greigii* также объясняется тем, что у данного вида продолжительный генеративный период – 12-16 лет (табл. 2).

Таблица 2. Демографическая характеристика ценопопуляций видов рода *Tulipa*.

№ ЦП	I _в	I _{ст}	Плотность особей, шт./м ²	P _{экол} , 1 м ²	Общее количество особей в ЦП, шт.	Типы ЦП
<i>T. korolkowii</i>						
1	3	0.05	3.8	4.22	76	Молодая
2	4.35	0.03	4.7	5.52	94	Молодая
3	1.07	0	2.6	3.25	52	Зрелая
<i>T. borszczowii</i>						
4	1.92	0	2.05	2.73	41	Молодая
<i>T. butkovii</i>						
5	1.94	0.04	8.15	8.57	163	Ложно-зрелая
6	5.92	0.03	14.3	15.5	286	Молодая
<i>T. greigii</i>						
7	0.88	0	0.85	1.13	17	Зрелая
8	1.89	0.03	2.95	3.27	59	Ложно-зрелая
9	3.17	0.04	1.1	1.22	22	Молодая
10	6.77	0	3.5	3.88	70	Молодая
11	0.5	0.16	1.05	1.23	21	Зрелая
12	1.45	0.11	1.5	1.87	30	Зрелая
<i>T. dubia</i>						
13	1.51	0.03	16.25	17.10	325	Ложно-зрелая

Примечания к таблице 2: I_в – индекс восстановления; I_{ст} – индекс старения; P_{экол} – экологическая плотность.

Индекс старения у изученных ценопопуляций имеет относительно низкий показатель – от 0 у ЦП 3, 4, 7 и 10 до 0.11-0.16 у ЦП 11 и 12. Низкая доля сенильных особей в онтогенетическом

спектре – одна из биологических особенностей тюльпанов (Баранова, 1999; Кобозева, 2010).

По классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), изученные ценопопуляции видов рода *Tulipa* нормальные, за исключением ЦП 4, 7, 9, 10, 11, которые имеют меньшую численность в сравнении с другими ценопопуляциями. ЦП 1, 2, 4, 6, 9 и 10 относятся к молодым, ЦП 3, 7, 11 и 12 – к зрелым, ЦП 5, 8 и 13 – к ложно-зрелым.

Выводы

Таким образом, подавляющее большинство исследованных ценопопуляций видов рода *Tulipa* L., произрастающие на территории Ташкентской области Республики Узбекистан в различных эколого-фитоценологических условиях и на участках с различным природоохранным режимом и уровнем антропогенного пресса, относится к нормальным и полночленным. Влияние выпаса приводит к значительному снижению жизнеспособности ценопопуляций видов рода *Tulipa* L. В некоторых ценопопуляциях сенильные особи отсутствуют, что является биологической особенностью рода *Tulipa*. Особи проходят полный онтогенез только в благоприятных условиях обитания при достаточной влажности почвы и хорошем минеральном питании.

Учитывая ограниченное распространение, низкую численность и значительную угрозу популяциям *Tulipa borszczowii* в Узбекистане, рекомендуется включение данного вида в следующее издание национальной Красной книги и создание охраняемой природной территории со статусом заказника или памятника природы в Дальверзинских песках для сохранения данного реликтового песчаного массива. Также рекомендуется включение в Красную книгу Узбекистана *Tulipa butkovii*, поскольку постоянно возрастающая рекреационная нагрузка представляет угрозу популяциям данного вида, являющегося узколокальным эндемиком Чаткальского хребта и национальным эндемиком.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственных научно-исследовательских программ Института ботаники Академии наук Республики Узбекистан «Кадастр флоры Ташкентской области» (2020-2022 гг.) и «Оценка современного состояния популяций и создание живой коллекции хозяйственно-ценных видов диких сородичей культурных растений флоры Узбекистана» (2021-2024 гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдураимов О.С. 2017. Биологические особенности и состояние ценопопуляций видов рода *Tulipa* L. В Кызылкуме. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ташкент. 47 с.
- Арамов С.А. 2012. Географический атлас Узбекистана. Ташкент: Госкомземгеодезикадастр. 119 с.
- Баранова М.В. 1999. Луковичные растения семейства Лилейных (география, биоморфологический анализ, выращивание). СПб. 229 с.
- Бочанцева З.П. 1956. Онтогенез тюльпанов // Труды Ботанического сада АН УзССР. Ташкент: АН УзССР. Вып. 5. С. 71-108.
- Бочанцева З.П. 1962. Тюльпаны. Ташкент. 407 с.
- Введенский А.И., Ковалевская С.С. 1971. *Tulipa* L. Определитель растений Средней Азии. Ташкент: Фан. Т. 2. С. 94-109.
- Глотов Н.В. 1988. Об оценке параметров возрастной структуры популяции растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Ч. I. С. 146-149.
- Денисова Г.Р., Гусева А.А. 2016. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Dracocephalum fragile* Turcz. ex Benth. на северной границе ареала // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: XV Международная научно-практическая конференция. Барнаул. С. 5-7.
- Жукова Л.А. 1995. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола. 223 с.
- Заугольнова Л.Б. 1994. Структура популяций семенных растений и проблемы их мониторинга. Автореф. дис. ... док. биол. наук. СПб. 70 с.
- Иващенко А.А. 2005. Тюльпаны и другие луковичные растения Казахстана. Алматы: Две столицы. 192 с.
- Иибирдин А.Р., Ишмуратова М.М. 2004. К оценке виталитета ценопопуляций *Rhodiola imemelica* Boriss. По размерному спектру // Ученые записки НТГСПА: Материалы VI Всероссийского популяционного семинара. Нижний Тагил. С. 80-85.
- Кашин А.С., Петрова Н.А., Шилова И.В. 2016. Особенности экологической стратегии *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida) // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 209-221.
- Кашин А.С., Петрова Н.А., Шилова И.В., Пархоменко А.С. 2019. Динамика демографической структуры

- ценопопуляций *Tulipa suaveolens* Roth (Liliaceae, Magnoliophyta) в Нижнем Поволжье // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 291-310.
- Кобозева Е.А. 2010. Биоморфология и популяционная экология луковичных растений в разных природных зонах Приволжской возвышенности (на примере *Tulipa biebersteiniana* Schult. et Schult. fil. и *Lilium martagon* L.). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 22 с.
- Красная книга Кыргызской Республики. 2006. 2-е изд. / Ред. Э.Дж. Шукуров. Бишкек: Государственное агентство по охране окружающей среды и лесному хозяйству при Правительстве Кыргызской Республики, Биолого-почвенный институт Национальной академии наук Кыргызской Республики, Экологическое движение Кыргызстана «Алейне». 544 с.
- Красная книга Республики Казахстан. 2014. Растения. 2-е изд. Алматы: ArtPrintXXI LLP. 449 с.
- Красная книга Республики Таджикистан. 2015. Т. 1: Растительный мир. Душанбе: Ганч нашриёт. 494 с.
- Красная книга Республики Узбекистан. 1998. Редкие и исчезающие виды растений и животных. Т. 1: Растения. Ташкент: Chinog ENK. 335 с.
- Красная книга Республики Узбекистан. 2006. Редкие и исчезающие виды растений и животных. Т. 1: Растения и грибы. Ташкент: Chinog ENK. 250 с.
- Красная книга Республики Узбекистан. 2019. Редкие и исчезающие виды растений и животных. Т. 1: Растения. Ташкент: Tasvir. 356 с.
- Красная Книга Узбекской ССР. 1984. Т. 2: Растения. Ташкент: Фан. 150 с.
- Одум Ю. 1986. Экология. Мир. Т. 2. 209 с.
- Османова Г.О. 2007. Морфологические особенности особей и структура ценопопуляций *Plantago lanceolata* L. // Йошкар-Ола: Мариинский государственный университет. 184 с.
- Полевая геоботаника. 1964. Т. 3. М. 230 с.
- Прагов У.П., Шарипов А.Х., Аиурметов О.А., Тожобаев К.Ш. 2006. Тюльпаны Западного Тянь-Шаня // Ташкент: Chinog ENK. 96 с.
- Смирнова О.В. 1987. Структура травянистого покрова широколиственных лесов. М., 206 с.
- Тожобаев К.Ш. 2010. Что такое *Tulipa tschimganica* Botschantz. и *T. butkovii* Botschantz.? // Узбекский биологический журнал. № 3. С. 42-46.
- Тожобаев К.Ш., Кадыров Р.У. 2010. Тюльпаны Узбекистана – Tulips of Uzbekistan. Ташкент: Шарк. 224 с.
- Уранов А.А. 1975. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. № 2. С. 7-34.
- Уранов А.А., Смирнова О.В. 1969. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Бюллетень МОИП. Отделение Биологическое. Т. 74. № 2. С. 119-134.
- Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). 1976. М. 216 с.
- Чермушкина В.А. 2004. Биология луков Евразии. Новосибирск: СО РАН. 277 с.
- Шомуродов Х.Ф., Абдураимов О.С. 2017. Онтогенетическая структура и оценка состояния ценогенетических популяций *Tulipa borszczowii* (Liliaceae) в Узбекистане // Ботанический журнал. Т. 102. № 8. С. 1123-1136.
- Abduraimov O.S., Shomurodov H.F., Daniyarov S.A., Abduraimov A.S. 2020. Ontogenetic Structure of Ceonopopulations of *Tulipa korolkowii* Regel in Uzbekistan // Journal of Botanical Research. Vol. 2. No. 4. P. 7-11.
- Christenhusz M.J.M., Govaerts R., David J.C., Hall T., Borland K., Roberts P.S., Tuomisto A., Buerki S., Chase M.W., Fay M.F. 2013. Tiptoe Through the Tulips: Cultural History, Molecular Phylogenetics and Classification of *Tulipa* (Liliaceae) // Botanical Journal of the Linnean Society. Vol. 172. P. 280-328.
- Dekhkunov D., Tojibaev K.Sh., Makhmudjanov D., Na Nu-ree, Baasanmunkh Sh., Yusupov Z., Choi H.J., Jang C.G. 2021. Mapping and Analyzing the Distribution of the Species in the Genus *Tulipa* (Liliaceae) in the Ferghana Valley of Central Asia // Korean Journal of Plant Taxonomy. Vol. 51. No. 3. P. 181-191.
- Everett D., May M.F., Christenhusz M.J., Wilford R. 2013. The Genus *Tulipa*: Tulips of the World. London: Kew Publishing. 393 p.
- Hall A.D. 1940. The Genus *Tulipa*. London: The Royal Horticultural Society. 171 p.
- IUCN Red List of Threatened Species. 2022. Version 2021-3 [Электронный ресурс <https://www.iucnredlist.org> (дата обращения 02.03.2022)].
- Plants of the World Online. 2022 [Электронный ресурс <http://www.plantsoftheworldonline.org> (дата обращения 28.02.2022)].
- Shomurodov H.F., Abduraimov O.S., Adilov B.A. 2021. Assessment of the State of *Tulipa lehmanniana* Mercklin Populations under the Conditions of the Kyzylkum Desert // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 1. P. 83-90. [Шомуродов Х.Ф., Абдураимов О.С., Адиллов Б.А. 2021. Оценка состояния популяций *Tulipa lehmanniana* Mercklin в условиях пустыни Кызылкум (Узбекистан) // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1 (86). С. 97-105.]
- Tojibaev K., Beshko N. 2015. Reassessment of Diversity and Analysis of Distribution in *Tulipa* (Liliaceae) in Uzbekistan // Nordic Journal of Botany. Vol. 33. No. 3. P. 224-234.
- Van Raamsdonk L.W.D., de Vries E. 1992. Biosystematic Studies in *Tulipa* sect. *Eriostemones* (Liliaceae) //

Plant Systematics and Evolution. Vol. 179. P. 27-41.

Wilson B., Dolotbakov A., Burgess B.J., Clubbe C., Lazkov G., Shalpykov K., Ganybaeva M., Sultangaziev O., Brockington S.F. 2021. Central Asian Wild Tulip Conservation Requires a Regional Approach, Especially in the Face of Climate Change // Biodiversity and Conservation. Vol. 30. P. 1705-1730.

Zonneveld B.J.M. 2009. The Systematic Value of Nuclear Genome Size for "All" Species of *Tulipa* L. (Liliaceae) // Plant Systematics and Evolution. Vol. 281. P. 217-245.

КОНКУРЕНЦИЯ МЕЖДУ ДИКИМИ И ДОМАШНИМИ КОПЫТНЫМИ НА ВОДОПОЯХ В ПУСТЫНЕ ГОБИ, МОНГОЛИЯ

© 2023 г. Ф. Раймонди*, Д. Сольяни** **, М. Чимини** **, Л. Атцени*, С. Аугульяро****

*Департамент исследований и охраны, «Инициатива по охране дикой природы»,
Италия, 31040, г. Педеробба, виа Ровиго, д. 12

**Университет Павии, Кафедра биологии и биотехнологий
Италия, 27100, г. Павия, виа Феррата, д. 9. E-mail: davide.sogliani@unipv.it

***Служба экосистем, агролесомелиораций и экологических мероприятий
Италия, 10122, г. Турино, Корсо Палестро, д. 9

****«Инициатива по охране дикой природы»
Монголия, 210349, г. Улан-Батор, район Баянгол, 6-й Кхороо, д. 10

Поступила в редакцию 28.03.2023. После доработки 01.04.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Процессы опустынивания в Центральной Азии во многом зависят от деградации почв, которую помимо климатических изменений вызывает перевыпас скота. Опустынивание представляет угрозу для диких животных, обитающих в аридных экосистемах, поскольку ограниченный доступ к воде сильно сужает их распространение и изменяет поведение. Более того, домашний скот усугубляет конкуренцию с дикими животными за скудные водные ресурсы. Учитывая, что источники воды имеют решающее значение для существования дикой природы, в засушливой среде они важны для изучения поведения диких животных и межвидовой конкуренции.

Малая Гоби-А – одна из таких экосистем в Монголии, переживающая высокую нагрузку из-за перевыпаса скота, хотя присутствие непосредственно самих людей на ней незначительно. С сентября по октябрь 2017 года мы проводили съемку с помощью фотоловушек около двух водоемов, которые мы определили как потенциальные источники воды для диких животных. Мы хотели изучить взаимодействия с учетом пространства и времени между крупными домашними копытными (двугорбый верблюд *Camelus bactrianus* Linnaeus, 1758) и дикими копытными (кулан *Equus hemionus* Pallas, 1775; джейран *Gazella subgutturosa* Güldenstädt, 1780) – самыми знаковыми и исчезающими видами копытных Монголии.

Результаты съемок показали абсолютную пространственную сегрегацию между домашними и дикими копытными и высокую временную между дикими копытными. Таким образом, наше исследование подтверждает, что для снижения конкуренции и обеспечения своего сосуществования дикие виды придерживаются пространственно-временного нишевого разделения. Мы также рекомендуем усилить меры по контролю бродячего скота, чтобы снизить нагрузку на дикие виды в местах водопоя.

Ключевые слова: пространственно-временное перекрытие, источники воды, аридные экосистемы, кулан, джейран, пустыня Гоби.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-81-91

EDN: HPNSKL

В результате изменения климата и увеличения деятельности человека, такой как выпас скота и добыча полезных ископаемых, доступность воды в аридных регионах Центральной Азии уменьшается все сильнее (Kaczensky et al., 2011; Ito et al., 2013). А так как крупномасштабное животноводство требует огромного количества водных ресурсов, это затрудняет их использование непосредственно дикой природой (Kaczensky et al., 2016; Wakefield, Attum, 2006). В результате дикие и домашние виды конкурируют за пищу и территорию, при этом дикие виды зачастую вытесняются с территорий, которые занимает домашний скот (Rovero et al., 2020; Salvatori et al., 2021). Дикие копытные относятся к числу тех видов, которые наиболее подвержены влиянию скота, поскольку источники пищи и среда обитания и тех, и других слишком сильно накладываются друг на друга

(Berger et al., 2013). В предыдущих исследованиях (Zhang et al., 2015; Nandintsetseg et al., 2016) было показано, что беспокойство, вызванное присутствием людей и домашнего скота, провоцирует изменения в пространственно-временной модели поведения диких копытных. Исследование взаимодействий между дикими лошадьми и коренными копытными показало, что конкуренция возникает на водопоях, особенно в периоды нехватки воды (Kaczensky et al., 2016; Hall et al., 2016). Таким образом, снижение доступности воды в пустынных экосистемах обостряет конкуренцию между домашними и дикими копытными и вызывает пространственно-временную нишевую сегрегацию (Ostermann-Kelm et al., 2008; Hall et al., 2016; Gooch et al., 2017) для того, чтобы избежать прямой конкуренции на водопое (Xue et al., 2018). Сегрегация – это рабочий вариант для ограничения взаимодействий между конкурирующими видами, т.к. она минимизирует вражду и обеспечивает сосуществование видов в их общих местообитаниях (Edwards et al., 2015; Torretta et al., 2016; Nagy-Reis et al., 2019).

На протяжении последних десятилетий Центральная Азия, в частности Монголия, постоянно страдает от опустынивания (Dorj et al., 2013; Meng et al., 2021). С 1990-х годов экономические реформы и рост спроса на кашемир привели к увеличению поголовья скота (Berger et al., 2013; Meng et al., 2021), что, в свою очередь, вызвало перевыпас и деградацию почв (Liu et al., 2018; Wang et al., 2020), усугубив тем самым процесс опустынивания (Zolotokrylin et al., 2016). Браконьерство, использование природных ресурсов и развитие инфраструктуры выступают в качестве дополнительных угроз, усиливающих давление на диких копытных и среду их обитания (Mallon, Zhigang, 2009; Ito et al., 2013). Таким образом, антропогенное воздействие и конкуренция с домашним скотом за пастбища и воду снижают доступность мест обитания для диких копытных (Reading et al., 2001; Vuuveibaatar et al., 2016). Кроме того, на распределение диких копытных влияет строительство домашних хозяйств. Например, К.А. Olson с соавторами (2011) обнаружили, что плотность дзерена (*Procapra gutturosa* (Pallas, 1777)) в восточной степи Монголии оказалась значительно ниже в местах присутствия людских поселений. Именно поэтому ареал диких копытных зачастую ограничен строго охраняемыми территориями, где присутствие человека незначительно, как, например, в Большой Гоби-А и Большой Гоби-Б (Kaczensky et al., 2017; Nasanbat et al., 2016).

Строго охраняемая территория (СОТ) Малая Гоби представляет собой большое средоточие биоразнообразия в Южной Гоби и важное убежище для диких копытных (Augugliaro et al., 2019). На ней обитают важные популяции копытных животных, охраняемые на мировом уровне, такие как, например, кулан (*Equus hemionus* Pallas, 1775; Reading et al., 2001; Kaczensky et al., 2015), по Красной книге Международного союза охраны природы получивший статус «находящийся в состоянии, близком к угрожаемому» (IUCN, 2020), и джейран (*Gazella subgutturosa* Gldenstdt, 1780; Reading et al., 2001; Vuuveibaatar et al., 2017) со статусом «уязвимый» (IUCN, 2020).

Предыдущие исследователи, проводившие в других районах монгольской Гоби, занимались пространственно-временной сегрегацией диких копытных у источников воды (Nasanbat et al., 2016), однако там рассматривалось только взаимодействие между дикими видами, поскольку люди и домашний скот в том районе отсутствовали. Изучение взаимодействия между дикими и домашними копытными важно в тех случаях, когда на территории встречаются и те, и другие, поскольку дикие копытные умеют избегать встреч с домашним скотом, что влияет на их распределение и поведение и приводит к сужению ареала их обитания (Michler et al., 2021). Например, сокращение и деградация среды обитания из-за скота может ограничить доступность воды для диких копытных, особенно в аридных условиях. Таким образом, необходимо детально понимать, как распределение скота вокруг водоемов в СОТ может влиять на диких животных. Среди наиболее знаковых копытных в данной СОТ кулан и джейран отмечались у водоемов совместно, поскольку в обычных условиях в общей среде обитания эти виды не конкурируют. Для правильного контроля и сохранения упомянутых видов, находящихся под угрозой исчезновения, необходимо ясное понимание того, как они используют воду, которая является существенным лимитирующим фактором в СОТ.

В этой работе мы хотели оценить взаимодействие между куланом, джейраном и домашним скотом у источников воды в СОТ. Предполагалось отсутствие между ними прямой конкуренции в пользу нишевого разделения для обеспечения совместного существования (Xue et al., 2018). Учитывая небольшие размеры водоемов, мы ожидали видимой пространственной сегрегации между дикими копытными и домашними. Более того, поскольку известно, что присутствие кулана

положительно коррелирует с присутствием джейрана (Nandintsetseg et al., 2016), мы не ожидали увидеть между ними пространственную сегрегацию, а только временную, которая позволяет обоим видам в равной степени пользоваться небольшими источниками воды.

Материалы и методы

Территория исследования. Наше исследование проводилось на строго охраняемой территории Малой Гоби-А (координаты: 42° 39' с.ш., 105° 79' в.д.), в провинции Юной Гоби, Монголия. Размер Малой Гоби-А – около 11500 км² на юге страны, на границе с Китаем. Монгольская Гоби является частью засушливого Центрально-Азиатского региона и представляет собой самую восточную пустыню Палеарктики (Von Wehrden et al., 2009). Климат региона аридный, с холодными зимами (средняя температура января – -17.5°C) и коротким жарким летом (средняя температура июля – +22.5°C; Weischet, Endlicher, 2020). Количество годовых осадков варьирует от 33 до 100 мм (von Wehrden et al., 2009). Растительность редкая, с доминирующими пустынными и пустынно-степными сообществами, в которые в основном входят *Artemisia* spp., *Allium* spp., *Stipa* spp. и *Anabasis* spp. В сообществе самой сухой зоны доминируют представители подсемейства *Chenopodiaceae* (*Haloxylon* spp.), тогда как древесные виды, например, саксаул зайсанский (*Haloxylon ammodendron* (С.А. Mey.) Bunge ex Fenzl), вяз низкий (*Ulmus pumila* L.) и тополь евфратский (*Populus euphratica* Olivier), придерживаются речных долин и больших речных бассейнов (von Wehrden et al., 2009).

Как и в других местах встреч млекопитающих в Монгольской Гоби (в Большой Гоби-А; Nasanbat et al., 2016), в Малой Гоби-А помимо прочих живут редкие и находящиеся под угрозой уничтожения виды, такие как джейран, кулан и ирбис (*Panthera uncia* (Schreber, 1775); Augugliaro et al., 2019). Территория слабо заселена людьми; на ней расположено меньше 10 хозяйств, занимающихся разведением двугорбых верблюдов (*Camelus bactrianus* Linnaeus, 1758), небольших отар домашних овец (*Ovis aries* Linnaeus, 1758) и коз (*Capra hircus* Linnaeus, 1758) в северо-восточной части охраняемой территории. Также имеются немногочисленные как естественные, так и искусственные источники воды, которые посещаются дикими и домашними животными. На севере и востоке территории, примыкающей к Малой Гоби-А, широко развита горнодобывающая деятельность, поэтому по территории между Малой Гоби-А и самой восточной строго охраняемой территорией Малой Гоби-Б интенсивно перемещается грузовой транспорт, перевозящий полезные ископаемые из Южной Гоби в Китай.

Сбор данных. В рамках более масштабного проекта (Augugliaro et al., 2019) мы разместили фотоловушки у двух существующих источников воды в самой восточной части Малой Гоби-А (рис. 1). Камеры были установлены 24 сентября 2017 года и оставлены до 20 октября в 24-часовом режиме работы, без какой-либо временной задержки между съемкой фотографий. Северный участок с фотоловушками (далее – участок А) находился в 20 км к западу от ближайшего пастушьего поселения и примерно в 24 км от северной границы охраняемой территории. На нем мы установили 2 камеры по обеим сторонам от искусственного водоема (пруда) диаметром около 20 м на момент установки ловушек; на момент изъятия ловушек диаметр водоема уменьшился примерно до 10 м (рис. 2). Пруд располагался на высоте 910 м н.у.м. БС, на открытой со всех сторон равнине. На южном участке (далее – участок Б) была установлена только одна фотоловушка. Участок Б находился в 21 км к югу от участка А, в 22 км от границы с Китаем и на высоте 1120 м н.у.м. БС – на низком предгорье. Камера была установлена напротив естественного водоема диаметром около 6 м на момент установки, который уменьшился до 2 м на момент изъятия камеры (рис. 2). На каждом участке мы использовали по одной ловушке Reconyx HC600 и добавочную ловушку Cuddeback Black Flash E3 на участке А, размещая их на крупных камнях примерно в 40 см от земли (Tobler et al., 2008). Виды определили по фото-данным, используя книгу N. Batsaikhan с соавторами (2014). На участке А были зарегистрированы только домашние копытные, а на участке Б – только дикие, поэтому пространственный анализ было решено не проводить.

Оценка временной активности и пересечения видов. Для каждого вида и участка набор данных фильтровался путем группировки всех обнаружений с интервалом менее 30 минут в общее событие для того, чтобы уменьшить количество псевдповторов (Meredith, Ridout, 2021). Ключевые виды (двугорбый верблюд, кулан и джейран) встречались более 20 раз, поэтому удалось осуществить дальнейший анализ данных (Ridout, Linkie, 2009). Активность разных видов во времени мы

анализированы с помощью метода *перекрывтия* в программном обеспечении R (Meredith, Ridout, 2021). Для того чтобы оценить, насколько случайной была активность каждого вида (Viviano et al., 2021), мы использовали метод однородности Германса-Рассона (Hermans-Rasson, r) с функцией *HR_test* из пакета *CircMLE* (Fitak, Johnsen, 2017). С помощью метода перекрывтия R и коэффициента перекрывтия (Δ) мы также количественно оценили перекрывтие моделей активности кулана и джейрана, которая вычисляется непараметрически с использованием ядерной оценки плотности (Schmid, Schmidt, 2006). Из-за полной пространственной сегрегации между дикими и домашними животными мы не смогли проанализировать перекрывтие активности диких копытных и домашних верблюдов. Коэффициент перекрывтия определяется как площадь под двумя кривыми ядерной плотности и изменяется в диапазоне от 0 (перекрывтие отсутствует) до 1 (полное перекрывтие; Ridout, Linkie, 2009).

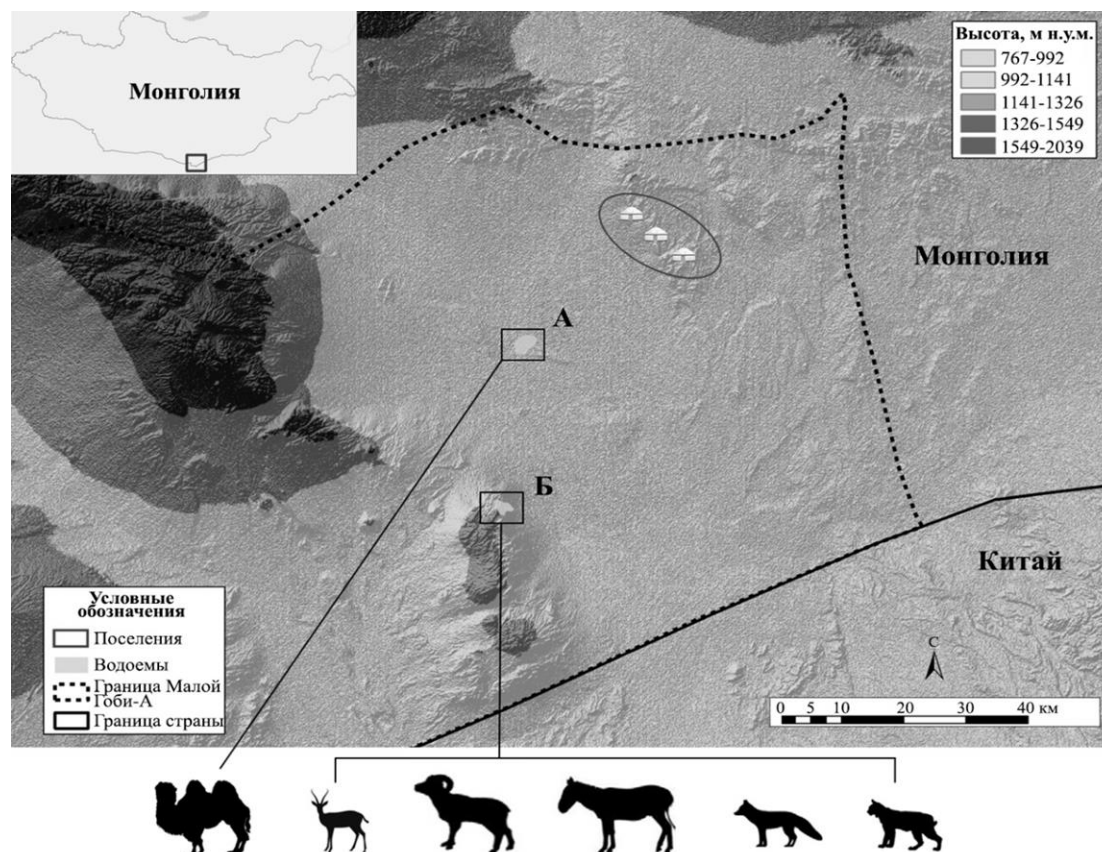


Рис. 1. Схематическая карта исследуемой строго охраняемой территории Малая Гоби-А с обозначением водоемов (участки А и Б). Для каждого участка схематически указаны встреченные животные (Augugliaro et al., 2019).

Мы использовали функцию “ Δ_1 ” для попарного сравнения, поскольку камеры зафиксировали менее 75 встреч джейранов (Ridout, Linkie, 2009; Meredith, Ridout, 2021). Временное перекрывтие получило оценку «очень низкое» с $\Delta \leq 0.35$, «низкое» с $0.35 < \Delta \leq 0.50$, «среднее» с $0.5 < \Delta \leq 0.75$ и «высокое» с $\Delta > 0.75$ (Monterroso et al., 2014; Sogliani et al., 2021). 95% доверительные интервалы коэффициента перекрывтия оценивались с помощью повторной выборки (10000 повторов) методом «бутстрэп» (Meredith, Ridout, 2021). В силу сугубо описательного характера таких оценок (без p ; Monterroso et al., 2014) мы использовали тест Мардиа-Уотсона-Уилера (Mardia-Watson-Wheeler, W), применив его с помощью пакета *circular* в программном обеспечении R (Mori et al., 2021; Panzeri et al., 2021), чтобы оценить, насколько существенно различалось время активности двух видов. Для оценки «вероятности того, что два набора круговых наблюдений происходят из одного распределения» был проведен дополнительный бутстрэп-тест (Rowcliffe et al., 2014), с использованием функции *compareSkern* из пакета *activity*.



Рис. 2. Участок А (вверху) – двугорбые верблюды на водопое, участок Б (внизу) – куланы на водопое на территории Малой Гоби-А.

Тест хи-квадрата использовали, чтобы узнать равномерность распределения встреч каждого вида соответственно лунным фазам (Viviano et al., 2021), оценивая каждый ловушко-день с помощью пакета *suncalc* и функции *getMoonIllumination* (Simmons et al., 2021). Лунные фазы мы классифицировали следующим образом: фаза 1 – от новолуния до $\frac{1}{4}$ луны (полученное значение лунной фазы (ЛФ): $0 < \text{ЛФ} \leq 0.125$ или $0.875 < \text{ЛФ} \leq 1$); 2 – от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ луны ($0.125 < \text{ЛФ} \leq 0.250$ или $0.750 < \text{ЛФ} \leq 0.875$); 3 – от $\frac{1}{2}$ до $\frac{3}{4}$ луны ($0.250 < \text{ЛФ} \leq 0.375$ или $0.625 < \text{ЛФ} \leq 0.750$); 4 – от $\frac{3}{4}$ до полнолуния ($0.375 < \text{ЛФ} \leq 0.5$ или $0.5 < \text{ЛФ} \leq 0.625$). Самые темные ночи приходились на фазы 1 и 2, самые светлые – на 3 и 4 (Panzeri et al., 2021; Viviano et al., 2021).

Функцию *getSunlightTimes* из пакета *suncalc* использовали, чтобы рассчитать средние значения рассвета и заката в период нашего исследования, что может быть полезно для разделения видов на ночных, дневных, сумеречных и катемеральных в зависимости от процентного соотношения наблюдений, зарегистрированных в дневной, ночной и сумеречный периоды (Azevedo et al., 2018; Houngbégnon et al., 2020).

Все анализы проводились с помощью программного обеспечения R версии 4.1.1 (R Development Core Team 2021).

Результаты и обсуждение

Учет проводился 56 ловушко-дней (N ловушек \times N дней работы ловушек). На участке Б были замечены только дикие животные (рис. 1): кулан, джейран, архан (*Ovis ammon* Linnaeus, 1758), обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758)), обыкновенная рысь (*Lynx lynx* Linnaeus, 1758). И, напротив, на участке А были замечены только домашние двугорбые верблюды (рис. 1). Встреч верблюдов оказалось больше всего ($N = 812$, где N – количество отдельных встреч), куланов – $N = 172$,

джейранов – $N=25$. На водопое верблюды оказались катемеральными животными (34% дневных встреч, 23% сумеречных и 43% ночных), тогда как джейраны были по большей части дневными (80% дневных встреч; рис. 3). Кроме того, у верблюдов наблюдалось повышение активности на закате. Куланы, наоборот, оказались по большей части ночными (72% ночных встреч; рис. 3).

За время исследования тест Германса-Рассона выявил неслучайный характер активности на водопое для всех видов ($p < 0.001$; $r = 31.38$ у куланов, $r = 29.12$ у джейранов, $r = 456.70$ у верблюдов). На участке Б мы обнаружили «очень низкое» симпатрическое перекрытие времени посещения водопоя у куланов и джейранов (рис. 3). Кроме того, тест Мардиа-Уотсона-Уилера показал значительные различия между временем активности диких копытных ($p < 0.001$; куланджейран – $W = 31.83$). На водопое активность куланов существенно различалась по лунным фазам, с пиком в самые светлые ночи (фазы 3 и 4; $\chi^2 = 11.57$, $df = 1$, $p < 0.001$). И наоборот, активность джейранов и домашних верблюдов на водопое, по-видимому, не зависит от уровня ночного освещения ($\chi^2 = 1.01$, $df = 1$, $p = 0.31$; $\chi^2 = 0.38$, $df = 1$, $p = 0.53$).

Полученные данные подчеркнули факт полной пространственной сегрегации между дикими и домашними копытными. Дикие виды сосуществовали на одном участке, регулируя режим своей активности, чтобы уменьшить перекрытие друг с другом и, соответственно, конкуренцию за воду. Пространственная сегрегация между дикими и домашними видами у водоемов наблюдалась и в других исследованиях, проводившихся в аридных условиях (Ostermann-Kelm et al., 2008; Gooch et al., 2017), однако результаты таких исследований контрастны, поскольку пространственно-временная сегрегация может зависеть от топографии участков, а также от сезонных размеров водоемов. Например, у диких лошадей и местных копытных наблюдалась сегрегация в районах без человеческих поселений (Hall et al., 2016). Известно, что в Западной Гоби куланы и домашний скот используют одни и те же водоемы, гармонично сосуществуя за счет сегрегации по времени (Payne et al., 2021).

Мы предполагаем, что захват двугорбыми верблюдами водоема на участке А привел к полной пространственной сегрегации диких копытных, что свидетельствует о высоком уровне конкуренции (Hennig et al., 2021). Такие выводы подтверждают наш первоначальный прогноз о существовании низкой прямой конкуренции, которая обусловлена стремлением видов избегать друг друга, и подчеркивают, что постоянное присутствие крупного домашнего конкурента на водопое может привести к его изоляции от диких животных, нуждающихся в воде в столь суровых условиях. Полученные нами результаты подтверждаются результатами других исследований, в которых было зафиксировано, что куланы и джейраны подвергаются негативному влиянию деятельности человека и присутствия домашнего скота в пустыне Гоби (Kaczensky et al., 2011; Shuveibaatar et al., 2016), особенно осенью (Tsendjav, Purevsuren, 2007) в связи с сокращением размеров водоемов и дефицитом снега, – явления, которые мы наблюдали в период наших исследований.

В районе нашей работы на участке А верблюды занимали водоемы вблизи пастушьих поселений в пределах охраняемой территории. Вследствие этого дикие копытные предпочли водоем на участке Б, который защищен горами и расположен дальше от людских поселений (Yoshihara et al., 2008; Sheehy et al., 2010). Дальнейшие исследования должны быть связаны с распределением диких копытных вокруг источников воды, которые до них использовали пастухи, и учитывать систему ротационного выпаса скота, принятую в кочевых семьях Монголии.

В нашем исследовании в отличие от других работ у джейранов наблюдалась четкая суточная динамика на водопоях, похожая на динамику, которую наблюдали в регионах Китая (Xue et al., 2018). Такой временной режим может быть связан с небольшим размером водоема и ночным присутствием более крупных конкурентов – куланов. Поскольку участок Б является одним из редких источников воды в восточной части Малой Гоби-А, джейраны могли адаптировать свой режим так, чтобы пользоваться им без фактора беспокойства со стороны других видов.

Наши результаты исследования временной активности куланов контрастируют с результатами других исследований, в которых наблюдалось отсутствие ярко выраженного суточного или ночного режима, менявшегося только при возникновении внешних угроз (Kaczensky et al., 2010, 2021). Район наших исследований находится в непосредственной близости от границы с Китаем, т.е. на территории, на которой не ведется фактическая охрана дикой природы и которая, возможно, критически важна для миграций диких копытных. Известно, что в Малой Гоби-А в Монголии имели

место эпизоды браконьерства (Stubbe et al., 2012), что также могло повлиять на временной режим куланов, поскольку на исследованных водопоях их активность была максимальной в светлые ночи. Помимо потенциальной угрозы от человека днем, на активность куланов также могут влиять крупные хищники, например, волк (*Canis lupus* Linnaeus, 1758), плотность присутствия которого, однако, в данном районе крайне низка (Augugliaro et al., 2019). В отличие от других мелких млекопитающих, более активных в темные ночи, когда проще избегать естественных хищников (Kotler et al., 2010; Panzeri et al., 2021), в светлые ночи, когда браконьерская деятельность, скорее всего, незначительна, кулану практически ничего не угрожает.

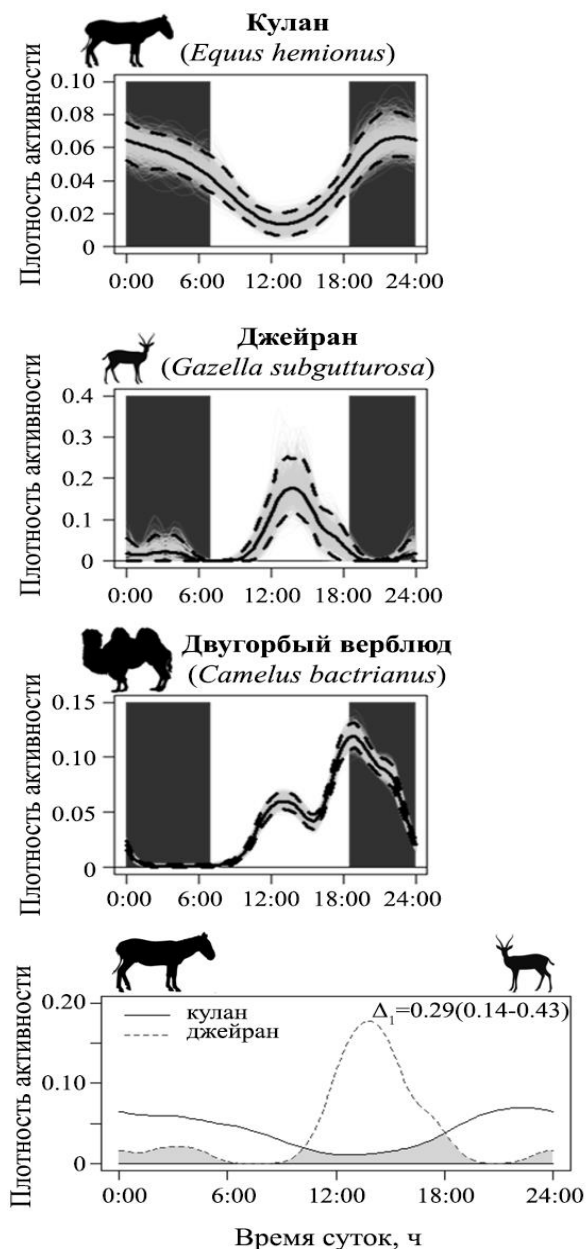


Рис. 3. Оценка плотности суточной активности 3 видов копытных на водопоях Малой Гоби-А, Монголия; восход солнца – примерно в 07:00, заход солнца – примерно в 18:30 (по местному солнечному времени). В нижней части рисунка показано временное перекрытие использования водопоя куланами и джейранами, коэффициент перекрытия (серый фон) указан с 95% доверительным интервалом. Условные обозначения: темные вертикальные прямоугольники – темные часы, серый фон и линии вокруг и внутри пунктирных линий – оценки режимов активности по бутстрэп-методу, пунктирные линии – 95% доверительных интервалов.

Как мы и предполагали, сосуществование диких копытных оказалось возможным благодаря временной сегрегации. Хотя о взаимодействии куланов и джейранов известно немного, сегрегация среди других диких копытных наблюдалась на водоемах аридных территорий. Y. Zhang с соавторами (2015) наблюдали сильное пространственное перекрытие между куланами и лошадьми Пржевальского, которые подходили на водопой в разное время суток. Также авторы отметили, что, несмотря на редкие встречи данных видов, у лошадей в отличие от куланов наблюдался приоритетный доступ к воде, вплоть до того, что куланам приходилось ожидать своей очереди в стороне во избежание прямой конкуренции (Zhang et al., 2015). Подобное поведение также было зарегистрировано J.D. Hennig с коллегами (2021), которые сообщили, что более агрессивные и доминирующие виды имеют приоритетный доступ к воде. Однако такое поведение является не временной сегрегацией на ландшафтном уровне, а, скорее, разделением по времени (Hall et al., 2016). Различное использование водоемов во времени также наблюдалось у диких копытных в аридном регионе гор Алтынтаг в Китае, где более мелкие копытные изменяли свой режим, чтобы избежать прямой конкуренции (Xue et al., 2018).

Также имеются свидетельства пространственного перекрытия между куланами и джейранами, что соответствует нашим результатам (Buuveibaatar et al., 2016; Nandintsetseg et al., 2016; Payne et al., 2021). D.A. Blank (2020) обнаружил в национальном парке «Алтын-Эмель» в Казахстане, что джейраны не видят угрозы в присутствии куланов, а потому не меняют своего режима. Это позволяет предположить, что между данными видами в обычных условиях с достаточными ресурсами конкуренция отсутствует. В нашем исследовании конкуренцию мог обострять малый размер источников воды. Мы считаем, что временная сегрегация является эффективным вариантом для ограничения межвидовой конкуренции, позволяющим симпатрическим диким копытным сосуществовать в любых ситуациях, когда водные ресурсы сильно ограничены.

В данной работе в связи с небольшим количеством водоемов в Малой Гоби-А мы оценивали только два удаленных друг от друга водоема, находящихся в ограниченных экологических условиях, определяющих поведение разных видов. Для более глубокого понимания режимов активности копытных необходимо оценить территорию больших масштабов, с большим количеством водоемов вне охраняемой зоны, распределенных соответственно различным биологическим и топографическим характеристикам.

Выводы

В заключение мы предлагаем более комплексный и систематический подход к оценке режима активности и поведения пустынных копытных в Малой Гоби-А в частности и в пустынной среде в целом, который заострит отдельное внимание на связях между разными источниками воды.

Мы считаем, что имеет смысл проводить образовательные кампании для информирования местных пастухов, в т.ч. в вопросах по контролю свободно пасущихся животных (например, верблюдов или домашних хищников, таких как собаки). Мы предлагаем ограничивать доступ скота к и без того лимитированному числу искусственных водоемов вблизи населенных пунктов, чтобы уменьшить их конкуренцию за воду с дикими копытными и благоприятствовать пространственной сегрегации диких и домашних видов для снижения их риска заражения патогенами.

Благодарности. Мы выражаем благодарность правительству района Баян-Овоо за помощь с полевыми работами. Мы благодарим администрацию особо охраняемой территории Малая Гоби-А и Министерство среды и туризма за их поддержку. Мы также благодарны мистеру Баткуягу из «Wildlife Initiative» за его вклад в сбор данных. Кроме того, мы благодарим Кафедру экологии и эволюции Лозанского университета, которая предоставила нам фотоловушки, и Манхоён Суваргу за финансирование.

Вклад авторов. Ф. Раймонди и Д. Сольяни внесли равноценный вклад в данную работу и написали первый вариант этой статьи; Д. Сольяни были проанализированы данные и составлены рисунки; М. Чимини был проведен ГИС-анализ и составлены рисунки; С. Аугульяро было разработано данное исследование, осуществлено руководство и получено финансирование. С. Аугульяро и Л. Атцени переработали и отредактировали первый вариант этой статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Augugliaro C., Paniccia C., Janchivlamdan C., Monti I.E., Boldbaatar T., Munkhtsog B.* 2019. Mammal Inventory in the Mongolian Gobi, with the Southeasternmost Documented Record of the Snow Leopard, *Panthera uncia* (Schreber, 1775), in the Country // *Check List*. Vol. 15. No. 4. P. 565-578.
- Azevedo F.C., Lemos F.G., Freitas-Junior M.C., Rocha D.G., Azevedo F.C.C.* 2018. Puma Activity Patterns and Temporal Overlap with Prey in a Human-modified Landscape at Southeastern Brazil // *Journal of Zoology*. Vol. 305. No. 4. P. 246-255.
- Batsaikhan N., Buuveibaatar B., Chimed B., Von Wehrden H., Whitten T.* 2014. Conserving the World's Finest Grassland amidst Ambitious National Development // *Conservation Biology*. No. 28. P. 1736-1739.
- Berger J., Buuveibaatar B., Mishra C.* 2013. Globalization of the Cashmere Market and the Decline of Large Mammals in Central Asia // *Conservation Biology*. Vol. 27. No. 4. P. 679-689.
- Blank D.A.* 2020. Behavioral Responses of Goitered Gazelles to Potential Threats // *Mammal Research*. Vol. 65. No. 4. P. 141-149.
- Buuveibaatar B., Mueller T., Strindberg S., Leimgruber P., Kaczensky P., Fuller T.K.* 2016. Human Activities Negatively Impact Distribution of Ungulates in the Mongolian Gobi // *Biological Conservation*. No. 203. P. 168-175.
- Buuveibaatar B., Strindberg S., Kaczensky P., Payne J., Chimeddorj B., Naranbaatar G., Fuller T.* 2017. Mongolian Gobi Supports the World's Largest Populations of Khulan *Equus hemionus* and Goitered Gazelles *Gazella subgutturosa* // *Oryx*. Vol. 51. No. 4. P. 639-647.
- Dorj O., Enkhbold M., Lkhamyanjin S., Mijiddorj K., Nosmoo A., Puntsagnamil M., Sainjargal U.* 2013. Mongolia: Country Features, the Main Causes of Desertification and Remediation Efforts // *Combating Desertification in Asia, Africa and the Middle East*. Springer, Dordrecht. P. 217-229.
- Edwards S., Gange A.C., Wiesel I.* 2015. Spatiotemporal Resource Partitioning of Water Sources by African Carnivores on Namibian Commercial Farmlands // *Journal of Zoology*. Vol. 297. No. 1. P. 22-31.
- Fitak R.R., Johnsen S.* 2017. Bringing the Analysis of Animal Orientation Data Full Circle: Model-based Approaches with Maximum Likelihood // *The Journal of Experimental Biology*. Vol. 220. No. 21. P. 3878-3882.
- Gooch A.M., Petersen S.L., Collins G.H., Smith T.S., McMillan B.R., Eggett D.L.* 2017. The Impact of Feral Horses on Pronghorn Behavior at Water Sources // *Journal of Arid Environments*. No. 138. P. 38-43.
- Hall L.K., Larsen R.T., Westover M.D., Day C.C., Knight R.N., McMillan B.R.* 2016. Influence of Exotic Horses on the Use of Water by Communities of Native Wildlife in a Semi-arid Environment // *Journal of Arid Environments*. No. 127. P. 100-105.
- Hennig J.D., Beck J.L., Gray C.J., Scasta J.D.* 2021. Temporal Overlap among Feral Horses, Cattle, and Native Ungulates at Water Sources // *The Journal of Wildlife Management*. No. 85. P. 1084-1090.
- Houngbégnon F.G.A., Cornelis D., Vermeulen C., Sonké B., Ntie S., Fayolle A., Fonteyn D., Lhoest S., Evrard Q., Yapi F., Sandrin F., Vanegas L., Ayaya I., Hardy C., Le Bel S., Doucet J.-L.* 2020. Daily Activity Patterns and Co-Occurrence of Duikers Revealed by an Intensive Camera Trap Survey across Central African Rainforests // *Animals*. Vol. 10. No. 12. P. 2200.
- Ito T.Y., Lhagvasuren B., Tsunekawa A., Shinoda M., Takatsuki S., Buuveibaatar B., Chimeddorj B.* 2013. Fragmentation of the Habitat of Wild Ungulates by Anthropogenic Barriers in Mongolia // *PLoS ONE*. Vol. 8. No. 2. P. e56995.
- IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species [Available at <https://www.iucnredlist.org> (Date of Access 30/03/2022)].
- Kaczensky P., Dresley V., Vetter D., Otgonbayar H., Walzer C.* 2010. Water Use of Asiatic Wild Asses in the Mongolian Gobi // *Exploration into the Biological Resources of Mongolia*. Vol. 11. P. 291-298.
- Kaczensky P., Enkhsaikhan N., Ganbaatar O., Walzer C.* 2017. Identification of Herder-wild Equid Conflicts in the Great Gobi B Strictly Protected Area in SW Mongolia // *Exploration into the Biological Resources of Mongolia*. Vol. 10. P. 99-116.
- Kaczensky P., Kuehn R., Lhagvasuren B., Pietsch S., Yang W., Walzer C.* 2011. Connectivity of the Asiatic Wild Ass Population in the Mongolian Gobi // *Biological Conservation*. Vol. 144. No. 2. P. 920-929.
- Kaczensky P., Lhagvasuren B., Pereladova O., Hemami M., Bouskila A.* 2015. *Equus hemionus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. P. e.T7951A45171204.
- Kaczensky P., Payne J., Ganbaatar O., Altansukh N., Walzer C.* 2021. Water Use by Khulan in the Dzungarian Gobi in SW Mongolia // *Exploration into the Biological Resources of Mongolia*. Halle/Saale, Germany. Vol. 14. P. 27-38.
- Kaczensky P., Sheehy D.P., Johnson D.E., Walzer C., Lhagvasuren B., Sheehy C.M.* 2006. Room to Roam? The Threat to Khulan (Wild Ass) from Human Intrusion. *Mongolia Discussion Papers*. Washington, D.C: World Bank. 69 p.
- Kotler B.P., Brown J., Mukherjee S., Berger-Tal O., Bouskila A.* 2010. Moonlight Avoidance in Gerbils Reveals a Sophisticated Interplay among Time Allocation, Vigilance and State-dependent Foraging // *Proceedings of the Biological Sciences*. Vol. 277. No. 1687. P. 1469-1474.

- Liu Q., Liu G., Huang C. 2018. Monitoring Desertification Processes in Mongolian Plateau using MODIS Tasseled Cap Transformation and TGSi Time Series // Journal of Arid Land. Vol. 10. No. 1. P. 12-26.
- Mallon D.P., Zhigang J. 2009. Grazers on the Plains: Challenges and Prospects for Large Herbivores in Central Asia // Journal of Applied Ecology. No. 46. P. 516-519.
- Meng X., Gao, X., Li S., Li S., Lei J. 2021. Monitoring Desertification in Mongolia Based on Landsat Images and Google Earth Engine from 1990 to 2020 // Ecological Indicators. No. 129. P. 107908.
- Meredith M., Ridout M. 2021. Overview of the overlap package [Available at <https://cran.r-project.org/web/packages/overlap/vignettes/overlap.pdf> (Date of Access 30/03/2022)].
- Michler L.M., Kaczensky P., Ganbaatar O., Treydte A.C. 2021. On the Move—Do Domestic and Wild Ungulate Species Distributions Overlap in the Mongolian Gobi? // International Grassland Congress Proceedings. XXIV International Grassland Congress / XI International Rangeland Congress. 4 p.
- Monterroso P., Alves P.C., Ferreras P. 2014. Plasticity in Circadian Activity Patterns of Mesocarnivores in Southwestern Europe: Implications for Species Coexistence // Behavioral Ecology and Sociobiology. Vol. 68. No. 9. P. 1403-1417.
- Mori E., Paniccchia C., Munkhtsog B., Cicero M., Augugliaro C. 2021. Temporal Overlap Among Small- and Medium-sized Mammals in a Grassland and a Forest–Alpine Meadow of Central Asia // Mammalian Biology. Vol. 101. No. 2. P. 153-162.
- Nagy-Reis M.B., Iwakami V.H.S., Estevo C.A., Setz E.Z.F. 2019. Temporal and Dietary Segregation in a Neotropical Small-felid Assemblage and Its Relation to Prey Activity // Mammalian Biology. No. 95. P. 1-8.
- Nandintsetseg D., Kaczensky P., Ganbaatar O., Leimgruber P., Mueller T. 2016. Spatiotemporal Habitat Dynamics of Ungulates in Unpredictable Environments: The Khulan (*Equus hemionus*) in the Mongolian Gobi Desert as a Case Study // Biological Conservation. No. 204. P. 313-321.
- Nasanbat B., Ceacero F., Ravchig S. 2016. A Small Neighborhood Well-organized: Seasonal and Daily Activity Patterns of the Community of Large and Mid-sized Mammals around Waterholes in the Gobi Desert, Mongolia // Frontiers in Zoology. No. 18. P. 25.
- Olson K.A., Mueller T., Kerby J.T., Bolortsetseg S., Leimgruber P., Nicolson C., Fuller T.K. 2011. Death by a Thousand Huts? Effects of Household Presence on Density and Distribution of Mongolian Gazelles // Conservation Letters. Vol. 4. P. 304-312.
- Ostermann-Kelm S., Atwill E.R., Rubin E.S., Jorgensen M.C., Boyce W.M. 2008. Interactions Between Feral Horses and Desert Bighorn Sheep at Water // Journal of Mammalogy. Vol. 89. P. 459-466.
- Panzeri M., Mazza G., Bisi F., Mori E. 2021. Patterns of Spatiotemporal Activity of an Alien Lagomorph Inferred through Camera-trapping // Mammal Research. Vol. 66. No. 2. P. 281-288. <https://doi.org/10.1007/s13364-021-00557-8>
- Payne J.C., Buuveibaatar B., Bowler D.E. 2021. Hidden Treasure of the Gobi: Understanding How Water Limits Range Use of Khulan in the Mongolian Gobi // Scientific Reports. Vol. 10. No. 1. P. 1-13.
- Reading R.P., Henry M., Lhagvasuren B., Feh C., Kane D.P., Dulamtseren S., Enkhbold S. 2001. Status and Distribution of Khulan (*Equus hemionus*) in Mongolia // Journal of Zoology. Vol. 254. No. 3. P. 381-389.
- Ridout M.S., Linkie M. 2009. Estimating Overlap of Daily Activity Patterns from Camera Trap Data // Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics. Vol. 14. No. 3. P. 322-337.
- Rovero F., Augugliaro C., Havmøller R., Groff C., Zimmermann F., Oberosler V., Tenan S. 2020. Co-occurrence of Snow Leopard Panthera Uncia, Siberian Ibex *Capra sibirica* and Livestock: Potential Relationships and Effects // Oryx. Vol. 54. No. 1. P. 118-124.
- Rowcliffe J.M., Kays R., Kranstauber B., Carbone C., Jansen P.A. 2014. Quantifying Levels of Animal Activity using Camera Trap Data // Methods in Ecology and Evolution. Vol. 5. No. 11. P. 1170-1179.
- Salvatori M., Tenan S., Oberosler V., Augugliaro C., Christe P., Groff C., Rovero F. 2021. Co-occurrence of Snow Leopard, Wolf and Siberian Ibex under Livestock Encroachment into Protected Areas across the Mongolian Altai // Biological Conservation. Vol. 261. No. 3. P. 109294.
- Schmid F., Schmidt A. 2006. Nonparametric Estimation of the Coefficient of Overlapping—Theory and Empirical Application // Computational Statistics & Data Analysis. Vol. 50. No. 6. P. 1583-1596.
- Sheehy D., Sheehy C., Johnson D., Damiran D., Fiamengo M. 2010. Mongolia: Livestock and Wildlife in the Southern Gobi Region, with Special Attention to Wild Ass. World Bank, Washington, DC. 106 p.
- Simmons O.M., Gregory S.D., Gillingham P.K., Riley W.D., Scott L.J., Britton J.R. 2021. Biological and Environmental Influences on the Migration Phenology of Atlantic Salmon *Salmo salar* Smolts in a Chalk Stream in Southern England // Freshwater Biology. Vol. 66. No. 8. P. 1581-1594.
- Sogliani D., Cerri J., Turetta R., Crema M., Corsini M., Mori E. 2021. Feral Rabbit Populations in a Peri-urban Area: Insights about Invasion Dynamics and Potential Management Strategies // European Journal of Wildlife Research. Vol. 67. No. 3. 60 p.
- Stubbe A., Stubbe M., Batsaikhan N., Samjaa R. 2012. Long-Term Ecology of Asiatic Wild Ass (*Equus h. hemionus* Pallas) in Central Asia // Exploration into the Biological Resources of Mongolia. Vol. 12. P. 61-76.

- Tobler M.W., Carrillo-Percastegui S.E., Pitman L.R., Mares R., Powell G. 2008. An Evaluation of Camera Traps for Inventorying Large- and Medium-sized Terrestrial Rainforest Mammals // *Animal Conservation*. Vol. 11. P. 169-178.
- Torretta E., Serafini M., Puopolo F. 2016. Spatial and Temporal Adjustments Allowing the Coexistence among Carnivores in Liguria (N-W Italy) // *Acta Ethologica*. No. 19. P. 123-132.
- Tsendjav D., Purevsuren S. 2007. Some Information on the Ecology of the Khulan (*Equus hemionus* Pallas 1775 in the Western Part of the South Gobi Province Mongolia // *Exploration into the Biological Re-sources of Mongolia (Halle/Saale)*. No. 10. P. 61-8.
- Viviano A., Mori E., Fattorini N., Mazza G., Lazzeri L., Panichi A., Strianese L., Mohamed W.F. 2021. Spatiotemporal Overlap between the European Brown Hare and Its Potential Predators and Competitors // *Animals*. Vol. 11. No. 2.
- Wakefield S., Attum O. 2006. The Effects of Human Visits on the Use of a Waterhole by Endangered Ungulates // *Journal of Arid Environments*. Vol. 65. No. 4. P. 668-672.
- Wang J., Wei H., Cheng K., Ochir A., Davaasuren D., Li P., Nasanbat E. 2020. Spatio-temporal Pattern of Land Degradation from 1990 to 2015 in Mongolia // *Environmental Development*. Vol. 34. P. 100497.
- Weischet W., Endlicher W. 2020. Regionale Klimatologie. Bd. 2. Die Alte Welt (Europa, Afrika, Asien). Teubner Stuttgart-Leipzig. 625 p.
- Von Wehrden H., Wesche K., Miehe G. 2009. Plant Communities of the Southern Mongolian Gobi // *Phytocoenologia*. Vol. 39. No. 3. P. 331-376.
- Xue Y., Li J., Sagen G. 2018. Activity Patterns and Resource Partitioning: Seven Species at Watering Sites in the Altun Mountains, China // *Journal of Arid Land*. Vol. 10. P. 959-967.
- Yoshihara T., Ito T.Y., Lhagvasuren B., Takatsuki T. 2008. A comparison of food resources used by Mongolian gazelles and sympatric livestock in three areas in Mongolia // *Journal of Arid Environments*. Vol. 72. No. 1. P. 48-55.
- Zhang Y., Cao Q.S., Rubenstein D.I., Zang S., Songer M., Leimgruber P. 2015. Water Use Patterns of Sympatric Przewalski's Horse and Khulan: Interspecific Comparison Reveals Niche Differences // *PLoS ONE*. Vol. 10. No. 7. P. e0132094.
- Zolotokrylin A.N., Gunin P.D., Titkova T.B., Bazha S.N., Danzhalova E.V., Kazantseva T.I. 2016. Diagnosis of the Desertification Dynamics of Arid Pastures in Mongolia from Observation in Key Areas and MODIS Data // *Arid Ecosystems*. Vol. 6. No. 3. P. 149-157.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ СТЕПНОГО СУРКА
В ЮЖНОМ ПРЕДУРАЛЬЕ В УСЛОВИЯХ ЗАПОВЕДНОГО РЕЖИМА**

© 2023 г. О.В. Сорока

Институт степи Уральского отделения РАН

Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, д. 11. E-mail: soroка-olga@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2023. После доработки 01.04.2023. Принята к публикации 04.04.2023.

В статье представлены данные о распространении степного сурка *Marmota bobak* Müll, 1776 на участке «Буртинская степь» государственного природного заповедника «Оренбургский» (Оренбургская область, Беляевский район), начиная с его организации и до настоящего времени. Исследования проводились автором в 1998-2001 и 2021-2022 гг., также использованы сведения по учету численности степного сурка из архива заповедника. Проведено картирование всех жилых колоний степного сурка и семей в них, подсчитаны площади семейных участков. Статистическую обработку результатов наблюдений проводили с использованием компьютерной программы STATISTICA 10.0.1011. Пространственная структура популяции, сложившаяся еще до организации заповедника, сохраняется с небольшими изменениями уже более 30 лет. В первые годы (1989-1990 гг.) на территории участка отмечались восемь сравнительно небольших поселений. С 1996 года выделены 10 колоний, а в 1999 году на них было отмечено 75 жилых семейных участков. К 2003 году территории колоний были полностью освоены, сурки заняли старые, брошенные норы в пределах выделенных колоний и число семей на участке увеличилось до 106. В течение последующих девяти лет число семей оставалось стабильным, после чего началось снижение их числа: к 2017 году жилыми оставались только 55 семей. В настоящее время наблюдается постепенный рост числа семей в Буртинской степи; по результатам картирования в 2022 году отмечены 74 семьи.

Ключевые слова: степной сурок, участок «Буртинская степь», заповедник «Оренбургский», пространственная структура, колония, семья, семейный участок.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-92-99

EDN: JRHAF A

Ареал степного сурка *Marmota bobak* Müll, 1776 охватывает пояс равнинных и горных степей Северной Евразии, включая территорию Оренбургской области, где он ограниченно населяет холмисто-увалистые равнины Общего Сырта, остепненные речные долины и безлесные склоны низкогорий Уральских гор, а также степи Буртинского и Урало-Тобольского плато, Орской и Тургайской равнин. Мозаичность распространения связана с распашкой, антропогенной трансформацией ландшафтов, браконьерством (Руди, 1997). Сохранению этого вида в области способствовало запрещение добычи в 60-70-е годы прошлого столетия, работы по реаклиматизации, создание заказников и организация в 1989 году государственного заповедника «Оренбургский», в котором степной сурок населяет все участки.

По мнению многих исследователей, местообитания без выпаса скота являются малопродуктивными для обитания данного вида (Абеленцев и др., 1961; Никольский, Савченко, 2002; Токарский и др., 2011; Харченко, Леженин, 2012; Жалилов, Андрейчев, 2015; Ronkin et al., 2017; Lazariev, 2020). Наличие выпаса крупных копытных улучшает кормовые качества растительного покрова для степного сурка, увеличивается доля и доступность поедаемых видов, обеспечивается непрерывная вегетация растений на протяжении всего периода активности сурков (Ронкин, 2003). С другой стороны, сурки сами могут оказывать воздействие на растительный покров на значительной площади вокруг нор – от минимального (разреживание покрова) до существенного (смена видового состава, полный сбой всего растительного покрова вокруг гнездовых нор; Шаталин и др., 2020).

В первые годы существования заповедника (1989-1990 гг.) на территории участка «Буртинская степь» выделялись два сравнительно небольших очага, а остальные локальные поселения, меньшие

по размерам, были разбросаны по территории участка (Гейде, 1991). Позднее (1998-2001 гг.) нами было описано территориальное распределение сурков на территории участка, проведен учет численности (Сорока, 2001). Было показано, что численность степного сурка на территории, изъятой из хозяйственного использования, за 10 лет увеличилась почти в 4 раза.

Поскольку степной сурок относится к числу характерных представителей степной фауны, наблюдение за состоянием его популяций является важным направлением мониторинговых исследований, особенно в заповедных условиях. Динамика пространственного распределения степного сурка может быть показателем динамических процессов, происходящих в степных экосистемах.

Основная цель работы заключалась в изучении многолетней динамики и современного распространения степного сурка на территории участка «Буртинская степь» государственного природного заповедника «Оренбургский».

Материалы и методы

В основу настоящей статьи положены данные, полученные автором в 1998-2001 и 2021-2022 гг., а также сведения по учету степного сурка из архива заповедника «Оренбургский». Наблюдения за степными сурками проводили в Беляевском районе Оренбургской области на территории участка «Буртинская степь» государственного природного заповедника «Оренбургский».

Площадь участка «Буртинская степь» 45 км². Географическое положение территории определяет континентальность её климата с сухим жарким летом (t июля: +22.0°C), холодной суровой зимой (t января: -15.8°C), значительной суммой среднесуточных температур более +10°C (+2600°) и среднегодовым количеством осадков 327 мм. Территория представляет сложный комплекс эрозионно-останцовых массивов Муылды, Кармен и разделяющих их обширных холмисто-увалистых пространств с перепадом абсолютных высот от 230 до 420.9 м н.у.м. БС. Относительные высоты увалов колеблются от 10 до 160 м. Преобладающими горными породами являются пестро- и красноцветные конгломераты с прослойками песчаников, относящиеся к нижнему триасу и более молодые среднеюрские галечники и глины; повсеместно развиты четвертичные элювиально-делювиальные, делювиальные и ложковые отложения мощностью от 0.5 до 5.0 м (Степной заповедник ..., 1996). Почвы участка представлены черноземами южными (обычными), карбонатными, неполноразвитыми. Все они характеризуются укороченным почвенным профилем и наличием щебенки (гальки) с поверхности и по всему профилю (Красная книга почв ..., 2001).

В ботанико-географическом отношении Буртинская степь расположена в подзоне разнотравно-дерновиннозлаковых Заволжско-Казахстанских степей (Зоны и типы поясности ..., 1999; Сафронова, Калмыкова, 2012). Растительный покров Буртинской степи довольно разнообразен. Господствуют степи. Наиболее распространенными на данном участке являются залесскоковыльные степи (*Stipeta zaleskii*). Нередки степи с кустарниками, кустарниковые степи и заросли кустарников. Характерны фитоценозы, развивающиеся в понижениях рельефа: в неглубоких логгах – степные сообщества с обильным ксеромезофитным и мезофитным разнотравьем, а в оврагах и балках – луга, осинового и березово-осинового колки. По берегам ручьев и в местах близкого залегания грунтовых вод формируются луга и черноольшаники (Калмыкова, 2012).

Участок «Буртинская степь» выделен из состава земель трех совхозов. Основная часть территории использовалась под сенокосы и пастбища. Значительные количества щебня на поверхности почвы не позволили использовать территорию под пашню. Пастбищная нагрузка была значительной – до 8 гуртов овец и крупного рогатого скота. Скот выпасался в основном на склонах водосборов и в лощинах. Наблюдался значительный скотосбой у летних стоянок скота и мест водопоя.

Все жилые колонии степного сурка и отдельные семьи мы фиксировали и наносили на карту-схему в масштабе 1:2000. На каждой колонии картировали расположение всех встреченных нор и соединяющих их тропинок, отмечали характер нор. Расположение зимних нор уточнялось в 1999 году с помощью спутникового навигатора GPS-12, а в 2022 году с помощью мобильного приложения NextGIS Mobile.

Площади семейных участков мы высчитывали по картам-схемам, ограничивая их по сети тропинок и крайним защитным норам с учетом максимального расстояния, на которое удаляются

от них сурки. Семейный участок изображали в виде полигона, проводя границы по внешним сторонам периферических квадратов. В результате площадь семейного участка состояла из суммы площадей всех квадратов координатной сетки. Площадь колонии считали равной сумме площадей семейных участков, за вычетом непригодной и неиспользуемой сурками территории. Статистическую обработку результатов наблюдений проводили с использованием компьютерной программы STATISTICA 10.0.1011.

Результаты и обсуждение

В 1990 году на территории участка «Буртинская степь» было выявлено два сравнительно небольших поселения степного сурка, а шесть остальных, меньших по размерам, были разбросаны по территории участка. Общая численность обитавших здесь сурков оценивалась в 100-120 особей (Гейде, 1991). В 1996 году на территории участка были выделены 10 жилых колоний, практически без существенных изменений сохраняющиеся на протяжении всех последующих лет (рис.). Колонии небольшие по площади, довольно сильно разбросаны территориально, что свидетельствует о том, что далеко не вся территория удовлетворяет экологическим потребностям животных. Согласно принятой классификации (Бибиков, 1989; Машкин, 1997), такой тип поселений относится к очаговому или мозаичному. Основными биотопами, которые сурки заселили на участке, являются слабополгие волнисто-увалистые склоны балок с разнотравно-ковыльно-типчачковыми и каменистыми степями на маломощных южных черноземах.

В 1999 году было зафиксировано 75 семей степного сурка, к 2003 году их число увеличилось до 106. В этот период максимальная численность сурка на участке достигла 400 особей, они занимали старые, ранее брошенные норы в пределах выделенных колоний. В течение последующих девяти лет число семей оставалось стабильным, после чего начиная с 2012 года стало снижаться и в период с 2017 по 2019 гг. достигло минимального за все время наблюдений значения – 55 семей. В 2022 году при повторном картировании гнездовых семейных нор на участке были отмечены 74 семьи. Ниже приводится более детальное описание пространственного распределения сурков в пределах каждой колонии.

Колония № 1 расположена вдоль южной границы участка на нижних и средних, наиболее пологих частях склонов правого берега балки ручья Дусансай. С южной стороны колонию ограничивает овраг, с северной, западной и восточной сторон территория окружена более крутыми склонами (крутизна – около 40-50°) с выходами останцов. Биотопом являются волнисто-увалистые степи на южных маломощных щебенчатых среднесуглинистых черноземах. В растительном покрове преобладают овсецовые (*Helictotricheta desertorum*) степи, наряду с которыми характерны сообщества ковылковой формации (*Stipeta lessingiana*), пятнами встречаются галофитные и петрофитные варианты типчачковых (*Festuceta valesiaca*) и мохнатогрудницевых (*Galatellata villosae*) степей (Калмыкова, 2008). Территория колонии раньше использовалась под выпас.

За весь период наблюдений в пределах колонии максимально было отмечено 10 жилых семей. Это же число семей отмечено в 2022 году. Однако в пределах колоний произошло перераспределение жилых участков: четыре семейных участка оказались заброшены, входы в гнездовые норы засыпаны, а одна из семейных нор освоена барсуком, но расчищены и заселены четыре ранее пустовавших участка. Площадь колонии – примерно 0.45 км².

Колония № 2 расположена в 500 м к юго-востоку от колонии № 1 выше по течению балки Дусансай и отграничена от последней оврагом Кулинсай. Зрительно-звуковая связь с обозначенной колонией отсутствует. Почвы – чернозем южный маломощный щебенчатый среднесуглинистый в сочетании с лугово-черноземной среднемошной среднесуглинистой почвой (Красная книга почв ..., 2001). Для растительного покрова, как и в месте расположения колонии № 1, характерны петрофитные варианты степей с преобладанием сообществ овсецовой (*Helictotricheta desertorum*) формации. Заметное участие принимают залесскоковыльные (*Stipeta zalesskii*) степи (Калмыкова, 2008).

В разные годы на этой колонии отмечались 1-2 семьи. В 2022 году представлена одиночной семьей; площадь – 0.02 км².

Колония № 3 расположена в верховьях балки ручья Белоглинка на слабополгих склонах с южными карбонатными неполноразвитыми щебенчатыми тяжело- и среднесуглинистыми черноземами. Здесь преобладают залесскоковыльные (*Stipeta zalesskii*) степи, на щебнистых склонах

обычны петрофитные варианты степей, представленные фитоценозами мохнатогрудницевой (*Galatellata villosae*) и овсцевой (*Helictotricheta desertorum*) формаций (Калмыкова, 2008). На территории колонии до создания заповедника выпасался скот, был сделан пруд для водопоя.

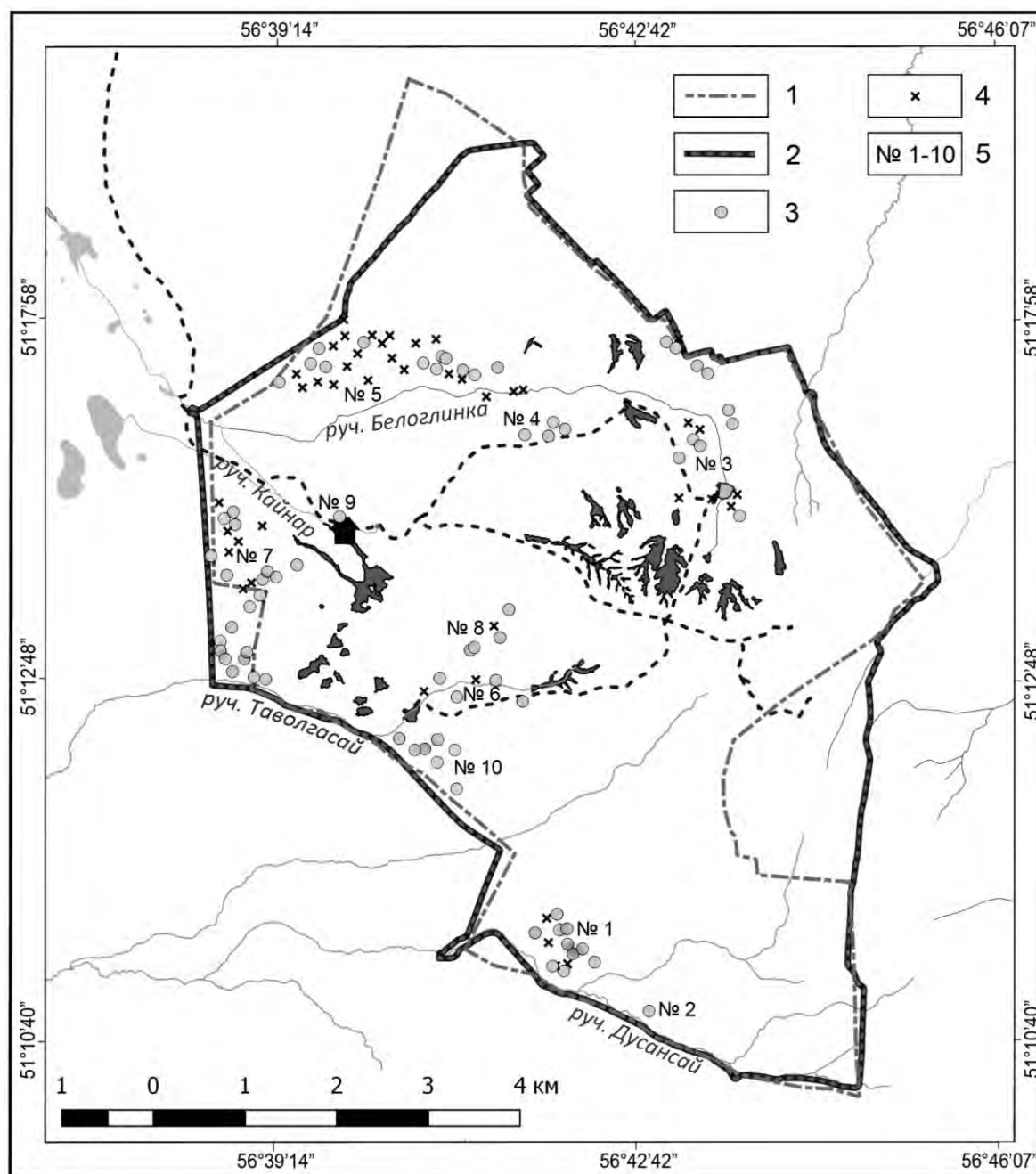


Рис. Схема расположения жилых колоний степного сурка на участке «Буртинская степь». Условные обозначения: 1 – граница участка «Буртинская степь», 2 – минерализованная полоса, 3 – жилые семейные норы степного сурка (2022 г.), 4 – брошенные семейные норы, 5 – номера колоний.

Из 14 максимально отмеченных гнездовых семейных нор сурки исчезли в 8: две из них находились вблизи восстановленного противопожарного водоема, т.е., видимо, были оставлены из-за подтопления, на трех поселились барсуки, которые, возможно, и изгнали сурков из нор, остальные брошены по неизвестным причинам. В пределах этой колонии на ранее брошенных норах образовались 4 новые семьи, общее число семей достигло 10. Площадь колонии – около 0.72 км².

Колония № 4 расположена на левобережье уплощенного днища долины ручья Белоглинка в

среднем его течении, занимает биотопы с преобладанием залесскоковыльных (*Stipeta zaleskii*) степей, с пятнами сообществ типчаковой (*Festuceta valesiacae*) и мохнаторгудницевой (*Galatellea villosae*) формации и заметным участием степномятликовых (*Poeta transbaicalicae*) степей в местах с несколько повышенным увлажнением на южных черноземах (Калмыкова, 2008).

Колония довольно нестабильна: из шести семей три являются «пульсирующими», животные то появляются в них, зимуют, то исчезают; в настоящее время жилыми остаются 4 семейных участка. С учетом всех шести семейных участков, колония занимает площадь около 0.30 км².

Колония № 5 – самая крупная на территории участка. Расположена в среднем течении балки руч. Белоглинка, русло которого местами принимает форму оврага с отвесными склонами. Колония занимает пологоволнистые нижние части склона возвышенности Южный Кармен. Почвы – черноземы южные остаточные карбонатные малогумусные маломощные щебенчатые на элювиально-делювиальных тяжелых суглинках и глинах. В настоящее время здесь преобладают дерновинные злаки, нередко в сообществах одинаковую фитоценотическую роль играют ковыли Лессинга (*Stipa lessingiana*¹), Залесского (*S. zaleskii*) и овсяница валлиская (*Festuca valesiaca*), также отмечаются корневищные злаки, активно развивающиеся на залежах (Калмыкова, 2008). С юга колония ограничена руслом ручья, с востока – балкой Щуровой, разрезающей возвышенность Ю. Кармен в меридиональном направлении и впадающей в балку Белоглинка, с севера – склонами Ю. Кармена, на западе колония продолжается за границы участка. Ранее территория использовалась под пашню, но выходы значительного количества щебня на поверхность почвы вынудили оставить ее под залежь.

В пределах участка заповедника колония имеет площадь 1.60 км². Число семей увеличивалось с 12 в 1996 г. до 32 в 2006 г., а с 2012 года начало снижаться. По результатам картирования в 2022 году на этой колонии отмечено всего 12 жилых семейных участка.

Колония № 6 располагается в волнисто-увалистой нижней части юго-западного склона плато Муулды на левобережье долины руч. Таволгасай. В растительном покрове преобладают залесскоковыльные (*Stipeta zaleskii*) степи (Калмыкова, 2008) на южных маломощных щебенчатых черноземах, для мест стоянки скота характерны крупные монодоминантные группировки житняка гребневидного (*Agropyron pectinatum*). Территория использовалась под выпас, возле пруда располагалась стоянка крупного рогатого скота.

Долгое время колония состояла из одной семьи, потом число семей увеличилось до 6, причем сурки освоили оба берега ручья. В настоящее время колония состоит из 4 семей, а в современных границах имеет площадь 0.20 км².

Колония № 7 – вторая по занимаемой площади. Располагается вдоль западной границы участка в междуречье руч. Кайнар и Таволгасай. На фоне преобладающих ковыльковых степей (*Stipeta lessingiana*) на черноземах южных карбонатных малогумусных щебенчатых на хрящеватых суглинках выделяются солонцово-степные комплексы на лугово-болотных солончаковых тяжелосуглинистых почвах. На последних сурки избегают селиться.

На площади 1.40 км² в 1999 году мы насчитывали 20 семей. Наряду с жилыми норами во время картирования были отмечены несколько брошенных гнездовых нор, которые в дальнейшем заселились сурками. Максимально в этой колонии фиксировалось 25 семей. По результатам картирования в 2022 году, брошенными оказались 8 семейных участков, на большинстве из них отмечены следы пребывания барсуков и сами звери, которые скрывались в защитных норах сурков. В ранее незаселенных норах образовались 3 новые семьи, в результате чего общее число семей составило 20.

Колония № 8 расположена в нижней части западного склона плато Муулды. Биотоп – волнисто-увалистые степи на черноземах южных щебенчатых тяжело- и среднесуглинистых на элювио-делювии песчаников. В растительном покрове на фоне преобладающих залесскоковыльных (*Stipeta zaleskii*) степей выделяются петрофитные степи, преимущественно мохнаторгудницевой (*Galatellea villosae*) формации на сильнощебнистых почвах и реже – небольшие пятна галофитностепных сообществ у сурчин.

В 1999 году в этой колонии было зарегистрировано 2 семьи сурков, затем к 2001 году это число

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

увеличилось вдвое. В настоящее время на территории колонии обитают 4 семьи, однако оказался брошенным один из ранее жилых семейных участков, но в 150 м от него появился новый. Площадь, занимаемая этой колонией, составляет 0.24 км².

Колония № 9 представлена одиночной семьей и расположена в долине руч. Кайнар, в 100 м к северо-западу от дома-кордона. Участок этой семьи площадью 0.06 км² занимает южный склон одного из увалов (относительная высота – около 10-15 м). Окружающая местность представлена лугово-степными урочищами с кочкарными болотами и мочажинами на лугово-болотных солончаковых почвах. Для склонов характерны залесскоковыльные (*Stipeta zalesskii*) степи. На выровненных участках обилён житняк гребневидный (*Agropyron pectinatum*). Сурки часто пасутся у подножия увала, защитные норы также встречаются на его вершине.

Колония № 10 расположена вдоль юго-западной границы участка в среднем течении р. Таволгасай. Поселение занимает волнисто-увалистые склоны с залесскоковыльными (*Stipeta zalesski*) и ковыльковыми (*Stipeta lessingiana*) степями на южных маломощных щебенчатых среднесуглинистых черноземах. Все семейные норы оказались жилыми, появилась еще одна семья, в результате число семей увеличилось до 7. Площадь колонии – 0.27 км².

На участке «Буртинская степь» поселения степного сурка занимают территорию общей площадью 5.26 км², что составляет 11.7% от всей площади участка. Тот факт, что на протяжении довольно длительного времени (более 30 лет) на территории участка не появилось ни одной новой колонии, также отсутствуют нежилые норы вне выделенных поселений, а в периоды подъема численности не изменялись размеры уже существующих колоний, может говорить о том, что все подходящие биотопы, удовлетворяющие жизненным потребностям животных, уже заняты.

Наряду с наличием достаточного слоя мелкозема для устройства гнездовых нор, глубиной залегания грунтовых вод, хорошего обзора местности наличие вегетирующей растительности в соответствии со специализацией сурков является одним из ведущих факторов, определяющих территориальную структуру поселений степного сурка. Семейные участки закладываются еще на начальных этапах освоения территории таким образом, чтобы полностью удовлетворять потребности всех членов семьи в пище. И, как правило, такая конфигурация и размеры сохраняются на протяжении многих лет благодаря присущей сурку, как и всем территориальным животным, системе межсемейных отношений, жестко фиксирующих внешние границы участков (Середнева, 1991; Машкин, 1997). При обилии и разнообразии корма площади семейных участков минимальны, при недостатке – увеличиваются (Бибиков, 1967). Так, в европейской части ареала самые маленькие семейные участки (0.2-4.0 га), причем в биотопах с интенсивным выпасом скота, где обеспечивается постоянная вегетация растительности, площади намного меньше, чем в биотопах с низким уровнем антропогенной нагрузки (Никольский, Савченко, 2002; Токарский и др., 2011; Ronkin et al., 2017). При продвижении на восток, в казахстанской части ареала, площади участков увеличиваются до 4.75-7.0 га (Шубин и др., 1978).

Для исследуемой территории характерны довольно большие размеры семейных участков, в среднем – 5.22 ± 0.6 га (3.0-8.7 га, $n = 75$, $p \leq 0.05$). Распределение размеров показало, что наибольшее число семей (52%) имеет размеры 3-5 га. Середина этого класса (4 га) меньше средней (5.22 ± 0.6 га) и медианы (4.96 га). Максимальные размеры (8-9 га) имеют 7% семей. Зимние норы соседних семей располагаются на расстоянии 35-355 м (в среднем 193.3 ± 16 м, $n = 75$, $p \leq 0.05$) друг от друга, при этом не было отмечено перекрывания близко расположенных соседних участков (Сорока, 2001). Форма семейных участков – от почти округлой до вытянутой. Зимние норы составляют 4.5% от общего числа нор. Увеличение размеров участков обитания приводит к увеличению числа защитных нор ($n = 75$, $r = 0.60$, $p < 0.001$), что повышает для сурков возможность при появлении внезапной опасности спрятаться в ближайшей из них. Число защитных нор на семью изменяется от 9 до 52 (20.4 ± 3.2 , $n = 87$, $p \leq 0.05$). Соотношение гнездовых зимних, летних и защитных нор составляет 1: 1: 20.4 соответственно ($n = 87$). Наиболее удаленные посещаемые защитные норы обнаружены на расстоянии 200-220 м от зимних. Наблюдения за мечеными животными показали, что на периферии семейного участка сурки обычно не удаляются от ближайших защитных нор дальше, чем на 30-50 м ($n = 12$). В результате наибольшая дальность ухода зверей от гнездовой норы составляет 230-270 м.

Следует отметить, что такая пространственная структура на территории большинства колоний

сложилась еще до организации заповедника при значительной пастбищной нагрузке и сохраняется до настоящего времени. Следовательно, для данной территории выпас скота не может рассматриваться в числе основных факторов, определяющих благополучие степного сурка. Способность растений отрастать заново и вегетировать более длительный срок после отчуждения, необходимая для обеспеченности сурков молодыми богатыми белками частями растений, в засушливых условиях лимитируется запасами продуктивной влаги в почве (Абатуров, Лопатин, 1985). А разрушение подстилки и ветоши копытами приводит к еще большему иссушению почвы и ускоряет выгорание растительности.

Исследуемая территория располагается в условиях континентального климата. Это отражается на низкой обеспеченности степей влагой и, как следствие, кратковременности вегетационного периода, который прекращается с установлением высоких температур воздуха. Чтобы обеспечить себя достаточным количеством корма, сурки вынуждены увеличивать кормовую территорию, включая в нее нижние части склонов, ложбины, балки, где за счет накопления большого количества снега и длительного его таяния вегетация более поздняя и продолжительная. Еще одной адаптацией к кратковременному вегетационному периоду на исследуемой территории является раннее залегание сурков в спячку, которое начинается уже во II-III декадах июля (Сорока, 2000).

Наблюдавшийся в первые годы существования заповедника рост числа семей степного сурка на участке, вероятно, связан с постепенным восстановлением структуры и состава фитоценозов в условиях прекращения выпаса. Не стоит также исключать прекращение браконьерства и добычи сурков пастушьими собаками. Несмотря на снижение общего числа семей после 2012 года, на большинстве колоний число семей либо снизилось незначительно, либо осталось прежним и даже увеличилось. Наиболее сильные колебания затронули самую большую колонию на участке, расположенную на старовозрастной залежи, – в колонии № 5 число семей снижалось на 60% от максимального числа. Причины такой ситуации еще предстоит выяснить.

Выводы

На территории участка «Буртинская степь» заповедника «Оренбургский» популяция степного сурка существует уже более 30 лет. Выделено 10 стабильно существующих колоний общей площадью 5,26 км², довольно сильно разобщенных территориально. Пространственная структура на территории большинства колоний сложилась еще до организации заповедника, при значительной пастбищной нагрузке и сохраняется до настоящего времени. На пространственную структуру большее влияние оказывает континентальность климата, чем наличие или отсутствие выпаса. Это выражается в увеличении размеров семейных участков за счет включения в них нижних частей склонов, ложбин с более поздней и продолжительной вегетацией растительности. После введения заповедного режима и демутиации растительного покрова в большинстве колоний, расположенных на бывших пастбищах, число семей либо снизилось незначительно, либо осталось прежним и даже увеличилось.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № АААА-А21-121011190016-1 Института степи УрО РАН «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Б.Д., Лопатин В.Н. 1985. Влияние пастбищного удаления фитомассы на продуктивность растительности // Млекопитающие в наземных экосистемах. М.: Наука. С. 27-37.
- Абеленцев В.И., Самош В.М., Модин Г.В. 1961. Современное состояние поселений байбака и опыт его реакклиматизации на Украине // Сурки, экология, эктопаразиты, природная очаговость чумы. Труды Средне-Азиатского противочумного института. Вып. 7. С. 309-320.
- Бибиков Д.И. 1967. Горные сурки Средней Азии и Казахстана. М.: Наука. 199 с.
- Бибиков Д.И. 1989. Сурки. М.: Агропромиздат. 255 с.
- Гейде Г.М. 1991. О распространении сурка-байбака на территории госзаповедника «Оренбургский» // Степное природопользование: информационные материалы. Оренбург. С. 24-27.
- Жалилов А.Б., Андрейчев А.В. 2015. Антропогенное воздействие на степного сурка (*Marmota bobak* Müller, 1776) в республике Мордовия // Охрана природной среды и эколого-биологическое образование: сборник

- материалов международной научно-практической конференции, 25-26 ноября 2015 г. Елабуга: Издатель Леонтьев В.В. С. 202-203.
- Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий: для высших учебных заведений. 1999 / Ред. Г.Н. Огуреева, Т.В. Котова, И.Н. Сафронова. Масштаб 1:8000000, 80 км в 1 см. М.: Интеграция. 1 к. (2 л.).
- Калмыкова О.Г. 2008. Закономерности распределения степной растительности «Буртинской степи» (Госзаповедник «Оренбургский»). Дисс. ... канд. биол. наук. СПб. 230 с.
- Калмыкова О.Г. 2012. О растительном покрове Госзаповедника «Оренбургский» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14. № 1 (4). С. 1024-1026.
- Красная книга почв Оренбургской области. 2001 / Ред. А.И. Климентьев, А.А. Чибилёв, Е.В. Блохин, И.В. Грошев. Екатеринбург. 295 с.
- Машкин В.И. 1997. Европейский байбак: экология, сохранение и использование. Киров: Кировская областная типография. 160 с.
- Никольский А.А., Савченко Г.А. 2002. Структура семейных групп и использование территории степным сурком // Сурки Голарктики как фактор биоразнообразия. М.: АБФ. С. 308-315.
- Ронкин В.И. 2003. Особенности питания степного сурка (*Marmota bobak* Müll.) на северо-востоке Украины: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М. 24 с.
- Руди В.Н. 1997. Млекопитающие Южного Урала: фауна, зоогеография, охрана и рациональное использование. Дисс. ... док. биол. наук. Оренбург. 272 с.
- Сафронова И.Н., Калмыкова О.Г. 2012. Вопросы зональности и роль заповедников в их решении // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14. № 1 (6). С. 1638-1641.
- Середнева Т.А. 1991. Пространственные и временные колебания плотности населения монгольского и степного сурка // Биология, экология, охрана и рациональное использование сурков: Материалы Всесоюзного совещания. М.: Всесоюзное териологическое общество АН СССР. С. 125-131.
- Сорока О.В. 2000. Влияние факторов окружающей среды на динамику сезонной активности степного сурка (*Marmota bobac* Müll., 1776) // Биология сурков Палеарктики: сборник научных трудов. М.: МАКС Пресс. С. 145-158.
- Сорока О.В. 2001. Основные черты пространственной структуры популяций степного сурка в государственном природном заповеднике «Оренбургский» // Бюллетень московского о-ва испытателей природы. Отделение биологическое. Т. 106. Вып. 1. С. 50-55.
- Степной заповедник «Оренбургский»: Физико-географическая и экологическая характеристика. 1996. Екатеринбург: УрО РАН. 167 с.
- Токарский В.А., Ронкин В.И., Савченко Г.А. 2011. Европейский степной сурок: история и современность. Харьков. 256 с.
- Харченко Н.Н., Леженин А.Ю. 2012. Промежуточные итоги опыта по восстановлению популяции сурка-байбака (*Marmota bobak* Müller) в северной части среднерусской лесостепи // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 75 (01). С. 1-11.
- Шаталин О.А., Добролюбов А.Н., Леонова Н.А. 2020. Влияние жизнедеятельности степного сурка на видовой состав растительности заповедного участка «Островцовская лесостепь» // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. № 3 (31). С. 103-114.
- Шубин И.Г., Абеленцев В.И., Семихатова С.Н. 1978. Байбак // Сурки. Распространение и экология. М.: Наука. С. 10-38.
- Lazariev D. 2020. Current State of the Steppe Marmot (*Marmota bobak*) Population in Striltsivskyi Steppe (East of Ukraine) // Theriologia Ukrainica. Vol. 19. P. 122-129.
- Ronkin V.I., Savchenko G.A., Atemasov A.A. 2017. Home Range Types, Condition and Outlook of the Steppe Marmot Settlement in the Chalky Landscape of «Dvorichanskyi» NNP // Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series «Biology». Vol. 29 (2). P. 167-174.

УДК 631.467.2

**СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД ФИТОЦЕНОЗОВ СУХОЙ СТЕПИ
В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД ОСТРОВА ВОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИКА «РОСТОВСКИЙ»**

© 2023 г. В.Ю. Шматко, Л.П. Ильина, Т.А. Соколова

*Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41. E-mail: Shmatko@ssc-ras.ru*

Поступила в редакцию 01.04.2023. После доработки 04.04.2023. Принята к публикации 05.04.2023.

Представлены результаты по изучению структуры сообщества почвенных нематод в весенний период на ключевых участках о. Водный заповедника «Ростовский». Всего выявлено 76 родов из 41 семейства и 9 отрядов, при этом общими для двух месяцев (апрель-май) были 39 родов. Показано, что ряд особенностей фауны почвенных нематод в весенний период проявляются в родовом разнообразии, встречаемости и доминировании отдельных эколого-трофических групп и родов.

Общее количество видов на ключевых участках изменяется в пределах от 17 до 33; при этом численность нематод в апреле составила от 230 до 994 особей на 100 см³ почвы, а в мае – от 134 до 1043 особей на 100 см³ почвы. Выявлено, что самым разнообразным по родовому составу оказался отряд Dorylaimida, который включил в себя 29 родов; в то время как у Tylenchida было 19 родов, а у Rhabditida – 11 родов.

Установлено, что в весенний период при увеличении показателя сырой надземной фитомассы растений возрастает численность нематод из группы фитотрофов, что подтверждается проведенным корреляционным анализом (коэффициент корреляции имеет очень высокие значения: $r_{\text{апрель}} = 0.86$, $r_{\text{май}} = 0.96$ при p -уровне < 0.05).

Ключевые слова: почвенные нематоды, фитоценозы сухой степи, геоботанические показатели, эколого-трофические группы, корреляционный анализ.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-100-110

EDN: KHSIDW

Нематоды, обитающие в почве – неотъемлемая часть почвенной биоты, наиболее разнообразная и многочисленная группа из всех многоклеточных беспозвоночных, которые встречаются практически во всех типах почв. Основная масса их обитает в верхнем слое почвы на глубине до 30 см независимо от особенностей их сельскохозяйственного использования (Соловьева, 1986; Чесунов, 2006; Краткий спецкурс ..., 2011).

Изучение различных аспектов биологии почвенных нематод имеет как научное, так и практическое значение. Зоогеографические и сравнительно-экологические характеристики естественных сообществ почвенных нематод, включая экспериментальные исследования, позволяют выявить закономерности их расселения и особенности формирования сообществ этих организмов в различных биогеоценозах. В настоящее время по соотношению эколого-трофических групп нематод можно оценивать нематологическую ситуацию в почвах и проводить мониторинг состояния окружающей среды.

Особый научный интерес представляют нематодологические исследования в условиях сухой степи при резко выраженной комплексности почвенного и растительного покровов.

Остров Водный – один из наиболее крупных островов оз. Маньч-Гудило, который входит в состав Островного участка государственного природного биосферного заповедника «Ростовский». На заповедной территории острова состояние сухостепных ландшафтов зависит в основном от природно-климатических условий, а также от колебаний численности уникальной популяции обитающих здесь одичавших лошадей. Особенно сильное воздействие на растительный и почвенный покров охраняемых степей копытные оказывают в засушливые годы (Пришутова, 2010; Немцева, Беспалова, 2010).

Специфика природных условий на острове Водный связана с его относительной территориальной

изоляция (минимальная ширина протоков – 400 м). Остров находится в засоленной части Пролетарского водохранилища, где минерализация воды составляет 20-30 г/л. Вдоль береговой линии остров окаймлен засоленными почвами, представленными преимущественно гидроморфными солончаками. На фоне приуроченных к каштановым почвам степных ценозов выделяются, с одной стороны, пятна влаголюбивой растительности микро- и мезопонижений на лугово-каштановых почвах, а с другой стороны – пятна полупустынной растительности на каштановых солонцеватых почвах и солонцах. Каштановые солонцеватые почвы занимают 40-60% общей площади почвенного комплекса (Немцева, Беспалова, 2010; Ильина, Сушко, 2019).

На острове издавна пасли скот, поэтому после образования заповедника здесь остался табун вольно живущих лошадей и охрана природных сухостепных ландшафтов осуществляется в режиме ограниченного выпаса (Пришутова, 2010; Пономарёв, Пришутова, 2017).

Неоднородность растительного покрова участка Островного связана с особенностями рельефа местности (блюдецобразные понижения, западины, склоны различной экспозиции, микроповышения), при которых формируются различные условия увлажнения, а также с образованием ареалов засоленных почв. Растительный покров острова Водный представлен долинными сухими дерновинно-злаковыми и полынно-дерновинно-злаковыми степями. Здесь зарегистрированы 227 видов сосудистых растений из 459 видов для всей территории заповедника и его охранной зоны (Шмараева и др., 2006).

Целью исследований было изучение структуры сообщества почвенных нематод острова Водный государственного природного биосферного заповедника «Ростовский». В задачи исследования входило: определение общей численности эколого-трофических групп, количественное распределение выявленных родов почвенных нематод по группам встречаемости и доминированию в весенний период; выявление взаимосвязи надземной сырой фитомассы растительности и численности нематод из группы фитотрофов в весенний период на ключевых участках.

Следует отметить, что аналогичные исследования по изучению структуры сообщества почвенных нематод острова Водный ранее не проводились.

Материалы и методы

Исследования проводили в долине Западного Маныча на территории острова Водный (46° 28' 36" с.ш., 42° 30' 09" в.д.) государственного природного биосферного заповедника «Ростовский», Орловского района Ростовской области на базе Научно-экспедиционного стационара «Маныч» Южного научного центра РАН. В период весенней вегетации 11 апреля и 14 мая 2015 года методом эколого-геоботанического профилирования было заложено 13 ключевых участков на о. Водный (рис. 1).

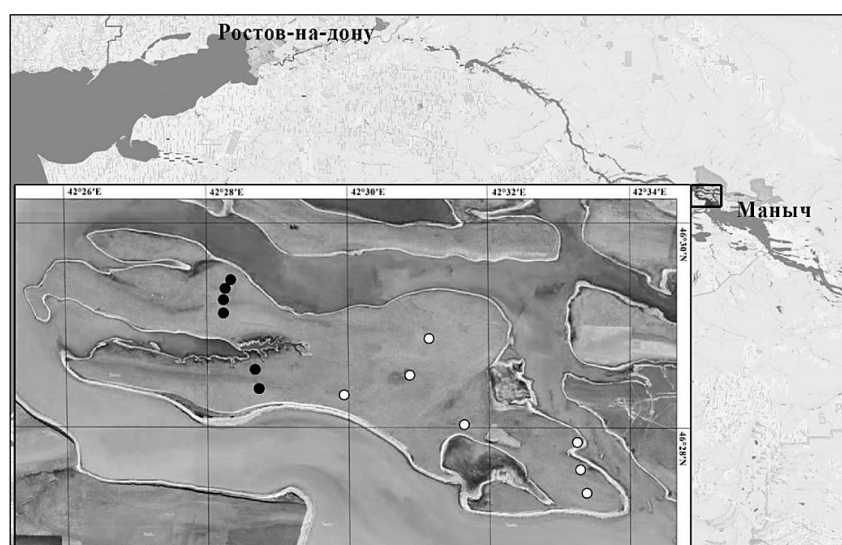


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков на о. Водный. Условные обозначения: ○ – ключевые участки в апреле, ● – ключевые участки в мае.

Отбор почвенных проб и геоботаническое описание выполнялось на каждом ключевом участке с учетной площадки 100 м². Эколого-геоботанические исследования (видовой состав растений, растительные ассоциации, проективное покрытие, высота травостоя, показатель сырой надземной фитомассы) проведены общепринятыми классическими методами как посредством маршрутов, так и в плане стационарных работ. Обилие-покрытие видов дано по комбинированной шкале Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964). Названия высших сосудистых растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995). Сбор сырой надземной фитомассы проводился с учетной площади 0.25 м² в трехкратной повторности с дальнейшим взвешиванием в лабораторных условиях.

При геоботаническом описании 7 ключевых участков в апреле были определены следующие виды растений-эфемеров и эфемероидов в фазе цветения: ясколка (*Cerastium* sp.), вероника полевая (*Veronica arvensis*), гусиный лук (*Gagea* sp.), чистяк весенний (*Ficaria verna*), костенец зонтичный (*Holosteum umbellatum*), бурачок пустынный (*Alyssum turkestanicum* var. *desertorum*), хориспора нежная (*Chorispora tenella*), веснянка весенняя (*Erophila verna*), яруточка пронзеннолистная (*Microthlaspi perfoliatum*), валериана клубненосная (*Valeriana tuberosa*), острица лежащая (*Asperugo procumbens*), буглоссоидес полевой (*Buglossoides arvensis*), незабудка мелкоцветковая (*Myosotis micrantha*), яснотка стеблеобъемлющая (*Lamium amplexicaule*). В фазе цветения были отмечены также виды, занесенные в Красную книгу Ростовской области (2014): беллевалия сарматская (*Bellevalia sarmatica*) и тюльпан Биберштейна (*Tulipa biebersteiniana*).

На ключевых участках в апреле показатель общего проективного покрытия составил 50-90%. Высота травостоя – 10-15 см. Видовое богатство в среднем – 4-7 видов на 1 м². Показатели сырой надземной фитомассы растительности в среднем – 264.86 ± 53.14 г/м².

На 6 ключевых участках в мае в растительном покрове были определены следующие виды: клоповник пронзеннолистный (*Lepidium perfoliatum*), адонис летний (*Adonis aestivalis*), капуста полевая (*Brassica campestris*), свербига восточная (*Bunias orientalis*), льнянка крупнохвостая (*Linaria macroura*), льнянка австрийская (*Linum austriacum*), лютик иллирийский (*Ranunculus illyricus*), самерария сердцеплодная (*Sameraria cardiocarpa*), горошек мохнатый (*Vicia villosa*). А также своеобразие сообществм придают цветущие ковыли: ковыль волосатик (*Stipa capillata*), ковыль украинский (*S. ucrainica*), ковыль красвейший (*S. pulcherrima*). Высоко обилие таких злаков, как пырей ползучий (*Elytrigia repens*), житняк пустынный (*Agropyron desertorum*), овсяница валийская (*Festuca valesiaca*), овсяница ложнодалматская (*F. pseudodalmatica*), мятлик живородящий (*Poa crispa*), и таких полыней, как полынь Лерхе (*Artemisia lerchiana*), полынь австрийская (*A. austriaca*), полынь Маршалла (*A. marschalliana*).

В мае показатель общего проективного покрытия на ключевых участках составил 60-80%. Высота травостоя – 20-90 см. Видовое богатство в среднем – 10 видов на 1 м². Выявлено, что в общей надземной фитомассе злаковые виды растений занимали 40.84-60.18%, а разнотравье – 37.93-56.72%. В целом в мае показатели фитомассы были значительно выше (815.66 ± 108.17 г/м²), чем в апреле (264.86 ± 53.14 г/м²). На ключевых участках в мае основу травостоя составлял клоповник пронзеннолистный (*Lepidium perfoliatum*) и мятлик живородящий (*Poa bulbosa*).

При отборе почвенных проб использованы методики, которые позволяют получать достоверные результаты при относительно небольшом количестве отбираемых образцов (Метлицкий, Матвеева, 1975; Метлицкий, 1985). Выделение нематод было проведено модифицированным методом Флегга с последующей фиксацией нематод в 5% горячем формалине. Экстрагированные из почвенных образцов экземпляры были монтированы на постоянные препараты по стандартной методике (Hall, 1996), для каждой пробы рассчитывалась относительная численность нематод на 100 см³ почвы. Анализ проводили на родовом уровне. Выявленные рода разделили на 5 эколого-трофических групп, используя классификацию Йейтса (Yeates et al., 1993): Б – бактериотрофы, М – микотрофы, В – всеядные, Х – хищники, Ф – фитотрофы; сюда же включена группа нематод, ассоциированных с растениями (Аср), которая имеет промежуточное положение между микотрофами и фитотрофами.

Для характеристики фауны почвенных нематод использовали следующие показатели:

- Доля участия каждого рода в составе фауны (в %) – число особей данного рода к общему числу нематод. Рода нематод, по данному признаку, объединяются в пять групп: эудоминанты (10% и более от всех обнаруженных особей), доминанты (от 5 до 10%), субдоминанты (от 2 до 5%),

рециденты (от 1 до 2%) и субрециденты (менее 1%; Соловьева, 1986).

• Оценка постоянства видового состава фауны нематод рассчитана по коэффициенту постоянства видового состава (в %) – отношение числа проб, в которых данный вид обнаружен, к общему числу анализированных проб. Соответственно четырем градациям этого коэффициента, виды, составляющие фауну, подразделяются на акцидентов (встречается в 25% проб), аксессуаров (менее 25 до 50%), констант (от 50 до 75%) и эуконстант (от 75 до 100%; Соловьева, 1986).

Статистический анализ результатов. Обработка полученных данных выполнена с помощью интегрированной системы анализа и управления данными Ststistica 8 (StatSoft, 2012). Ниже приведены обозначения, использованные в тексте: объемы выборок (n), средние арифметические значения со стандартной ошибкой среднего ($x_{cp} \pm SE$). Предварительно все переменные проверены на соответствие нормальному распределению (W-тест Шапиро-Уилка). При анализе данных использовали следующие методы статистического анализа: коэффициент корреляции Пирсона (r) и коэффициент детерминации R^2 . Статистические гипотезы отклоняли при P -уровне достоверности менее 0.05. Корреляционный анализ выполнен для оценки взаимосвязи общей численности нематод и численности фитотрофов с показателями сырой надземной фитомассы в весенний период.

Результаты и обсуждение

Общая характеристика фауны почвенных нематод острова Водный в весенний период. В результате проведенных исследований в апрельских и майских пробах обнаружено практически равное количество родов почвенных нематод – 55 и 60 соответственно. Всего в почвенных пробах, отобранных в весенний период, выявлено 76 родов из 41 семейства и 9 отрядов; из них для апреля и мая общими оказались 39 родов (табл. 1).

Распределение количества родов нематод по отрядам показало, что для сухостепных почв острова Водный в апреле и в мае наиболее типичны 3 отряда: Dorylaimida, Tylenchida и Rhabditida. Родовое разнообразие почвенных нематод из отряда Tylenchida больше в мае, чем в апреле. Следует отметить, что этот показатель по отрядам Dorylaimida, Rhabditida и Aphelenchida остается практически неизменным на протяжении двух изученных весенних месяцев. Представители отрядов Enoplida, Alaimida, Mononchida, Araeolaimida и Monhysterida оказались малочисленными, представлены единичным количеством родов (от 2 до 4) и встречаются в пробах нерегулярно. Таким образом, выявлено, что время отбора почвенных проб на протяжении весеннего периода оказывает влияние на родовое разнообразие отряда Tylenchida, который в основном представлен фитотрофами (табл. 1; рис. 2).

По частоте встречаемости в сухостепных почвах всех ключевых участков острова Водный в пробах, отобранных в апреле и мае, обнаруженные нематоды подразделяются на 4 группы (табл. 2). Особенности распределения родов в зависимости от времени отбора пробы сводятся к следующему: количество эуконстант и констант в апреле оказалось небольшим и составило по 7 родов, в мае эти показатели оказались выше – 11 родов эуконстант и 18 родов констант. Наиболее значимыми и общими родами, входящими в группы эуконстант и констант, для разных месяцев оказались следующие: *Acrobeles*, *Eucephalobus*, *Aporcelaimellus*, *Eudorylaimus*, *Aphelenchus*, *Longidorella*, *Longidorus*, *Amplimerlinius*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Nygolaimoides* и *Clarkus*. В апреле самой разнообразной группой оказались аксессуары – 23 рода, в мае, напротив, данная группа оказалась самой бедной по родовому разнообразию – 10 родов. Количество акцидентов на протяжении исследуемого весеннего периода изменялось незначительно и составляло 18 родов для апреля и 21 род для мая (табл. 2).

Установлено, что в значительной степени структура фауны почвенных нематод определяется группой родов из эуконстант и констант. Всего таких родов оказалось 30, из них представители отряда Dorylaimida составили 35.5%, Tylenchida – 32.3%, Rhabditida – 12.9%, Aphelenchida – 6.5%, и по 3.2% пришлось на отряды Alaimida, Enoplida, Monhysterida и Mononchida; нематод из отряда Araeolaimida не обнаружено. Наиболее распространенные рода почвенных нематод включают в себя 67.8% фитотрофов, всеядных и хищников. Из всех обнаруженных родов 37 проявляют определенную избирательность к срокам отбора почвенных образцов: так, 16 родов встречаются исключительно в апрельских пробах и 21 – в майских.

Таблица 1. Данные по численности, участию и доминированию представителей отдельных родов почвенных нематод острова Водный в весенний период.

Род	Встречаемость		Доминирование		Численность	
	апрель	май	апрель	май	апрель	май
Бактериотрофы						
<i>Alaimus</i>	–	ЭК	–	СД	–	13.99
<i>Paramphidelus</i>	–	АК	–	СР	–	2.9
<i>Anaplectus</i>	А	А	СР	СР	4.45	3.55
<i>Cylindrolaimus</i>	–	А	–	СР	–	4.23
<i>Plectus</i>	А	АК	СР	СР	1.51	1.81
<i>Prismatolaimus</i>	А	ЭК	СР	Р	1.82	8.79
<i>Eumonhystera</i>	А	–	СР	–	2.13	–
<i>Geomonhystera</i>	–	К	–	СР	–	2.3
<i>Acrobeles</i>	ЭК	ЭК	Д	Д	34.83	30.53
<i>Acrobeloides</i>	А	ЭК	СР	Р	1.26	10.44
<i>Cephalobus</i>	К	АК	СР	СР	2.75	1.59
<i>Cervidellus</i>	АК	АК	СР	СР	0.91	0.61
<i>Chiloplacus</i>	–	АК	–	СР	–	1.45
<i>Eucephalobus</i>	К	К	СР	СР	5.77	6.49
<i>Heterocephalobus</i>	АК	АК	СР	СР	2.73	1.59
<i>Procephalobus</i>	–	АК	–	СР	–	1.45
<i>Protorhabditis</i>	АК	–	СР	–	2.12	–
<i>Rhabditis</i>	–	АК	–	СР	–	0.2
<i>Rhabditolaimus</i>	АК	–	СР	–	2.73	–
<i>Cephalenchus</i>	АК	А	СР	СР	0.35	1.26
Всеядные						
<i>Actinolaimoides</i>	АК	–	СР	–	4.55	–
<i>Actinolaimus</i>	АК	–	СР	–	2.41	–
<i>Aporcelaimellus</i>	ЭК	ЭК	Д	Д	34.65	58.44
<i>Aporcelaimus</i>	АК	–	СР	–	3.18	–
<i>Ecumenicus</i>	–	АК	–	СР	–	1.81
<i>Enchodelus</i>	АК	АК	СР	СР	0.61	2.43
<i>Eudorylaimus</i>	ЭК	ЭК	ЭД	ЭД	84.76	66.88
<i>Heterodorus</i>	А	К	СР	Р	3.78	8.43
<i>Labronemella</i>	А	–	СР	–	3.08	–
<i>Mesodorylaimus</i>	А	А	СР	СР	3.34	5.42
<i>Metaporcelaimus</i>	–	АК	–	СР	–	3.25
<i>Microdorylaimus</i>	А	К	СР	СР	2.61	1.81
<i>Paraxonchium</i>	А	К	СР	Р	3.44	8.75
<i>Prodorylaimus</i>	АК	–	СР	–	1.06	–
<i>Pungentella</i>	АК	–	СР	–	4.81	–
<i>Pungentus</i>	А	–	СР	–	3.53	–
<i>Sectonema</i>	АК	–	СР	–	0.72	–
<i>Thornedia</i>	АК	–	СР	–	0.6	–
Микотрофы						
<i>Aphelenchus</i>	ЭК	ЭК	Д	СД	35.53	14.86
<i>Paraphelenchus</i>	АК	–	СР	–	0.91	–

Продолжение таблицы 1.

Род	Встречаемость		Доминирование		Численность	
	апрель	май	апрель	май	апрель	май
Микотрофы						
<i>Dorylaimoides</i>	–	АК	–	СР	–	1.45
<i>Nothotylenchus</i>	–	АК	–	СР	–	0.20
Фитотрофы						
<i>Aphelenchoides</i>	А	АК	СР	СР	1.01	0.2
<i>Longidorella</i>	ЭК	ЭК	СД	СД	14.02	26.81
<i>Longidorus</i>	К	К	СР	Р	4.46	6.84
<i>Meloidogyne</i>	–	АК	–	СР	–	2.9
<i>Metaxonchium</i>	–	АК	–	СР	–	1.45
<i>Xiphinema</i>	А	К	СР	Р	3.54	8.7
<i>Amplimerlinius</i>	ЭК	К	ЭД	Р	72.08	10.43
<i>Bitylenchus</i>	А	–	СД	–	17.01	–
<i>Geocenamus</i>	А	К	СД	СД	14.52	19.76
<i>Helicotylenchus</i>	К	ЭК	ЭД	ЭД	64.2	63.95
<i>Merlinius</i>	А	А	Р	Р	6.62	7.34
<i>Mesocriconema</i>	АК	А	СР	Р	0.6	6.92
<i>Paratylenchus</i>	АК	К	СР	СР	0.6	5.86
<i>Pratylenchus</i>	К	К	СД	Р	26.93	10.03
<i>Rotylenchus</i>	К	–	СР	–	4.56	–
<i>Tylenchorhynchus</i>	–	К	–	СД	–	23.9
<i>Basiria</i>	–	К	–	Р	–	9.59
<i>Coslenchus</i>	А	К	СР	Р	2.39	7.19
<i>Ditylenchus</i>	–	А	–	СР	–	6.04
<i>Filenchus</i>	А	А	СР	СР	3.75	2.62
<i>Lelenchus</i>	АК	–	СР	–	0.91	–
<i>Psilenchus</i>	–	К	–	Р	–	6.72
<i>Tylenchus</i>	–	А	–	СР	–	2.81
Хищники						
<i>Seinura</i>	А	К	СР	СР	5.33	2.05
<i>Discolaimium</i>	А	А	СР	СР	3.32	1.62
<i>Discolaimus</i>	А	К	СР	Р	5	9.07
<i>Nygolaimoides</i>	ЭК	К	СД	СД	14.24	12.78
<i>Nygolaimus</i>	А	ЭК	СД	Д	15.59	36.16
<i>Paravulvulus</i>	АК	АК	СР	СР	4.3	1.81
<i>Semitobrilus</i>	–	АК	–	СР	–	1.45
<i>Tripyla</i>	А	АК	СР	СР	3.61	0.65
<i>Trischistosoma</i>	–	АК	–	СР	–	5.8
<i>Clarkus</i>	К	ЭК	СД	Д	22.66	35.86
<i>Mylonchulus</i>	–	АК	–	СР	–	1.45

Примечания к таблице 1: ЭК – эуконаланта, К – константа, А – акцессор, АК – акцидент, ЭД – эудоминанта, Д – доминанта, СД – субдоминанта, Р – рецедент, СР – субрецедент, прочерк – отсутствуют.

Важным показателем для структуры фауны почвенных нематод является встречаемость; так, для большинства этих родов отмечена нерегулярная встречаемость, 5 родов из 37 за весь сезон

представлены константами и эуконстантами только в апреле или только мае, при этом для апреля отмечен 1 род (*Rotylenchus*), а для мая – 4 рода (*Alaimus*, *Tylenchorhynchus*, *Basiria*, *Psilenchus*). Таким образом, видно, что увеличение родового разнообразия происходит в основном для фитотрофов и связано с увеличением количества пищи в почве в весенний период.

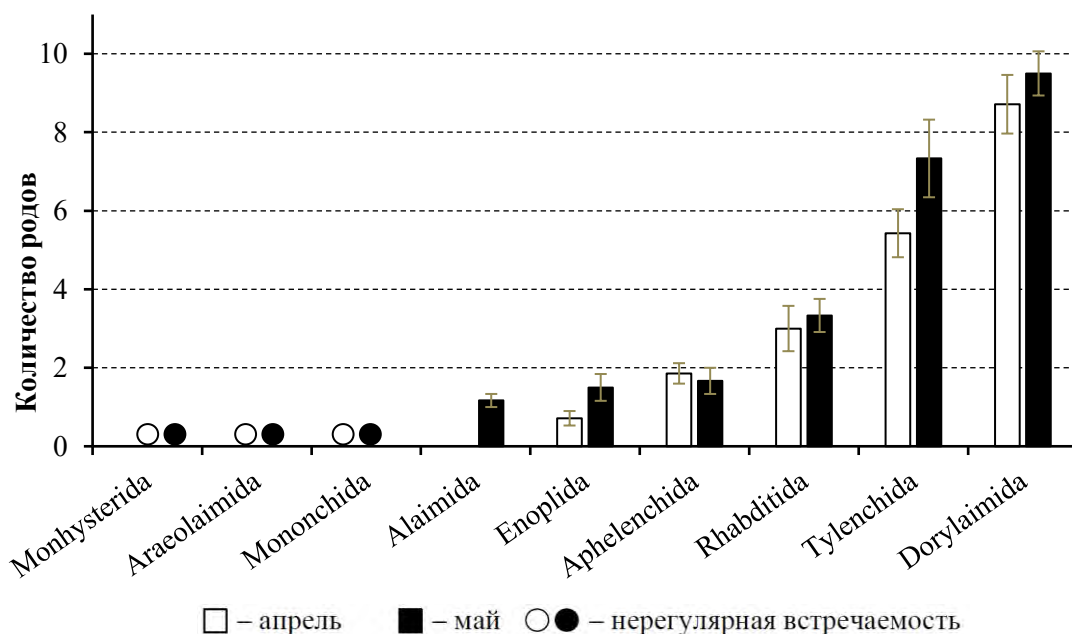


Рис. 2. Родовое разнообразие отрядов нематод острова Водный в весенний период.

Таблица 2. Количественное распределение выявленных родов почвенных нематод острова Водный по группам встречаемости и доминирования в весенний период.

Группа	Апрель	Май	За все время
Встречаемость			
Эуконстанта	7	11	8
Константа	7	18	8
Акцессор	23	10	17
Акцидент	18	21	43
Всего	55	60	76
Доминирование			
Эудоминанта	3	2	2
Доминанта	3	4	3
Субдоминанта	7	6	7
Рецедент	1	14	5
Субрецидент	41	34	59
Всего	55	60	76

По характеру доминирования рода, входящие в состав фауны почвенных нематод острова Водный в весенний период, группируются следующим образом. Эудоминанты и доминанты в апреле составили по 3 рода и практически не отличались от количества родов, представленных в мае. Группа эудоминант и доминант включала 8 родов: *Acrobeles*, *Aporcelaimellus*, *Eudorylaimus*, *Aphelenchus*, *Amplimerlinius*, *Helicotylenchus*, *Nygolaimus* и *Clarkus*. В списке субдоминант определено 10 родов, в т.ч. 7 в апреле и 6 в мае (табл. 2). Из представленных групп одновременно для апреля и мая

эудоминантами являются нематоды родов *Eudorylaimus* и *Helicotylenchus*; доминантами – *Acrobeles* и *Aporcelaimellus*; субдоминантами – *Longidorella*, *Geocenamus* и *Nyngolaimoides*.

Сведения о структуре фауны почвенных нематод существенно дополняются данными о численности и соотношении эколого-трофических групп (табл. 3; рис. 3).

Таблица 3. Численность трофических групп почвенных нематод острова Водный в весенний период.

Трофические группы	$x_{cp} \pm SE$, экз./100 см ³ почвы		
	Апрель, n=7	Май, n=6	За все время, n =13
Фитотрофы	233.8±56.2	228.7±71.1	231.4±42.7
Всеядные	157.1±32.2	157.2±45.3	157.2±26.0
Хищники	74.0±20	108.7±27.5	90.0±16.7
Бактериотрофы	63.0±16.6	91.9±21.7	76.3±13.5
Микотрофы	40.2±19.8	19.1±5.4	30.5±11.0
Средняя численность на пробу	568.2±106	605±149.6	585.5±85.8

Самой разнообразной по количеству родов является группа фитотрофов, которая представлена 23 родами. Эта группа имеет численное превосходство над остальными, численность которых в среднем на одну пробу составила 231.4 экз./100 см³ почвы и 39.5% от общего количества нематод. Чуть меньшим разнообразием (18 родов) и численностью характеризуется группа всеядных, в которой в среднем на одну пробу численность была 157.2 экз./100 см³ почвы; в соотношении к другим группам по численности на их долю приходится 26.8%, что также указывает на доминирование данной группы. Такое распределение эколого-трофических групп, когда доминирующими группами выступают фитотрофы и всеядные, что типично для сухих дерновинно-злаковых и полынно-дерновинно-злаковых степей и связано с высоким проективным покрытием, видовым богатством, показателями сырой фитомассы растений в растительных сообществах в весенний период (Шматко, 2013; Шматко, Ильина, 2017).

Группы бактериотрофов и хищников с численностью 76.3±13.5 и 90±16.7 экз./100 см³ почвы соответственно занимают не более 15% по численности среди всех трофических групп. Бактериотрофов обнаружено 20 родов, хищников – 11 родов. Самой малочисленной и бедной по разнообразию является группа микотрофов с численностью 30.5±11 экз./100 см³ почвы (на протяжении исследований всего обнаружено 4 рода; табл. 3; рис. 3).

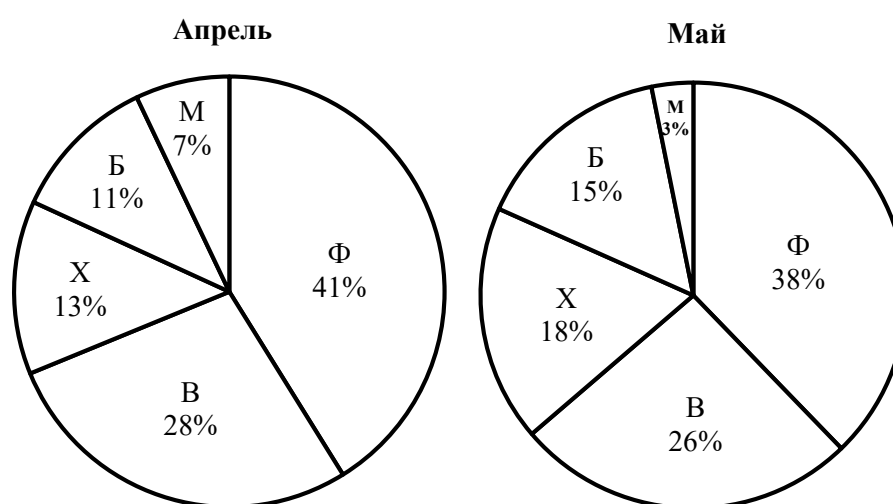


Рис. 3. Соотношение численности эколого-трофических групп почвенных нематод острова Водный по месяцам в весенний период. Условные обозначения: Б – бактериотрофы, М – микотрофы, В – всеядные, Х – хищники, Ф – фитотрофы.

Из таблицы 3 и рисунка 3 видно, что доминирующие группы (всеядные и фитотрофы) по численности остаются неизменными в разное время весеннего периода, а по процентному отношению к другим группам имеют меньшие показатели (в среднем на 2-3%) в мае, чем в апреле.

Такие группы, как хищники и бактериотрофы, заметно увеличивают свою численность в мае и составляют 18% и 15% всей фауны, тогда как в апреле их численность не превышает 13% и 11% соответственно. Средняя численность на пробу нематод группы микотрофов в апреле составляла 40.2 ± 19.8 экз./100 см³ почвы, в мае численность данной группы сократилась до 19.1 ± 5.4 . Такое распределение трофических групп почвенных нематод, скорее всего, связано с геоботаническими показателями растительного покрова в разные месяцы весеннего периода.

Изучение взаимосвязи надземной сырой фитомассы растительности и численности нематод из группы фитотрофы в весенний период. Показатель численности почвенных нематод меняется в зависимости от климатических зон и экологических факторов, таких как влажность, температура, конкуренция, источники питания и другие (Соловьева, 1986; Ветрова, 1980; Губина, 1982; Рысс, 1982; Brown, Gaugier, 1998; Hanel, 1994). Изменение численности почвенных нематод многие авторы связывают с ростом растений (Шлепетене, 1986; Thomas, 1969; Wyss, 1970; Yeates, 1968).

Нематоды из группы фитотрофов относятся к микроскопическим организмам, длина тела которых колеблется от 300 мкм до 8 мм, в большинстве случаев не превышает 2 мм (Буторина и др., 2006). В наших исследованиях фитотрофы представлены доминирующей группой, состоящей из облигатных и факультативных, а также нематод, ассоциированных с растениями. В связи с этим проведены исследования по выявлению взаимосвязи надземной сырой фитомассы растительности и численности нематод из группы фитотрофов в весенний период. Полученные данные по корреляционной зависимости изученных показателей представлены на рисунке 4.

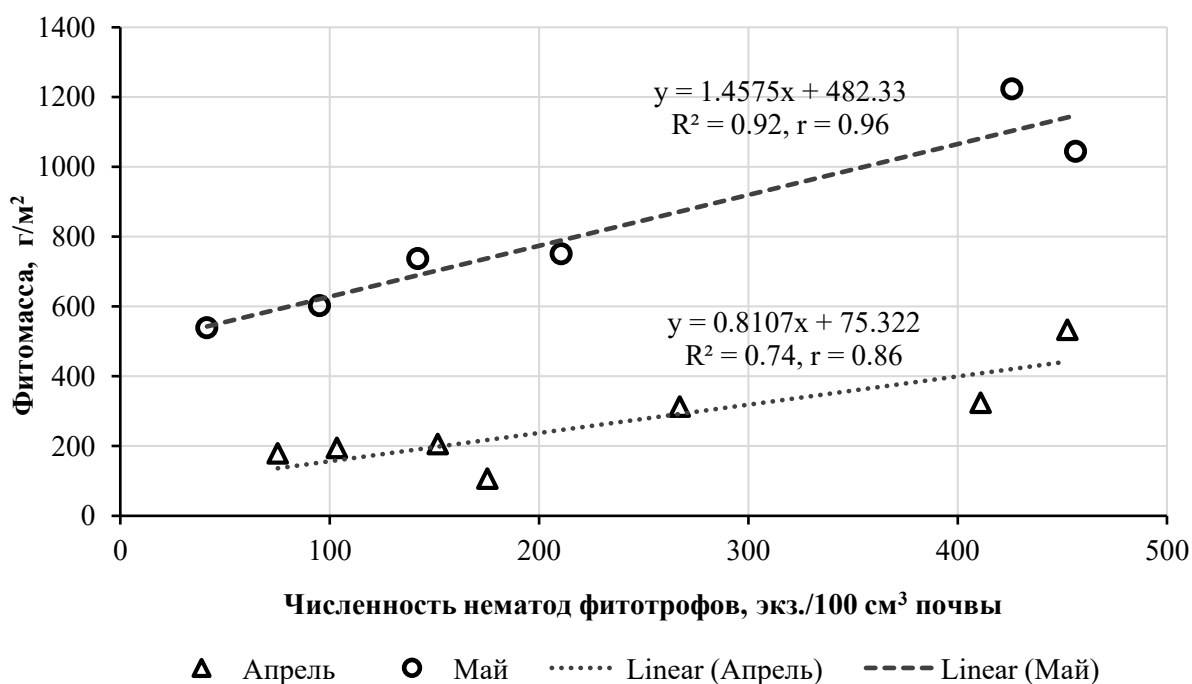


Рис. 4. Зависимость сырой надземной части фитомассы и численности нематод из группы фитотрофов на ключевых участках острова Водный в весенний период.

При увеличении показателя сырой надземной фитомассы растений возрастает и численность нематод группы фитотрофов в почвенных пробах, что подтверждается довольно тесной связью сравниваемых показателей $R^2_{\text{апрель}} = 0.74$, $R^2_{\text{май}} = 0.92$, величина коэффициента корреляции имеет очень высокие значения: $r_{\text{апрель}} = 0.86$, $r_{\text{май}} = 0.96$ при p -уровень < 0.05 .

Оценка постоянства родового состава нематод из группы фитотрофов обследуемых ключевых участков показала, что эуконстанты и константы в апреле были представлены 6 родами, а в мае – 12. Выявлено, что активное накопление вегетационной массы растений в мае способствовало

увеличению численности нематод родов фитотрофов, которые в апреле встречались редко или вовсе не были зарегистрированы, к ним относятся такие роды, как: *Psilenchus*, *Coslenchus*, *Basiria*, *Tylenchorhynchus*, *Paratylenchus*, *Geocenamus*, *Xiphinema*. Также отмечены роды, которые встречались достаточно регулярно за весь весенний период: *Longidorella*, *Longidorus*, *Amplimerlinius*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*. Акцессоров и акцидентов в апреле и мае установлено 10 и 8 родов соответственно, из них *Tylenchus*, *Meloidogine*, *Metaxonchium* и *Dytylenchus* отмечены только для мая, а *Bitylenchus* и *Lelenchus* – только для апреля (табл. 1).

По характеру доминирования роды, входящие в состав фитотрофов в весенний период, группируются следующим образом. Эудоминанты в апреле и мае составляют 2 и 1 рода соответственно: в их состав входят роды *Amplimerlinius* и *Helicotylenchus*, но одновременно для апреля и мая эудоминантами были *Helicotylenchus*. Группа доминант отсутствует. Всего обнаружено 5 родов субдоминантов, в т.ч. 4 для апреля (*Longidorella*, *Bitylenchus*, *Geocenamus*, *Pratylenchus*) и 3 для мая (*Longidorella*, *Geocenamus*, *Tylenchorhynchus*).

Выводы

Исследования сообществ почвенных нематод для о. Водный заповедника «Ростовский» были проведены впервые.

За весенний период (апрель-май) 2015 г. в структуре сообщества почвенных нематод на ключевых участках острова Водный выявлено 76 родов из 41 семейства и 9 отрядов. Общими для двух месяцев были 39 родов.

Общее количество видов на ключевых участках изменялось в пределах от 17 до 33; при этом численность нематод в апреле составила от 230 до 994 особей на 100 см³ почвы, а в мае – от 134 до 1043 особей на 100 см³ почвы. Выявлено, что самыми разнообразными по родовому составу оказались 3 отряда: Dorylaimida включает в себя 29 родов, Tylenchida – 19 родов, Rhabditida – 11 родов.

Группа фитотрофов, состоящая из 23 родов, относится к самой разнообразной эколого-трофической группе и характеризуется численным превосходством над остальными. Эта группа в среднем составляла 41% в апреле и 38% в мае от общей численности всех нематод в пробе. Следующей доминирующей группой была группа всеядных, на долю которой приходилось 26.8%. Установлено, что доминирующие группы по численности остаются неизменными в разное время весеннего периода, а по процентному отношению к другим группам имеют меньшие показатели (в среднем на 2-3%) в мае, чем в апреле.

Проведенными исследованиями выявлено, что в весенний период при увеличении показателя сырой надземной фитомассы растений возрастает численность нематод из группы фитотрофов, что подтверждается проведенным корреляционным анализом (коэффициента корреляции имеет очень высокие значения $r_{\text{апрель}} = 0.86$, $r_{\text{май}} = 0.96$ при p -уровне < 0.05).

Таким образом, исследование структуры почвенных нематод фитоценозов сухой степи о. Водный выявило ряд особенностей, которые проявляются в родовом разнообразии, встречаемости и доминировании отдельных эколого-трофических групп и родов в фауне нематод.

Комплексные научные исследования, включающие работы по изучению нематодофауны в степных и сухостепных ландшафтах долины, будут продолжены с целью получения данных по вертикальному распределению почвенных нематод в профиле различных почв, характеристике растительных сообществ и почвенным показателям различных биотопов.

Финансирование. Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, проект № 122020100332-8 «Роль природных и антропогенных факторов в формировании и динамике равнинных биогеоценозов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буторина Н.Н., Зиновьева С.В., Кулинич О.А. 2006. Прикладная нематология. Институт паразитологии РАН. М.: Наука. 350 с.
- Ветрова С.Н. 1980. Влияние мелиорации на нематодофауну почв белорусского полесья // Всесоюзный симпозиум, 16-19 июля 1980 г. Петрозаводск: ИБ Карел, филиал АН СССР. С. 13-15.
- Губина В.Г. 1982. О нематологических исследованиях в Московской области // Почвенные беспозвоночные

- Московской области. М.: Наука. С. 41-46.
- Соловьева Г.И. 1986. Экология почвенных нематод. Л.: Наука. 247 с.
- Чесунов А.В. 2006. Биология морских нематод. М.: Т-во научных изданий КМК. 367 с.
- Красная книга Ростовской области. 2014. Ростов: Минприроды Ростовской области. Т. 2: Растения и грибы / Ред. Т.И. Абрамова, А.М. Волкова, О.Н. Демина. 343 с.
- Краткий спецкурс по нематологии. 2011. Учебно-методическое пособие. Петрозаводск: ПИН. 84 с.
- Пришутова З.Г. 2010. Одичавшие лошади (*Equus caballus*) как компонент охраняемых степных экосистем в заповеднике «Ростовский» // Экология. № 1. С. 58-62.
- Немцева Л.Д., Беспалова Л.А. 2010. Картографирование ландшафтов островного участка заповедника «Ростовский» с использованием космических снимков // Вестник Южного научного центра РАН. Т. 6. № 1. С. 62-70.
- Ильина Л.П., Сушко К.С. 2019. Современные проблемы деградации сухостепных почв долины Маныча // Биосфера. Т. 11. № 3. С. 120-127.
- Пономарёв А.В., Пришутова З.Г. 2017. Герпетобийонтные пауки (Aranei) острова Водный (озеро Маныч-Гудило) // Наука Юга России. Т. 13 № 2. С. 60-65.
- Рысс А.Ю. 1982. Корневые нематоды семейства Pratylenchidae и вопросы эволюции надсемейства Hoplolaimoidea. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 23 с.
- Шмаряева А.Н., Шишлова Ж.Н., Федяева В.В., Буркина Т.М. 2006. Сводный список сосудистых растений заповедника «Ростовский» и его охранной зоны // Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении биоразнообразия: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию государственного природного заповедника «Ростовский». Ростов-на-Дону. С. 130-143.
- Шматко В.Ю. 2013. Сравнение фаунистических комплексов нематод различных ландшафтов Государственного Биосферного заповедника «Ростовский» // Известия Высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 1. С. 60-63.
- Шматко В.Ю., Ильина Л.П. 2017. Особенности эколого-фаунистического комплекса почвенных нематод сухостепных ландшафтов долины Маныча // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3 (72). С. 75-87. [Shmatko V.Y., Il'ina L.P. 2017. Characteristics of ecological and faunistic complex of soil nematodes in dry-steppe landscapes in Manych valley // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 191-202.]
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. 990 с.
- Метлицкий О.З. 1985. Экологические и технологические основы обнаружения нематод. Принципы и методы экологической фитонематологии. Петрозаводск: Карелия. С. 18-35.
- Метлицкий О.З., Матвеева М.А. 1975. Методические указания по выявлению и учету численности нематод на ягодных культурах. М.: Колос. 24 с.
- Шлепетене А. 1986. Антропогенное воздействие на почвенных и растительных нематод. Вильнюс: Моклас. 190 с.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie. Wien-New York: Springer-Verlag. 865 p.
- Brown I.M., Gaugier R. 1998. Survival of Steinernematid Nematodes Exposed Tofreezing // Journal of Thermal Biology. Vol. 23. No. 2. P. 75-80.
- Hall G.S. 1996. Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments. CAB International: Wallingford. 320 p.
- Hanel L. 1994. Composition and Seasonal Changes of Soil Nematode Community in a Central European Oak Forest // Acta Societatis Zoologicae Bohemicae. Vol. 58. P. 177-188.
- StatSoft, Inc. 2012. Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения 21.02.2023)].
- Thomas P.R. 1969. The Head Region of Longidorus // 1st Congr. Pl. Pathol. L. P. 201.
- Wyss Ü. 1970. Untersuchungen sur Populationsdynamik von Longidorus elongatus // Nematologica. Vol. 16. P. 74-84.
- Yeates G.W. 1968. An Analysis of Annual Variation of Nematode Fauna in Dune Sand at Himatangi Beach, New Zealand // Pedobiologia. P. 173-207.
- Yeates G.W., Bongers T., De Goede R.G.M., Freckman D.W., Georgieva S.S. 1993. Feeding Habits in Soil Nematode Families and Genera – An Outline for Soil Ecologists // Journal of Nematology. Vol. 25. P. 315-331.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА
МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОЧВ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

© 2023 г. Е.П. Никитина*, Л.Б. Буянтуева**, О.А. Батурина***,
А.Б. Гынинова****, Е.В. Лаврентьева****

*Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: lenauiude@mail.ru

**Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24а

***Институт химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН
Россия, 630090, г. Новосибирск, просп. Ак. Лаврентьева, д. 8

****Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6

Поступила в редакцию 06.05.2022. После доработки 06.11.2022. Принята к публикации 03.04.2023.

Проведены исследования микробных сообществ почв в пределах сухостепной зоны Селенгинского среднегорья. Природно-климатические условия региона (длительный холодный период, малое количество осадков и неравномерность их распределения в течение вегетационного сезона) обуславливают формирование преимущественно каштановых почв с легким гранулометрическим составом, малой мощностью гумусового горизонта, низким содержанием гумуса и азота. В работе представлены данные сезонной динамики и пространственной структуры микробных сообществ исследуемых почв. Выявлено, что количество различных эколого-трофических групп аэробных хемоорганотрофных бактерий варьировало от нескольких тысяч до нескольких миллионов КОЕ/г. Наибольшие показатели численности отмечены во второй половине лета. Исследуемые почвенные разрезы имели довольно схожие тенденции в пространственном распределении культивируемой части микробных сообществ. Для гидролитических бактерий наибольшие показатели численности отмечены в гумусовых горизонтах, для олиготрофных – в срединных. Методом высокопроизводительного секвенирования был проведен полнопрофильный анализ таксономической структуры и разнообразия прокариотных сообществ светлогумусовой и каштановой квазиглеевой почв. Установлено, что на уровне доменов преобладали бактерии, доля архей была незначительной. Структура бактериальных сообществ на уровне филумов была сформирована преимущественно представителями Actinobacteria, Acidobacteria, Proteobacteria, Bacteroidetes, Chloroflexi, Verrucomicrobia и Gemmatimonadetes с доминированием актинобактерий и ацидобактерий. Были оценены индексы разнообразия прокариотных сообществ генетических горизонтов исследованных почв. Выявлена прямая корреляция индекса Шеннона и индекса выравненности Пиелу с содержанием гумуса и общего азота. В ходе оценки бета-разнообразия выявлено, что микробные сообщества при анализе на уровне порядков и более низких таксономических уровнях образовывали два непересекающихся кластера, которые объединяли гумусовые и минеральные горизонты почв.

Ключевые слова: каштановые почвы, микробные сообщества, гидролитики, олиготрофы, микробное биоразнообразие, ген 16S рРНК, Селенгинское среднегорье.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-111-123

EDN: GAGPVC

Селенгинское среднегорье расположено в Западном Забайкалье и занимает среднюю часть бассейна р. Селенга. Характерной чертой рельефа этой территории является чередование хребтов со сглаженными водоразделами и межгорных впадин, ориентированных в основном с юго-запада

на северо-восток (Батуев и др., 2000). Глубокое внутриматериковое расположение района исследования определяет ярко выраженную континентальность и засушливость климата, а расчлененный характер рельефа – резкую и частую пространственную изменчивость микроклиматов (Ногина, 1964; Батуев и др., 2000).

Доминирующими в среднегорье являются каштановые почвы. Они занимают площадь около 90 тыс. км² и формируются под сухостепной растительностью, преимущественно в южной части среднегорья, охватывая пенеппенизированные поверхности древних хребтов и террасы рек Тугнуй, Хилок, Чикой, Джида, Селенга и других на отметках 500-900 м н.у.м. БС (Ногина, 1964; Ишигенов, 1972; Убугунов и др., 2018). Почвообразующие породы представлены в основном песчаными и супесчаными, часто каменистыми отложениями (Цыбжитов и др., 1999). Более половины площади каштановых почв занято естественными пастбищами, расположенными на склонах увалов и шлейфах межгорных понижений (Меркушева и др., 2006). На данный момент в литературе накоплен достаточно большой материал по водно-физическим, физико-химическим свойствам, питательному режиму почв региона (Ногина, 1964; Ишигенов, 1972; Цыбжитов и др., 1999; Убугунов и др., 2000; Меркушева и др., 2006; Чимитдоржиева, 2016). Показано, что каштановые почвы, составляющие основу почвенного покрова сухостепной зоны, характеризуются малой мощностью гумусового горизонта, легким гранулометрическим составом, щебнистостью, слабой водоудерживающей способностью и низкой влагоемкостью, что отличает их от типичных каштановых суглинистых почв Европейской части России (Ногина, 1964; Панкова, Черноусенко, 2018; Чимитдоржиева, Цыбикова, 2018).

Работ, посвященных микробиологической характеристике каштановых почв региона, относительно мало. Имеющиеся статьи затрагивают в основном количественные характеристики микроорганизмов (Нимаева, 1992; Звягинцев и др., 1999б; Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., 2012), а также содержат некоторые сведения о таксономическом разнообразии (Нимаева, 1992; Звягинцев и др., 1999а). В то же время микроорганизмы являются важной частью экосистем и выполняют множество различных биологических функций в почвах, в том числе связанных с поддержанием биогеохимических циклов элементов и стабильности функционирования почвенных экосистем (Звягинцев и др., 2005; Добровольская и др., 2015; Maron et al., 2018). Это определяет цель настоящей работы – выявить особенности распределения прокариот по профилю каштановых почв Селенгинского среднегорья и установить их таксономическую структуру.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили микробные сообщества почв, формирующихся в пределах сухостепного пояса в Селенгинском среднегорье (табл. 1). Погодные условия на момент исследования были описаны ранее (Буянтуева, Никитина, 2018). Первый ключевой участок с разрезами 1Т и 3Т располагался в западной части Тугнуйской котловины в основании южного склона хр. Цаган-Дабан; второй ключевой участок с разрезами 4И и 5И – в подножии юго-западного склона хр. Хамар-Дабан на контакте с Иволгинской котловиной. Названия почв приведены по классификации почв России (Шишов и др., 2004).

Для физико-химических анализов пробы почвы отбирали согласно генетическим горизонтам и высушивали до воздушно-сухого состояния. Отбор проб для исследования динамики численности основных эколого-трофических групп бактерий проводили посезонно в 2014, 2015 и 2017 гг. Для молекулярно-генетических исследований летом 2017 года из средних частей генетических горизонтов были отобраны образцы массой 10-15 г. До выделения ДНК пробы хранились при температуре -70°C.

Для характеристики физико-химических свойств почв использовали следующие показатели: рН водной суспензий определяли согласно ГОСТ 26423-85 «Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки»; общий углерод – по Тюрину (Практикум по агрохимии, 2001); групповой и фракционный состав гумуса – по методу Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1975); общий азот – согласно ГОСТ 26107-84 «Почвы. Методы определения общего азота»; обменные Ca²⁺ и Mg²⁺ – по ГОСТ 26487-85 «Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО». Определение гранулометрического состава почвы проводили при помощи лазерного дифракционного

анализатора размера частиц Analysette 22 MicroTecplus фирмы Fritsch, Германия (Konert, Vandenberghe, 1997).

Таблица 1. Описание мест взятия почвенных образцов.

№	Тип почвы	Почвенный профиль	Географическое положение	Доминирующие виды, проективное покрытие
1Т	Каштановая типичная	AJ (0-7(9) см) – ВМК (7(9)-21 см) – САТ (21-39 см) – ВСса (39-72 см)	51° 08' 58.62" с.ш., 107° 24' 25.38" в.д.; 613 м н.у.м. БС	<i>Stipa krylovii</i> Roshev., <i>Caragana pygmaea</i> (L.) DC., <i>Potentilla bifurca</i> L., <i>P. acaulis</i> L.; 20-30%
3Т	Светло-гумусовая	AJ1 (0-10(16) см) – AJ2 (10(16)-31(45) см) – Cca,m (31(45)-44(58) см) – Cca (44(58)-79 см)	51° 11' 15.24" с.ш., 107° 34' 46.08" в.д.; 698 м н.у.м. БС	<i>S. krylovii</i> Roshev., <i>Cleistogenes sguarrosa</i> (Trin.) Keng, <i>Artemisia frigida</i> (Willd.), <i>Poa botryoides</i> (Trin. ex Griseb.) Kom.; 35-40%
4И	Каштановая с погребенным профилем чернозема гидрометаморфизированного	AJ (0-7 см) – ВМК (7-15 см) – [AU] (15-39 см) – [AU/BCA] (39-55 см) – BCAq (55-74 см) – BCq (74-95 см)	51° 34' 50.94" с.ш., 107° 03' 56.34" в.д.; 637 м н.у.м. БС	<i>S. krylovii</i> Roshev., <i>C. sguarrosa</i> , <i>A. frigida</i> (Willd.), <i>P. botryoides</i> (Trin. ex Griseb.) Kom.; 30-35%
5И	Каштановая квазиглеевая	AJ1 (0-7 см) – AJ2 (7-18 см) – ВМК (18-42 см) – САТq (42-60 см) – BCq (60-75(80) см) – Cca,q (75(80)-125 см)	51° 37' 1.98" с.ш., 107° 07' 42.06" в.д.; 686 м н.у.м. БС	<i>S. krylovii</i> Roshev., <i>C. sguarrosa</i> (Trin.) Keng, <i>A. frigida</i> (Willd.), <i>Agropyron cristatum</i> (L.), <i>Poa attenuate</i> Trin.; 40-45%

Учет численности основных эколого-трофических групп бактерий осуществляли методом посева почвенной суспензии из разведений на агаризованные питательные среды. Для учета численности гидролитических бактерий использовали среду Пфеннига, в качестве субстратов вносили сахарозу (15 г/л), пептон (15 г/л) и фильтровальную бумагу (Pfennig, 1965). Учет бактерий, использующих органические формы азота, вели на мясо-пептонном агаре (МПА); использующих минеральные формы азота – на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Для определения численности олиготрофов использовали агаризованную почвенную вытяжку (ПА), олигонитрофилов – среду Эшби, олигокарбофилов – голодный агар (ГА; Титова, Козлов, 2012). Образцы высевали в 3-кратной повторности из каждого разведения и культивировали при 28-30°C.

Для характеристики таксономической структуры микробных сообществ исследуемых почв использовано высокопроизводительное секвенирование гена 16S рРНК. Для выделения ДНК из почвенных образцов использовали набор DNeasy PowerSoil Kit (Qiagen) согласно протоколу. Амплификацию V3-V4 участка гена 16S рРНК проводили с использованием праймеров 343F (5'-CTCCTACGGRRSGCAGCAG-3') и 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3'), содержащих адаптерные последовательности (Illumina), линкер и баркод (Fadrosh et al., 2014). После проведения ПЦР (Martemyanov et al., 2016) ампликоны смешивали по 200 нг каждый и очищали в 1% агарозном геле с помощью набора MinElute Gel Extraction Kit (Qiagen). Секвенирование проводили в ЦКП «Геномика» СО РАН (ИХБФМ СО РАН) на секвенаторе MiSeq (Illumina), используя набор Reagent Kit v3 (2 x 300, Illumina). Полученные в этой работе прочтения были выложены в Genbank под номером PRJNA833541 (National Library of Medicine ..., 2023).

Полученные парные последовательности анализировались с помощью UPARSE скриптов (Edgar, 2013), используя Usearchv 10.0.240 (Edgar, 2010). Биоинформатическая обработка включала перекрывание парных ридов, фильтрацию по качеству и длине, учет одинаковых последовательностей, отбрасывание синглетонов, удаление химер и получение ОТЕ с помощью алгоритма кластеризации UPARSE. Таксономическое положение ОТЕ определялось с помощью SINTAX (Edgar, 2018) и референсной базы 16S RDP training set v16 (Wang et al., 2007). Альфа разнообразие анализировали с помощью PAST 4.03 (Hammer et al., 2001) и использовали индексы Chao1, Шеннона и индекс выровненности Пиелу. В расчетах было использовано кластерное расстояние 0.03, соответствующее рангу «вид». Степень схожести микробных сообществ (бета-разнообразие) исследуемых почв оценивали с помощью кластерного анализа и неметрического многомерного шкалирования (NMDS) по метрике сходства Брея-Кертиса с использованием PAST 4.03. Расчеты и визуализацию данных осуществляли с использованием программ Origin 2015 (9.2) и Statistica 6.1.

Результаты и обсуждение

Описание морфологии исследуемых почв показало значительное разнообразие в строении почвенных профилей. Диагностическими горизонтами почв являлись светлогумусовый (AJ), ксерометаморфический (ВМК) и текстурно-карбонатный (САТ). Ниже происходил постепенный переход к почвообразующей породе С через переходный горизонт ВС. Однако от этой схемы в большинстве разрезов имелись отклонения. В почве разреза 3Т Тугнуйской котловины отсутствовали срединные горизонты ВМК и САТ, что связано с ее литогенностью. Значительные отличия были характерны для разрезов, заложенных в подножии хр. Хамар-Дабан на контакте с Иволгинской котловиной. Здесь, на вершине холма вскрыта почва (разрез 4И) с реликтовыми гумусовым и подгумусовыми горизонтами чернозема гидрометаморфизированного. Данная почва имела маломощные гумусовый и подгумусовый горизонты и представляла собой вторичную сукцессию, обусловленную, по всей вероятности, аридизацией климата. На открытом склоне южной экспозиции в небольшом понижении была диагностирована каштановая квазиглеевая почва (разрез 5И), в профиле которой выделен задернованный горизонт AJ1.

Гранулометрический состав исследуемых почв был представлен в основном легким суглинком, за исключением светлогумусовой почвы, которая имела супесчаный состав (табл. 2). Значения pH в верхних (гумусовых) горизонтах были близки к нейтральными (6.85-7.54), вниз по профилю наблюдалось постепенное подщелачивание среды, обусловленное наличием карбонатов. Содержание гумуса в верхних горизонтах варьировало от 2.40% в светлогумусовой почве до 5.71% в каштановой квазиглеевой. Вниз по профилю отмечено довольно резкое снижение его содержания. Исследования группового состава гумуса выявили, что в верхних горизонтах почв тип гумуса изменялся от гуматно-фульватного (разрезы 1Т и 3Т) до фульватно-гуматного (разрезы 4И и 5И). Вниз по профилю доля гуминовых кислот уменьшалась, а содержание фульвокислот в основном увеличивалось, гумус имел гуматно-фульватный и фульватный состав. Исключение составляла каштановая квазиглеевая почва, где соотношение гуминовых к фульвокислотам было больше единицы вплоть до горизонта ВМК. Содержание общего азота максимально в гумусовых горизонтах и резко снижалось уже в срединных горизонтах. Обогащенность гумуса азотом (C/N) варьировала от средней в верхних горизонтах исследуемых почв до низкой – в срединных. Поглощающий комплекс исследуемых почв был насыщен кальцием и магнием, причем основная доля приходилась на кальций.

Численность основных эколого-трофических групп бактерий. Для оценки пространственной структуры микробных сообществ в каштановых почвах была изучена сезонная динамика численности и профильное распределение различных эколого-трофических групп бактерий. На рисунке 1 представлены графики, отражающие варьирование показателей численности прокариот по сезонам на основании данных за 2014, 2015 и 2017 гг. Сравнение сезонной динамики численности прокариот в исследуемые годы показало незначительные колебания, в один, реже два порядка. При этом отмечены сходные тенденции для сезонных изменений численности исследованных групп бактерий – наибольшее содержание наблюдалось во второй половине лета (конец июля), в период наибольшего прогревания почв и начала выпадения летних осадков (до нескольких млн. КОЕ/г). Численность прокариот здесь достоверно (U-критерий Манна-Уитни, $p < 0.05$) отличалась и была

почти на порядок выше, чем весной и осенью. Более низкое содержание исследуемых эколого-трофических групп бактерий отмечено весной, когда почвы были сильно иссушены и недостаточно прогреты. Не было обнаружено достоверных различий между данными, полученными весной и осенью ($p = 0.131$). Сравнительно низкое содержание бактерий в пробах, отобранных осенью (в начале октября), видимо, обусловлено уменьшением количества осадков и установления отрицательных температур воздуха в этот период.

Таблица 2. Физико-химические свойства почв.

Горизонт	pH _{H2O}	С, %	Гумус, %	N, %	C/N	Сгк Сфк	Обменные основания, мг-экв./100 г		Σ частиц, %	
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	< 0.01 мм	< 0.001 мм
Разрез 1Г. Каштановая типичная почва										
AJ	7.54	2.63	4.53	0.28	11.0	0.77	16.25	2.50	37.17	4.38
ВМК	7.66	1.30	2.24	0.12	12.7	0.24	12.01	3.70	22.72	4.16
САТ	7.92	0.42	0.72	0.04	12.2	0.12	—*	—	28.59	5.07
ВСса	7.68	0.19	0.33	—	—	—	—	—	24.15	4.12
Разрез 3Г. Светлогумусовая почва										
AJ1	7.02	1.39	2.40	0.18	9.0	0.78	11.88	4.13	17.40	2.43
AJ2	7.17	1.33	2.29	0.13	12.0	0.97	12.75	6.50	17.30	2.53
Сса,m	7.20	0.57	0.98	—	—	—	—	—	17.39	2.54
Сса	7.25	0.35	0.60	—	—	—	—	—	21.49	2.94
Разрез 4И. Каштановая с погребенным профилем чернозема гидрометаморфизированного										
AJ	6.85	2.45	4.22	0.30	9.5	1.37	9.38	6.25	23.43	2.97
ВМК	7.77	1.21	2.09	0.12	11.8	0.68	10.56	8.02	21.78	2.97
[AU]	7.63	0.70	1.21	0.08	10.3	0.74	9.75	7.75	24.95	3.10
[AU/BCA]	7.69	0.48	0.83	0.05	11.3	0.75	—	—	24.07	2.84
BCAq	7.86	0.55	0.95	0.05	12.9	0.68	—	—	29.14	3.83
BCq	7.73	0.12	0.21	—	—	—	—	—	29.67	3.77
Разрез 5И. Каштановая квазиглеевая почва										
AJ1	7.18	3.31	5.71	0.42	9.2	1.09	13.50	6.80	22.03	2.62
AJ2	7.36	1.86	3.21	0.19	11.5	1.08	13.78	6.11	23.18	3.05
ВМК	7.57	1.08	1.86	0.10	12.6	1.24	13.60	5.90	34.31	4.12
САТq	7.30	0.78	1.34	0.06	15.2	0.94	—	—	28.68	3.45
BCq	7.58	0.45	0.78	—	—	—	—	—	30.66	3.89
Сса, q	8.02	0.33	0.57	—	—	—	—	—	23.56	2.73

Примечание к таблице 2: * – не определено.

Численность вышеуказанных эколого-трофических групп в летний период варьировала от нескольких тысяч до нескольких миллионов КОЕ/г. Содержание сахаралитиков и протеолитиков в поверхностных горизонтах в среднем составляло $2.0 \cdot 10^6$ - $5.7 \cdot 10^6$ и $1.5 \cdot 10^6$ - $7.0 \cdot 10^6$ соответственно, снижаясь до $1.1 \cdot 10^5$ - $1.2 \cdot 10^6$ и $1.9 \cdot 10^5$ - $1.8 \cdot 10^6$ КОЕ/г в нижних горизонтах. Численность бактерий, способных к разложению целлюлозы, была ниже на 2-3 порядка и колебалась в пределах почвенного профиля от $2.0 \cdot 10^3$ до $66.0 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Для гидролитических бактерий в целом было характерно достаточно резкое падение численности в В и С горизонтах исследуемых почв (в 3-11 раз). Содержание прокариот на богатой среде МПА, варьировало от $3.9 \cdot 10^5$ до $5.3 \cdot 10^6$

КОЕ/г, их количество также снижалось вниз по профилю (в 2-6 раз). Количество бактерий на среде КАА варьировало от $6.6 \cdot 10^5$ до $5.6 \cdot 10^6$ КОЕ/г. В отличие от бактерий на МПА максимальные значения численности данной группы были отмечены в подповерхностных и срединных горизонтах исследуемых почв. На КАА заметно преобладали различные колонии мицелиальных актинобактерий – актиномицетов, которые составляли 40-80% от общей численности колоний бактерий на чашках.

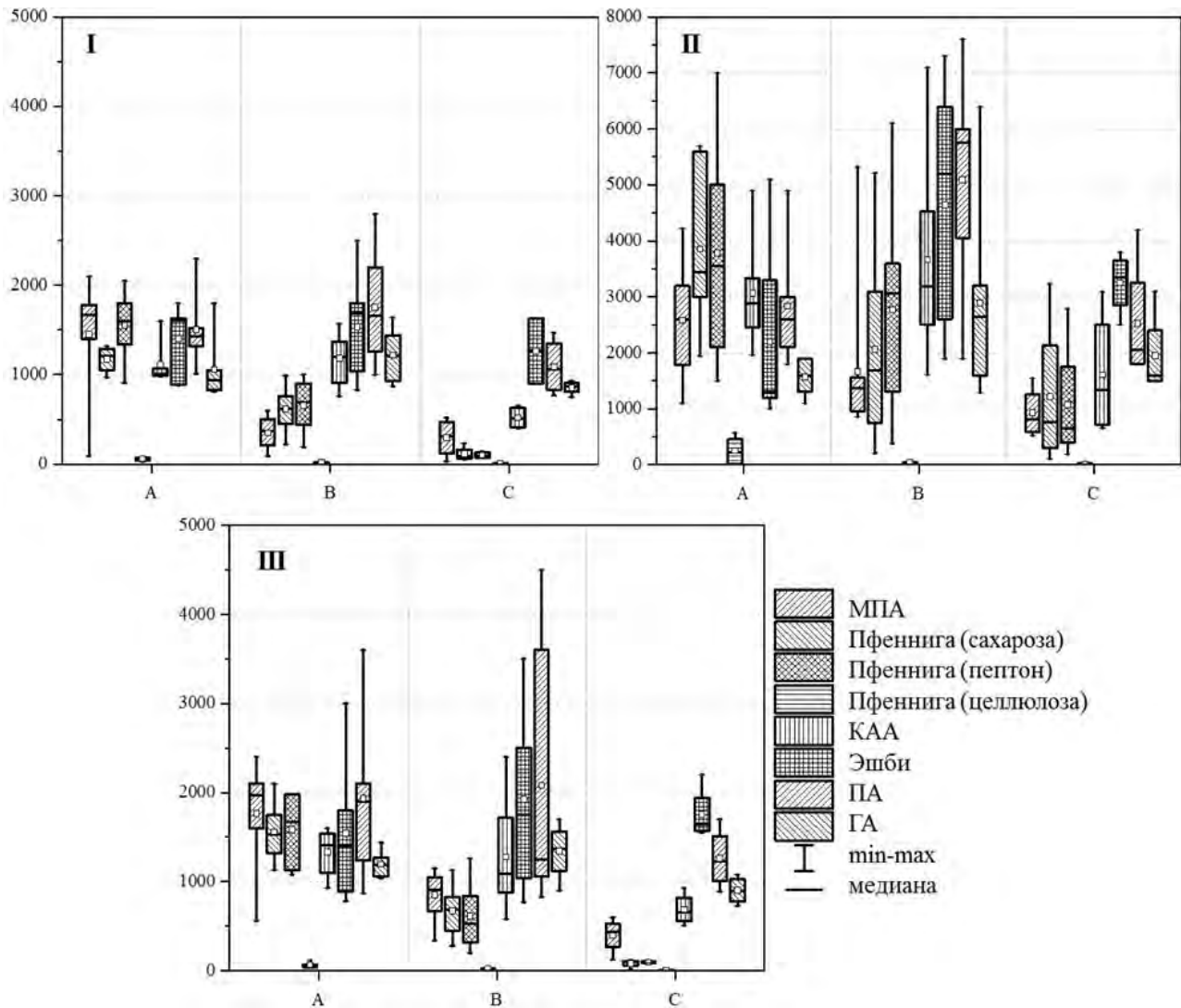


Рис. 1. Численность различных эколого-трофических групп бактерий (тыс. КОЕ/г). Условные обозначения: I – весна, II – лето, III – осень, А – гумусовые, В – срединные, С – ВС и С горизонты почв.

Для олиготрофных прокариот наибольшие показатели численности были отмечены в средней части почвенного профиля, где они превосходили группы гидролитических бактерий. На данных питательных средах были отмечены многочисленные точечные белые колонии актиномицетов, которые составляли большую часть (иногда до 90%) учтенных колоний, особенно на среде Эшби. Количество олигонитрофильных бактерий было достаточно высоким и варьировало от $3.4 \cdot 10^5$ до $5.1 \cdot 10^6$ в поверхностных горизонтах, увеличиваясь в срединных до $2.3 \cdot 10^6$ - $7.3 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Численность олиготрофных бактерий на почвенном и голодном агаре варьировала от $1.9 \cdot 10^6$ до $7.6 \cdot 10^6$ и от $9.9 \cdot 10^5$ до $6.4 \cdot 10^6$ КОЕ/г соответственно. Также было отмечено, что численность бактерий на ПА в 1-3 раза превосходила численность бактерий на ГА. Это может косвенно указывать на активные процессы деструкции гумуса, поскольку в группу бактерий, растущих на ПА, входят

виды способные к росту за счет гуматов и неспецифической почвенной органики, но не способные довольствоваться крайне низкими концентрациями питательных веществ на ГА.

Таким образом, в верхних горизонтах, где идет наиболее активное поступление и разложение свежих органических веществ отмечено максимальное содержание аэробных гидролитических бактерий. Вниз по профилю их численность довольно резко снижалась для всех исследуемых почв. Полученные данные были сравнимы с численностью, определенной ранее для каштановых почв южной части Селенгинского Среднегорья (Нимаева, 1992) и Западного Забайкалья (Почвы Баргузинской котловины, 1983; Меркушева, 2006). Для олиготрофных бактерий и бактерий, растущих на КАА, не было выявлено резкого спада численности вдоль профиля исследуемых почв. Их содержание, наоборот, возрастало в срединных горизонтах. Вероятно, это связано со стратегией выживания данных групп бактерий, некоторые из которых не способны конкурировать с быстрорастущими формами, а другие не способны развиваться в среде с высоким содержанием питательных веществ.

Разнообразие и таксономический состав микробных сообществ каштановых почв. Для характеристики биоразнообразия и таксономического состава прокариот в исследуемых почвах проведено секвенирование фрагментов гена 16S рРНК. Было проанализировано 10 образцов, взятых из горизонтов светлогумусовой и каштановой квазиглеевой почв. После проверки качества секвенирования, формирования ОТЕ и удаления синглтонов, были получены последовательности, сгруппированные в 1616 ОТЕ.

Альфа-разнообразие. Наибольшие значения индексов разнообразия и выравненности были отмечены в гумусовых горизонтах исследуемых почв; вниз по профилю идет их закономерное снижение (табл. 3). Результаты корреляционного анализа показали, что для индексов Шеннона и Пиелу существует достоверная прямая связь ($p < 0.05$) с содержанием гумуса ($r = 0.79$ и 0.82 соответственно) и общего азота (0.78 и 0.81). Изменение количества филоципов и значения индекса $Chao1$ в профилях исследуемых почв были неоднозначны. Полученные результаты свидетельствуют о некотором увеличении богатства микробных сообществ подповерхностных горизонтов почв по сравнению с верхними. Возможно, это связано с подверженностью поверхностных горизонтов данных почв иссушению и интенсивной инсоляции, что ведет к частичному обеднению состава прокариот и механическим переносом клеток или внеклеточной ДНК из вышележащих слоев.

Таблица 3. Индексы видового богатства и разнообразия исследуемых микробных сообществ.

Почва	Горизонт	Количество филоципов (ОТЕ)	Индекс $Chao1$	Индекс Шеннона	Индекс Пиелу
Светлогумусовая почва	AJ1	988	1186	6.26	0.91
	AJ2	1054	1218	6.14	0.88
	Cca,m	837	983	5.61	0.83
	Cca	1061	1214	5.47	0.79
Каштановая квазиглеевая почва	AJ1	794	937	5.84	0.87
	AJ2	989	1147	6.26	0.91
	BMK	1160	1318	5.94	0.84
	CATq	650	720	4.74	0.73
	BCq	801	1066	5.64	0.84
	Cca,q	695	1010	4.29	0.66

Бета-разнообразие. Степень схожести микробных сообществ каштановых почв оценивали с помощью кластерного анализа и неметрического многомерного шкалирования (NMDS) по метрике сходства Брея-Кертиса на разных таксономических уровнях (рис. 2). В результате статистического анализа было получено разделение микробных сообществ на два кластера примерно на уровне порядков и таксонов более низкого уровня. Первый кластер объединял верхние гумусовые горизонты почв, второй – срединные минеральные горизонты каштановой квазиглеевой и горизонт Cca, m светлогумусовой почв. Микробные сообщества нижних горизонтов С кластеров не образовывали и

достаточно сильно отличались как от других горизонтов, так и между собой. Такое распределение отражает дифференциацию почвенного профиля на генетические горизонты, характеризующиеся определёнными физико-химическими параметрами, которые, видимо, определяют общие структурные различия в таксономическом составе микробных сообществ исследуемых почв. Подобные отдельные кластеризации гумусовых и минеральных горизонтов были также получены ранее М. Hartmann с соавторами (2012) для микробиомов лесных почв Канады и в исследовании различных почв Европейской части России (Чернов, 2016).

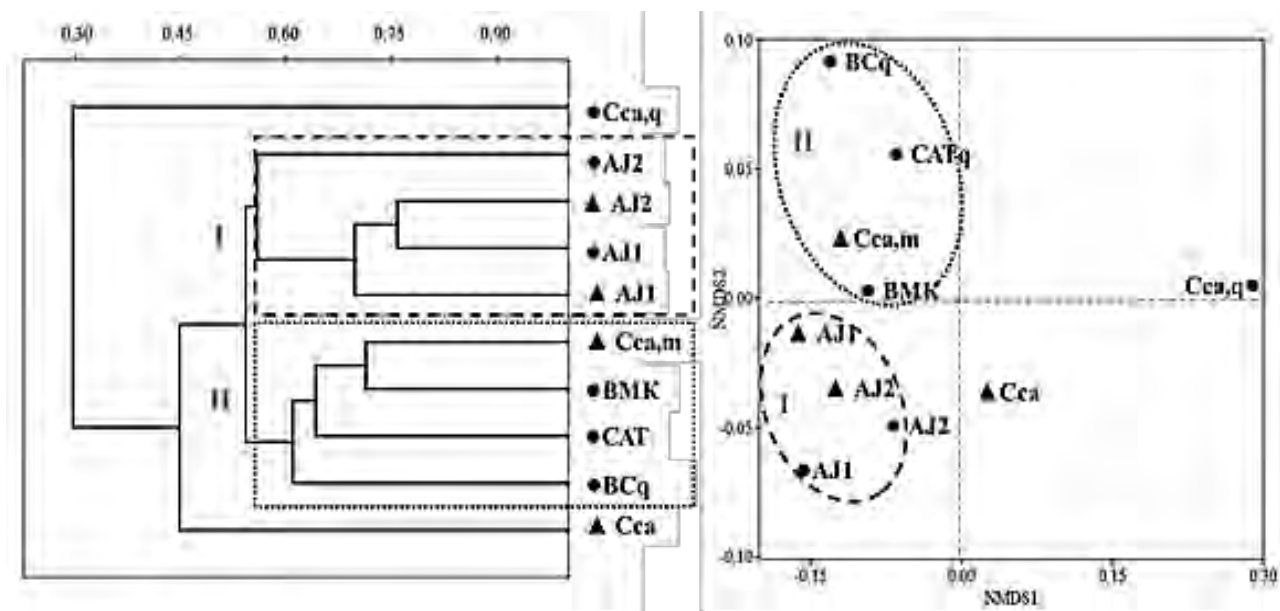


Рис. 2. Сравнительный анализ бактериальных сообществ почвенных горизонтов на родовом уровне. Условные обозначения: треугольники – горизонты светлогумусовой почвы, круги – горизонты каштановой квазиглеевой почвы.

Таксономическая структура микробных сообществ. При рассмотрении таксономической структуры почвенных микробиомов было выявлено, что на уровне доменов преобладали бактерии – 99.7-100%, доля архей была незначительной – до 0.3%. Качественный состав на уровне филумов был сходным для всех образцов светлогумусовой и каштановой квазиглеевой почв. По количеству последовательностей и филотипов преобладали *Actinobacteria* – 54.0-85.8%, *Acidobacteria* – 1.8-20.0% и *Proteobacteria* – 1.4-10.5%, вклад в микробное сообщество которых варьировал от 71.3 до 92.9%. Были выявлены представители *Bacteroidetes*, процентное содержание которых не превышало 7.1%, *Chloroflexi* – до 3.4%, *Verrucomicrobia* – до 1.6%, *Gemmatimonadetes* – до 1.4%. Минорные филумы, вклад которых в микробное сообщество не превышал 1.0%, были представлены *Firmicutes*, *Nitrospirae*, *Cyanobacteria*, кандидатными филумами *Saccharibacteria* (TM7), *Latescibacteria* (WS3), BRC1, WPS-1 и одним филумом архей – *Euryarchaeota*. Таксономическая структура анализируемых сообществ представлена на рисунке 3.

Большую часть таксономического разнообразия горизонтов составляли *Actinobacteria*, что соответствует описанным ранее представлениям о тяготении этих бактерий к почвам сухого и теплого климата (Kurayova et al., 2012; Зенова и др., 2014; Mohammadipanah, Wink, 2016). Актинобактерии участвуют в цикле углерода, способствуя разложению природных полимеров, таких как крахмал, хитин, пектин, целлюлоза, гемицеллюлоза и лигноцеллюлоза (Wang et al., 2016; Leo et al., 2018). Большая часть актинобактерий принадлежала одноимённому классу *Actinobacteria* – до 75.4%. На родовом уровне наиболее многочисленными были *Kribbella* – до 16.9 %, *Streptomyces* – до 12.4% и *Nocardioides* – до 7.7%. В исследовании С.С. Cockell с соавторами (2013) было показано, что мицелиальные актинобактерии родов *Streptomyces* и *Kribbella* проявляют себя как олиготрофы и способны усиливать процесс выветривания горных пород. Возможно, в связи с этим их относительное количество увеличивалось с глубиной и достигало максимальных значений в

С горизонтах, где они могут участвовать в преобразовании материнской породы.

Вторым по численности классом актинобактерий был *Thermoleophila*, максимальное содержание которого приходилось на минеральные горизонты исследуемых почв – до 20.1%. Было выявлено большое количество последовательностей рода *Gaiella*. В настоящий момент есть лишь один валидно описанный вид этого рода, поэтому экологические функции и распространение данного таксона не совсем ясны. Достаточно высоким содержанием характеризовался род *Solirubrobacter* – до 7.8%. Ранее его представителей обнаруживали в почвах пастбищ; предполагается, что данные бактерии могут выступать в роли возможных индикаторов нарушенных местообитаний (Иванова и др., 2015). Класс *Rubrobacteria* был представлен единственным родом *Rubrobacter* и отличался более высоким процентом последовательностей в верхних горизонтах исследуемых почв – до 21.5%. Ранее было показано широкое распространение *Rubrobacter* в аридных почвах (Holmes et al., 2000).

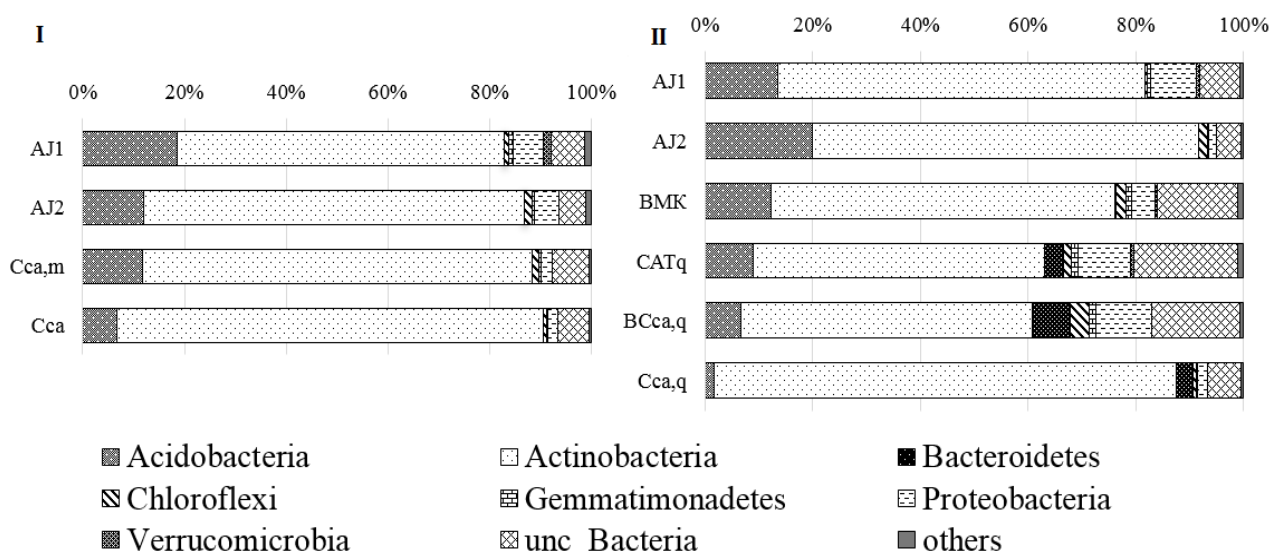


Рис. 3. Таксономическая структура прокариотных сообществ светлогумусовой (I) и каштановой квазиглеевой (II) почв; в группу «others» включены филумы, содержание которых не превышало 1%.

Вторыми по численности среди прокариот были акцидобактерии. Являясь одной из доминирующих групп гетеротрофов в почвах, таксон известен как некультивируемая группа и ее экологические функции все еще не до конца ясны (Naether et al., 2012; Kielak et al., 2016). Несмотря на ограниченность текущих исследований, которые в большей степени основаны на анализе геномов, полученные данные указывают на наличие механизмов адаптации акцидобактерий к почвенным условиям (Kielak et al., 2016) и их олиготрофности (Fierer et al., 2007; Yao et al., 2017). Они были представлены 10 субгруппами, из которых наиболее многочисленными были Gp16, Gp4, Gp6 и Gp3. Верхние горизонты почв характеризовались большей долей субгрупп Gp4 – до 12.8%, Gp6 – до 9.3% и Gp3 – до 0.7%, которые в целом характерны для почв (Naether et al., 2012; Семенов и др., 2019). В подповерхностных горизонтах увеличивалась доля Gp16.

Вклад *Proteobacteria* в микробные сообщества исследуемых почв варьировал от 1.4 до 10.5%. Представителей данной филы чаще относят к копиотрофам, которые предпочтительно разлагают лабильный и легкодоступный органический углерод (Eilers et al., 2012; Yao et al., 2017). Также сообщалось, что они чувствительны к влажности почвы и, следовательно, менее многочисленны в сухих почвах (Bayranvand et al., 2021). Среди *Proteobacteria* доминировал класс *Alphaproteobacteria* с преобладанием филотипов порядка *Rhizobiales* – до 4.5%, представители которого являются типичными обитателями ризосферы растений.

Доля филы *Verrucomicrobia* была невелика – до 1.6%. Более высокое содержание веррукомикробий обнаружено в верхних горизонтах с постепенным уменьшением вниз по профилю. В горизонтах С последовательности *Verrucomicrobia* обнаружены не были. Сходная картина вертикального распределения была выявлена в ранее проведенных исследованиях (Eilers et al., 2012;

Semenov et al., 2018; Семенов и др., 2019). Было показано, что численность веррукомикробий остро реагирует на сокращение содержания органического вещества (Semenov et al., 2018).

Особенностью исследуемых почв являлось довольно малое количество обнаруженных последовательностей *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* и *Verrucomicrobia* по сравнению с их зональными аналогами (Чирак и др., 2013; Сергалиев и др., 2015; Чернов, 2016). Также обращает на себя внимание практически полное отсутствие прокариот, участвующих в превращении минеральных соединений азота в почве. Это представители *Thaumarchaeota* домена *Archaea*, которые являются трудно культивируемыми, но распространенными в почве окислителями аммония (Schleper, Nicol, 2010) и *Nitrospirae*, способные проводить вторую стадию нитрификации, а также осуществлять полное окисление аммония (Li et al., 2019). Возможно, в связи с низким содержанием азота в исследуемых почвах происходит его иммобилизация, что обуславливает дефицит субстрата для развития нитрифицирующих прокариот.

Выводы

Проведенное исследование почв сухостепной зоны Селенгинского среднегорья позволило выявить некоторые особенности прокариотных сообществ, формирующихся в этих почвах. Не было выявлено резких колебаний годовой динамики численности основных эколого-трофических групп аэробных хеморганотрофных прокариот, что косвенно свидетельствует об относительной стабильности и устойчивости микробных сообществ к изменению климатических условий. Вторая половина лета являлась наиболее благоприятным по гидротермическим показателям периодом для деятельности прокариот. Исследуемые почвенные разрезы имели довольно схожие тенденции в пространственном распределении культивируемой части микробных сообществ. В пределах почвенного профиля с глубиной происходила смена микробного населения. В верхних горизонтах преобладали быстрорастущие гидролитические бактерии, способные к деструкции свежих органических остатков. С увеличением глубины происходило закономерное уменьшение содержания органики и в микробном сообществе начинали преобладать группы олиготрофов, способных ассимилировать питательные вещества из растворов с низкой концентрацией органических соединений. В нижних горизонтах ВС и С в целом наблюдалось уменьшение микробного населения, что связано скорее с затуханием деятельности прокариот, которое обусловлено дефицитом питательных веществ.

Анализ таксономической структуры и разнообразия прокариотных сообществ каштановой литогенной и каштановой квазиглеевой почв показал, что микробные сообщества сформированы преимущественно представителями семи филоотипов: *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Verrucomicrobia* и *Gemmatimonadetes* с доминированием актинобактерий и ацидобактерий. Наибольшие значения индексов разнообразия и выравненности были отмечены в гумусовых горизонтах исследуемых почв. Выявлена прямая корреляция индекса Шеннона и индекса выравненности Пиелу с содержанием гумуса и общего азота. В ходе оценки схожести микробных сообществ почв выявлено два кластера, которые объединяли гумусовые и минеральные горизонты.

Таким образом, природно-климатические условия региона, вероятно, в целом определяют облик микробных сообществ почв сухих степей, обуславливая широкое распространение ксерофильных и олиготрофных групп бактерий. А различия гумусовых и минеральных почвенных горизонтов являются главным фактором профилльной дифференциации прокариотных сообществ.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств государственного задания № 121030100229-1 Института общей и экспериментальной биологии СО РАН «Микробные сообщества экстремальных природных экосистем Байкальского региона: структурно-функциональная организация и биотехнологический потенциал».

Список литературы

- Батуев А.Р., Буянтуев А.Б., Снытко В.А. 2000. Геосистемы и картографирование эколого-географических ситуаций приселенгинских котловин Байкальского региона. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 164 с.
- Буянтуева Л.Б., Никитина Е.П. 2018. Исследование интенсивности процессов микробной деструкции органического вещества в сухостепных почвах Юго-Западного Забайкалья с использованием

- апликационных методов // *Природа Внутренней Азии*. № 3. С. 28-37.
- Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М.* 2015. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // *Почвоведение*. № 9. С. 1087-1096.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* 2005. Биология почв. М.: Изд-во МГУ. 445 с.
- Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Чернов И.Ю., Сарданашили Е.С., Гончиков Г.Г., Корсунов В.М.* 1999а. Особенности таксономического состава микробных комплексов в почвах Байкальского региона // *Почвоведение*. № 6. С. 727-731.
- Звягинцев Д.Г., Полянская Л.М., Гончиков Г.Г., Корсунов В.М.* 1999б. Биомасса микроорганизмов в почвах Забайкалья // *Почвоведение*. № 9. С. 1132-1139.
- Зенова Г.М., Звягинцев Д.Г., Судницын И.И.* 2014. Развитие актиномицетов при низкой влажности окружающей среды. М.: Университетская книга. 94 с.
- Иванова Е.А., Кутювая О.В., Тхакахова А.К., Чернов Т.И., Першина Е.В., Маркина Л.Г., Андронов Е.Е., Козут Б.М.* 2015. Структура микробного сообщества агрегатов чернозема типичного в условиях контрастных вариантов сельскохозяйственного использования // *Почвоведение*. № 11. С. 1367-1382.
- Ишигинов И.А.* 1972. Агрономическая характеристика почв Бурятии. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство. 212 с.
- Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Корсунов В.М.* 2006. Биопродуктивность почв сенокосов и пастбищ сухостепной зоны Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 515 с.
- Нимаева С.Ш.* 1992. Микробиология криоаридных почв. Новосибирск: Наука. 172 с.
- Ногина Н.А.* 1964. Почвы Забайкалья. М.: Наука. 314 с.
- Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* 2018. Сопоставление каштановых почв Центральной Азии с их аналогами в других почвенно-географических провинциях сухостепной зоны суббореального пояса Евразии // *Аридные экосистемы*. Т. 24. № 2 (75). С. 13-22. [*Pankova E.I., Chernousenko G.I.* 2018. Comparison of Chestnut Soils of Central Asia with Their Analogs in Other Soil-Geographical Provinces of the Dry-Steppe Zone of the Eurasian Subboreal Belt // *Arid Ecosystems*. Vol. 8. No. 2. P. 89-96.]
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* 1975. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л.: Наука. 106 с.
- Почвы Баргузинской котловины. 1983. Новосибирск: Наука. 270 с.
- Практикум по агрохимии. 2001 / Ред. В.Г. Минеев. М.: Изд-во Московского университета. 689 с.
- Семенов М.В., Манучарова Н.А., Краснов Г.С., Никитин Д.А., Степанов А.Л.* 2019. Биомасса и таксономическая структура микробных сообществ в почвах правобережья р. Оки // *Почвоведение*. № 8. С. 974-985.
- Сергалиев Н.Х., Какишев М.Г., Жиенгалиев А.Т., Володин М.А., Андронов Е.Е., Пинаев А.Г.* 2015. Применение нового метода очистки ДНК микробиоты каштановых почв Западно-Казахстанской области для метагеномного анализа // *Почвоведение*. № 4. С. 479-485.
- Титова В.И., Козлов А.В.* 2012. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие. Нижний Новгород. 64 с.
- Убугунов Л.Л., Гынинова А.Б., Белозерцева И.А., Убугунов В.Л., Доржготов Д., Сороковой А.А., Убугунова В.И., Бадмаев Н.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.Н., Цыбикдоржиев Ц.Ц.* 2018. Разнообразие и закономерности пространственной организации почв бассейна оз. Байкал // *Успехи современного естествознания*. № 5. С. 142-151.
- Убугунов Л.Л., Лаврентьева И.Н., Убугунова В.И., Меркушева М.Г.* 2000. Разнообразие почв Иволгинской котловины: эколого-агрохимические аспекты. Улан-Удэ: БГСХА. 208 с.
- Цыбжитов Ц.Х., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Цыбжитов А.Ц.* 1999. Генезис, география и классификация каштановых почв Новосибирск: Наука. Т. 1. 128 с.
- Чернов Т.И.* 2016. Метагеномный анализ прокариотных сообществ профилей почв Европейской части России. Автореф. ... дисс. канд. биол. наук. М. 23 с.
- Чимитдоржиева Г.Д.* 2016. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 388 с.
- Чимитдоржиева Г.Д., Цыбикова Э.В.* 2018. Своеобразие каштановых почв южных котловин Сибири // *Аридные экосистемы*. Т. 24. № 4 (77). С. 29-35. [*Chimitdorzhieva G.D., Tsybikova E.V.* 2018. Specific Features of Chestnut Soils in the Southern Basins of Siberia // *Arid Ecosystems*. Vol. 8. No. 4. P. 254-259.]
- Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д.* 2012. Динамика углерода микробной биомассы целинных степных и сухостепных почв Забайкалья // *Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова*. № 3. С. 16-20.
- Чирак Е.Л., Першина Е.В., Дольник А.С., Кутювая О.В., Василенко Е.С., Козут Б.М., Мерзлякова Я.В., Андронов Е.Е.* 2013. Таксономическая структура микробных сообществ в почвах различных типов по данным высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16s-rРНК // *Сельскохозяйственная биология*. Т. 48. № 3. С. 100-109.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 341 с.

Bayranvand M., Akbarinia M., Jouzan G.S., Gharechahi J., Kooch Y., Baldrian P. 2021. Composition of Soil Bacterial and Fungal Communities in Relation to Vegetation Composition and Soil Characteristics along an Altitudinal Gradient // *FEMS Microbiology Ecology*. Vol. 97. No. 1. P. f1aa201.

Cockell C.S., Kelly L.C., Marteinsson V. 2013. Actinobacteria: an Ancient Phylum Active in Volcanic Rock Weathering // *Geomicrobiology Journal*. Vol. 30. P. 706-720.

Edgar R.C. 2010. Search and Clustering Orders of Magnitude Faster than BLAST // *Bioinformatics*. Vol. 26. No. 19. P. 2460-2461.

Edgar R.C. 2013. UPARSE: Highly Accurate OTU Sequences from Microbial Amplicon Reads // *Nature Methods*. Vol. 10. P. 996-998.

Edgar R.C. 2018. Accuracy of Taxonomy Prediction for 16S rRNA and Fungal ITS Sequences // *Peer Journal*. Vol. 6. P. e4652

Eilers K.G., Debenport S., Anderson S., Fierer N. 2012. Digging Deeper to Find Unique Microbial Communities: The Strong Effect of Depth on the Structure of Bacterial and Archaeal Communities in Soil // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 50. P. 58-65.

Fadrosh D.W., Ma B., Gajer P., Sengamalai N., Ott S., Brotman R.M., Ravel J. 2014. An Improved Dual-indexing Approach for Multiplexed 16S rRNA Gene Sequencing on the Illumina MiSeq Platform // *Microbiome*. Vol. 2. No. 1. 6 p.

Fierer N., Bradford M.A., Jackson R.B. 2007. Toward an ecological classification of soil bacteria // *Ecology*. Vol. 88(6). P. 1354-1364.

Hartmann M., Howes C.G., Van Insberghe D., Yu H., Bachar D., Christen R., Nilsson R.H., Hallam S., Mohn W. 2012. Significant and Persistent Impact of Timber Harvesting on Soil Microbial Communities in Northern Coniferous Forests // *The ISME Journal*. Vol. 6. P. 2199-2218.

Holmes A.J., Bowyer J., Holley M.P., O'Donoghue M., Montgomery M., Gillings M.R. 2000. Diverse, Yet-to-be-cultured Members of the Rubrobacter Subdivision of the Actinobacteria are Widespread in Australian Arid Soils // *FEMS Microbiology Ecology*. Vol. 33. No. 2. P. 111-120.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica*. Vol. 4. No. 1. 9 p.

Kielak A.M., Barreto C.C., Kowalchuk G.A., van Veen J.A., Kuramae E.E. 2016. The Ecology of Acidobacteria: Moving beyond Genes and Genomes // *Frontiers in Microbiology*. Vol. 7. P. 744.

Konert M., Vandenbergh J.E.F. 1997. Comparison of Laser Grain Size Analysis with Pipette and Sieve Analysis: A Solution for the Underestimation of the Clay Fraction // *Sedimentology*. Vol. 44. No. 3. P. 523-535.

Kurapova A.I., Zenova G.M., Sudnitsyn I.I., Kizilova A.K., Manucharova N.A., Norovsuren Zh., Zviagintsev D.G. 2012. Thermotolerant and Thermophilic Actinomycetes from Soils of Mongolia Desert Steppe Zone // *Microbiology*. Vol. 81. P. 98-108.

Leo V.V., Asem D., Singh B.P. 2018. Actinobacteria: A Highly Potent Source for Holocellulose Degrading Enzymes // *Actinobacteria: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. P. 191-205.

Li C., Hu H.W., Chen Q.L., Chen D., He J.Z. 2019. *Comammox Nitrospira* Play an Active Role in Nitrification of Agricultural Soils Amended with Nitrogen Fertilizers // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 138. P. 107609.

Maron P.A., Sarr A., Kaisermann A., Lévêque J., Mathieu O., Guigue J., Karimi B., Bernard L., Dequiedt S., Terrat S., Chabbi A., Ranjard L. 2018. High Microbial Diversity Promotes Soil Ecosystem Functioning // *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 84. No. 9. P. e02738-17.

Mohammadipanah F., Wink J. 2016. Actinobacteria from Arid and Desert Habitats: Diversity and Biological Activity // *Frontiers in Microbiology*. Vol. 6. P. 1-10.

Martemyanov V.V., Belousova I.A., Pavlushin S.V., Dubovskiy I.M., Ershov N.I., Alikina T.Y., Kabilov M.R., Glupov V.V. 2016. Phenological Asynchrony between Host Plant and Gypsy Moth Reduces Insect Gut Microbiota and Susceptibility to *Bacillus thuringiensis* // *Ecology and Evolution*. Vol. 6. P. 7298-7310.

Naether A., Foessel B.U., Naegele V., Wüst P.K., Weinert J., Bonkowski M., Alt F., Oelmann Y., Polle A., Lohaus G., Gockel S., Hemp A., Kalko E.K.V., Linsenmair K.E., Pfeiffer S., Renner S., Schöning I., Weisser W.W., Wells K., Fischer M., Overmann J., Friedrich M.W. 2012. Environmental Factors Affect Acidobacterial Communities below the Subgroup Level in Grassland and Forest Soils // *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 78. No. 20. P. 7398-7406.

National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information. 2023 [Электронный ресурс <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/bioproject/PRJNA833541> (дата обращения 07.02.2023)].

Pfennig N. 1965. Enrichment Cultures for Red and Green Sulfur Bacteria // *Zentbl. Bakt. Parasitkde (Abt. 1: Orig.)*. Suppl. Vol. 1. P.179-189.

Schleper C., Nicol G.W. 2010. Ammonia-oxidising Archaea – Physiology, Ecology and Evolution // *Advances in Microbial Physiology*. Vol. 57. P. 1-41.

Semenov M.V., Chernov T.I., Tkhakakhova A.K., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Kolganova T.V., Kutovaya O.V. 2018. Distribution of Prokaryotic Communities throughout the Chernozem Profiles under Different Land Uses for over

a Century // *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 127. P. 8-18.

Wang C., Dong D., Wang H., Muller K., Qin Y., Wang H., Wu W. 2016. Metagenomic Analysis of Microbial Consortia Enriched from Compost: New Insights into the Role of Actinobacteria in Lignocellulose Decomposition // *Biotechnology for Biofuels*. Vol. 9. P. 22.

Wang Q., Garrity G.M., Tiedje J.M., Cole J. R. 2007. Naïve Bayesian Classifier for Rapid Assignment of rRNA Sequences into the New Bacterial Taxonomy // *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 73. No. 16. P. 5261-7.

Yao F., Yang S., Wang Z., Wang X., Ye J., Wang X., De Bruyn J.M., Feng X., Jiang Y., Li H. 2017. Microbial Taxa Distribution is Associated with Ecological Trophic Cascades along an Elevation Gradient // *Frontiers in Microbiology*. Vol. 8. P. 2071.

МЕТОД ИТЕРАЦИИ СРЕДНИХ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

© 2023 г. Ю.И. Сухоруких, С.Г. Биганова

Майкопский государственный технологический университет

Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191. E-mail: drsuchor@rambler.ru

Поступила в редакцию 02.11.2022. После доработки 16.01.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Изучение и сохранение биологического разнообразия является одной из глобальных современных экологических проблем мировой значимости. Цель работы – предложить метод для выделения перспективных растений на основе итерации средних значений. Для этого было заложено 9 пробных площадей в степной, лесостепной и горной зонах Северо-Западного Кавказа в защитных и лесных насаждениях. На основе известных методов изучались высота, диаметр ствола, радиус кроны, обилие плодоношения, масса и балл селекционной ценности орехов. Мы исследовали изменение средних значений показателей при разном числе итераций. Предложен метод выделения перспективных особей по значениям среднего итераций 4 и 5. Сравнивали предлагаемый метод с известным, базирующимся на значениях суммы (разности) среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения. При статистическом нормальном распределении показателей известный и предлагаемый методы дают близкие значения в сторону увеличения или уменьшения показателя. Использование известного метода при статистическом распределении, отличающегося от нормального, в некоторых случаях дает значения, лишённые смысла. Предлагаемый метод, базирующийся на среднем значении итерации 4 и 5 в сторону увеличения или уменьшения изучаемого показателя, позволяет использовать его для выделения объектов при статистическом распределении, отличающихся от нормального.

Ключевые слова: экологические исследования, метод, итерация, средние, статистическое распределение, организмы, продуктивность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-124-130

EDN: CVEZIR

Одной из глобальных современных экологических проблем мировой значимости является изучение, сохранение и рациональное использование биологического разнообразия (Алимов и др., 2001; Planta Europa, 2008). Особую важность это представляет для аридных экосистем, где разнообразие снижено, а использование ограничено жесткими природно-климатическими условиями, нередко сильно отличающимися на незначительных площадях (Агролесомелиорация, 2006; Адамова и др., 2021; Кулик и др., 2021).

Основополагающим в этом является вопрос выделения устойчивых и продуктивных генотипов растительности, являющейся мощным компонентом восстановления и поддержания продуктивности таких ландшафтов (Агролесомелиорация, 2006; Адамова, Казиев, 2021; Крючков, Маттис, 2014; Беляев и др., 2021; Шамсутдинова и др., 2017). Обычно выделение нужных организмов связано с использованием средних значений их показателей (Крючков, Маттис, 2014; Петров, 1973; Терентьев, Ростова, 1977; Царёв и др., 2014; Шамсутдинова и др., 2017). Одним из широко применяемых методов для выделения перспективных растений, в частности, древесных и кустарниковых видов, является теоретическое положение о нормальном распределении признаков и возможной генетической связи продуктивности со средней величиной показателя, увеличенного (уменьшенного) на удвоенное среднеквадратичное отклонение (Петров, 1973; Сухоруких, Биганова, 2003; Царёв и др., 2014). Однако показатели могут иметь различное статистическое распределение, и в этом случае использование этого метода, как будет показано в данной работе, может привести к значительным просчетам при отборе наиболее ценных компонентов экосистем.

Для объективности исследований применяют различные методы, одним из которых является итерация. Этот метод применим для вычисления среднего арифметического значения. Для него

может вводиться ограничение на количество итераций (Макс, 1983; Роганов, 2001).

Цель работы – предложить метод выделения перспективных растений на основе итерации средних значений. В контексте работы была поставлена задача апробации данного метода при нормальном и отличающемся от него статистическом распределении показателей. Применение данного метода при изучении живых организмов нам неизвестно.

Материалы и методы

Объектом исследований являлись защитные лесные полосы и лесные насаждения, произрастающие на Северо-Западном Кавказе, в которых было заложено 9 пробных площадей (ПП). В степной зоне на ПП5 мы изучали длину окружности ствола на высоте 1.3 м у 159 деревьев ореха черного (*Juglans nigra* L.), на ПП6 – радиус крон 100 особей среднего ряда 5-рядной полезащитной лесной полосы ореха грецкого (*Juglans regia* L.), на ПП8 – обилие плодоношения у 100 растений на вышеуказанной полосе. Среднюю высоту растений полезащитных лесных полос на ПП3 из ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata* В.) устанавливали на основе 124 наблюдений, на ПП4 – у дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) при обмере 122 рамет. В лесной зоне в популяции на ПП1 определяли общий балл селекционной категории плодов для 485 кустов, на ПП2 для 217 растений – среднюю массу плодов лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.); на плантациях ореха грецкого на ПП7 у 167 саженцев определяли высоты, на ПП9 у 163 шт. – годичный прирост. В исследованиях применялись общепринятые для лесоводства и известные в селекции орехоплодных методы (Биганова и др., 2020; Сухоруких, 2008).

При разработке метода последовательное вычисление средних (итерацию) осуществляли следующим образом.

1. Данные упорядочивали по возрастающим значениям признака.
2. Затем вычисляли среднее арифметическое для всего массива данных (X_{cp1}):

$$X_{cp1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1} \quad (1),$$

где x_i – отдельные значения признака; n_1 – общая численность наблюдений.

3. Далее в обе стороны от X_{cp1} определяли последующие средние $X_{cp, k}$, для $k = 2 \dots 5$ отдельно для каждого массива, формирующегося при последующем шаге итерации. По формуле (2) для вычисления в сторону увеличения, по формуле (3) – в сторону уменьшения признака:

$$x_{cp, k} = \frac{\sum_{i: \{x_{cp, k-1} \leq x_i \leq x_{max}\}} x_i}{n_k} \quad (2)$$

$$x_{cp, k} = \frac{\sum_{i: \{x_{min} \leq x_i \leq x_{cp, k-1}\}} x_i}{n_k} \quad (3)$$

где $X_{cp, k}$ – средние при следующем шаге итераций; $k = 2 \dots 5$; n_k – численность наблюдений для каждого шага итерации.

4. При отборе в сторону увеличения показателя численность массива данных для вычисления $X_{cp2} \dots X_{cp5}$ устанавливали от значения предыдущего среднего в сторону максимального значения показателя (рис. 1): для $X_{cp2} - [X_{cp1}; X_{max}]$; для $X_{cp3} - [X_{cp2}; X_{max}]$; для $X_{cp4} - [X_{cp3}; X_{max}]$; для $X_{cp5} - [X_{cp4}; X_{max}]$.

5. При отборе в сторону уменьшения признака массивы данных при итерациях формировали от значения X_{cp1} в сторону минимального значения признака (рис. 1): для $X_{cp2} - [X_{cp1}; X_{min}]$; для $X_{cp3} - [X_{cp2}; X_{min}]$; для $X_{cp4} - [X_{cp3}; X_{min}]$; для $X_{cp5} - [X_{cp4}; X_{min}]$.

6. При наличии в массиве данных нескольких x_i , имеющих одинаковое значение со средними $X_{cp1} \dots X_{cp5}$ половину их исключали, а вторую половину включали в соответствующий массив для расчёта следующего $X_{cp, k}$.

По окончании итерации 5 мы вычисляли результирующий признак – среднее для итераций 4 и 5. Полученный результат сравнивали с вычисленным по известному методу, определяемому как сумму (разность) среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения для всей совокупности

(Петров, 1973; Царёв и др., 2014). Обработку результатов осуществляли с использованием лицензионной программы STADIA 8.0/prof для Windows и Microsoft Excel.

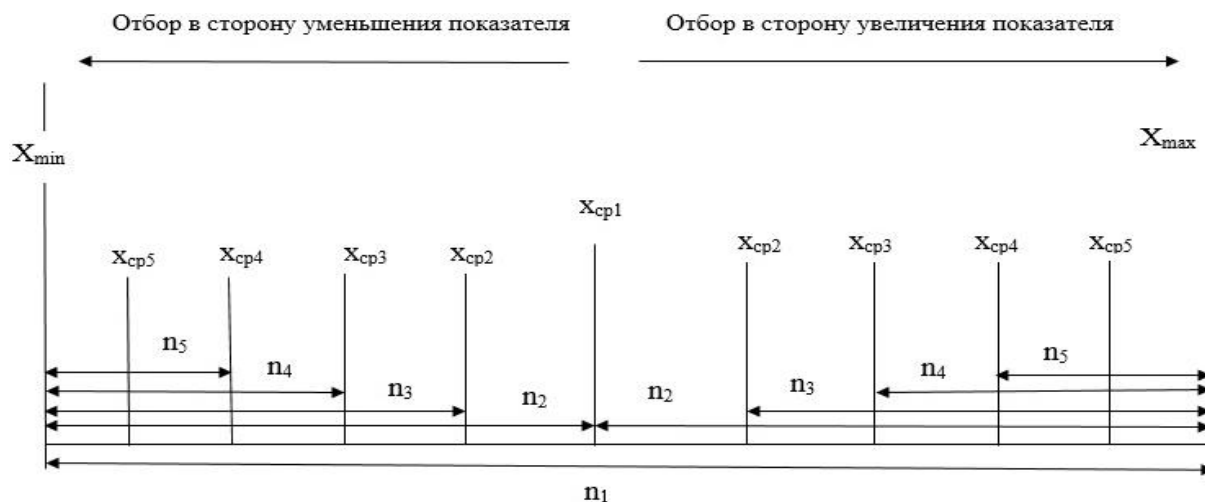


Рис. 1. Выделение массивов данных при итерации средних.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа распределения показателей пробных площадей 1-9 представлены в таблице 1. Показатели пробных площадей 1-5 имели нормальное статистическое распределение по критериям Колмогорова-Смирнова и Хи-квадрат, а пробных площадей 6-9 отличались от нормального.

Значение средних для всей совокупности при итерациях 4-5 и отличия оценки по различным методам представлены в таблице 2.

Таблица 1. Оценка распределения показателей на пробных площадях.

Объект	Заключение о статистическом распределении по критериям			
	Колмогоров-Смирнов		Хи-квадрат	
	Статистика	Значимость P	Статистика	Значимость P
ПП1	0.03673	0.1279	9.846	0.6294
ПП2	0.03767	0.7711	5.348	0.7198
ПП3	0.0505	0.9703	2.007	0.919
ПП4	0.05642	0.1539	10.57	0.1026
ПП5	0.05073	0.4937	8.253	0.3108
ПП6	0.1145	0.00347	62.4	5.958E-6
ПП7	0.1343	2.958E-7	55.49	9.252E-6
ПП8	0.1293	0.0004721	31.32	2.515E-5
ПП9	0.1707	2.082E-11	101	1.307E-5

Примечания к таблице 1. При $P > 0.05$ нулевая гипотеза об отсутствии различий между эмпирическим и нормальным распределением может быть принята; при $P \leq 0.05$ принимается альтернативная гипотеза о том, что распределение отличается от нормального.

Как следует из данных (табл. 2), значения критериев для выделения перспективных особей, определенных по известному методу в сторону увеличения, больше среднего итераций 4 и меньше итераций 5, т.е. занимают промежуточное положение между ними. С учетом этого определяли среднее между итерациями 4 и 5. Сопоставление данного значения с вычисленным по известному методу в сторону увеличения критериев отбора показало близкие результаты и отличия не превысили 1.52%. В сторону уменьшения критериев определяемые по известному методу меньше

(за исключением ПП4, где отличие составило 0.3%) среднего итерации 4 и больше среднего итерации 5. Соответственно, среднее между значениями итерации 4 и 5 отличалось от известного на 0.16-4.23%. Полученные данные указывают на хорошую согласованность предлагаемого метода с известным, и оба позволяют выделить перспективные объекты в сторону увеличения и уменьшения, которые фактически имеются на изучаемых ПП (табл. 2).

Таблица 2. Величина средних и отличие методов при выделении особей с минимальными и максимальными значениями показателей.

№ ПП и объем выборки, шт.	Мах и min значения показателей	Среднее для ПП	Значение для выделяемых объектов по известному методу, мах и min	Среднее для итераций		Значение показателей для выделяемых объектов по предлагаемому методу, мах и min	Отклонения значений известного метода от предлагаемого, мах и min, %
				4 мах и min	5 мах и min		
1 485	45.36 27.63	36.30	42.80 29.80	42.60 30.82	43.61 29.53	43.11 30.18	0.72 1.26
2 217	2.5 0.44	1.41	2.19 0.63	2.14 0.73	2.27 0.58	2.21 0.65	0.90 3.08
3 124	21.5 13	17.17	20.51 13.83	20.26 14.09	20.75 13.37	20.51 13.73	0 0.73
4 122	22 12	17.44	21.34 13.54	21.33 13.50	22.0 12.47	21.67 12.99	1.52 4.23
5 159	62 20	40.73	56.95 24.51	54.24 25.64	59.75 23.29	57 24.47	0.09 0.16

Сравнение предлагаемого и известного метода для 4 различных объектов при статистическом распределении количественных признаков, отличающихся от нормального по критериям Колмогорова-Смирнова, хи-квадрат (табл. 1), выявило следующее.

ПП6. Распределение радиуса крон у растений ореха грецкого, произрастающего в середине пятирядной защитной лесной полосы представлено на рисунке 2.

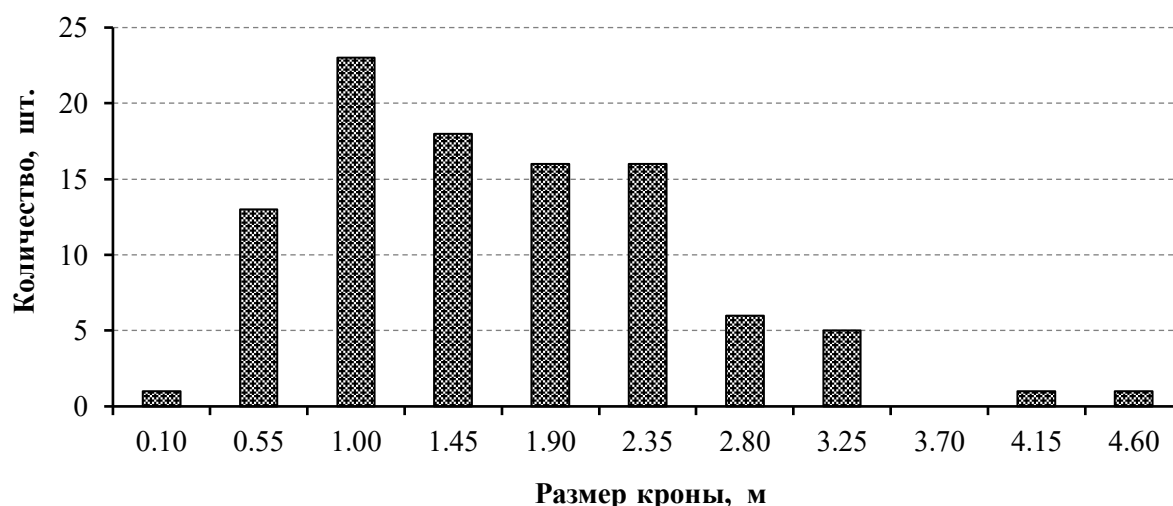


Рис. 2. Распределение радиуса крон ореха грецкого в срединном ряду защитной лесной полосы.

Средний размер кроны ореха составил 1.45 м, среднеквадратичное отклонение – 0.81 м, минимальное значение – 0.1 м, максимальное – 4.6 м, вычисленное теоретическое значение по известному методу для выделения особей с наиболее развитыми кронами – 3.07 м и более. Среднее

при итерации 4 составило 3.37 м, при итерации 5 – 4.3 м, среднее между ними – 3.84 м. Отличие значений между методами в сторону увеличения составило 20.05%. В сторону наименьшего значения теоретический размер радиуса крон по известному методу имел отрицательное значение – -0.17 м, что также лишено смысла, а вычисленное по предлагаемому методу – 0.3 м. При минимальном значении радиуса крон (0.1 м) отбор по нему на изучаемом объекте возможен.

III7. Распределение высот трехлетних саженцев ореха грецкого на плантации представлено на рисунке 3.

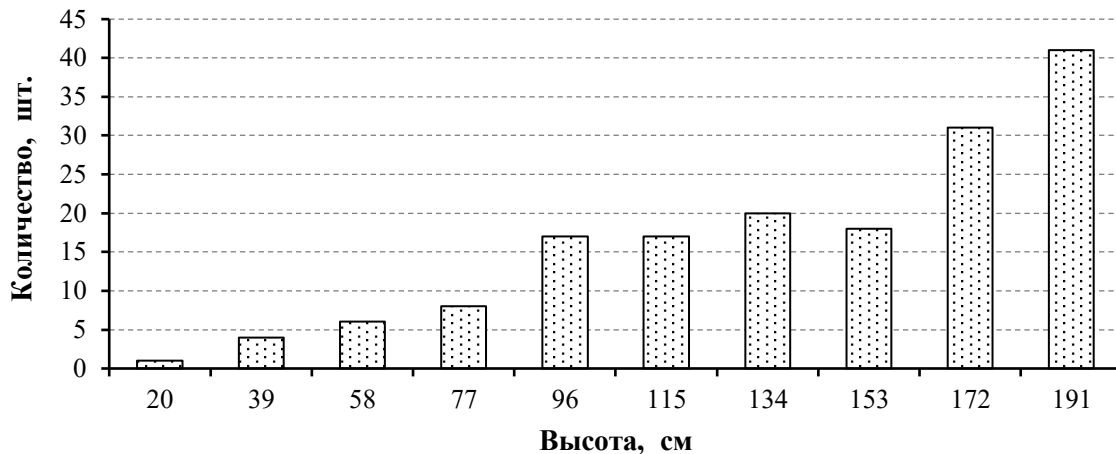


Рис. 3. Распределение высот трехлетних саженцев ореха грецкого.

Средняя высота саженцев составила 135.75 см, среднеквадратичное отклонение 44.57 см, вычисленная по известному методу величина растений, которые могут быть отнесены к перспективным по росту – 224.89 см. Фактическое максимальное значение высоты в изучаемой совокупности составило 195 см, поэтому выделение перспективных растений по известному методу в данной совокупности лишено смысла в связи с отсутствием саженцев такой высоты. По предлагаемому методу высота перспективных форм составила от 190.18 см и более, что позволяет выделить нужные растения.

В сторону уменьшения показателя высота растений для отбора составила по известному методу не более 46.61 см, по предлагаемому – 43.31 см. Отличие составило 7.62%. Отбор возможен в обоих случаях.

III8. Распределение показателя обилия плодоношения ореха грецкого в полезационной лесной полосе в условиях степной зоны Северо-Западного Кавказа представлено на рисунке 4.

В данном варианте вычисленное значение средней – 4.28, среднеквадратичного отклонения – 2.89, теоретическое значение наиболее обильно плодоносящих особей по известному методу – 10.06 шт./0.5 м² на боковой поверхности кроны. В сторону увеличения среднее итерации 4 равно 9.84, итерации 5 – 10.67, среднее между ними – 10.26 шт./0.5 м². В данном случае оба варианта имели близкие значения и отличие составило 1.95%, а при максимальном значении показателя 11 шт./0.5 м² отбор возможен по обоим методам.

В сторону уменьшения для известного метода показатель имеет отрицательное значение – -1.50, что также лишено смысла, а вычисленный по предлагаемому методу составил 0.07 шт./0.5 м² боковой поверхности кроны. При фактическом минимальном значении этого признака 0.01 шт./0.5 м² отбор по нему возможен.

III9. Распределение приростов у трехлетних саженцев ореха грецкого на плантации представлено на рисунке 5.

Среднее значение прироста составило 20.3 см, среднеквадратичного отклонения – 16.68 см, теоретическое значение для выделения перспективных особей по известному методу начинается с 53.66 см, а по предлагаемому – от 66.35 см и более. Отличия между теоретическими и фактическими значениями составили 19.13%. При максимальном значении прироста 80 см в сторону увеличения в обоих случаях отбор возможен по обоим методикам.

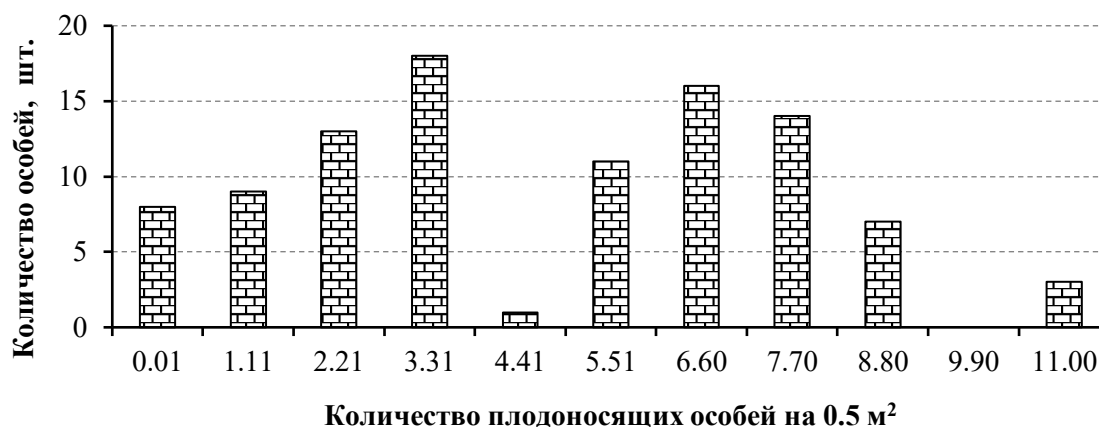


Рис. 4. Распределение показателя обилия плодоношения растений в позахщитной лесной полосе ореха грецкого.

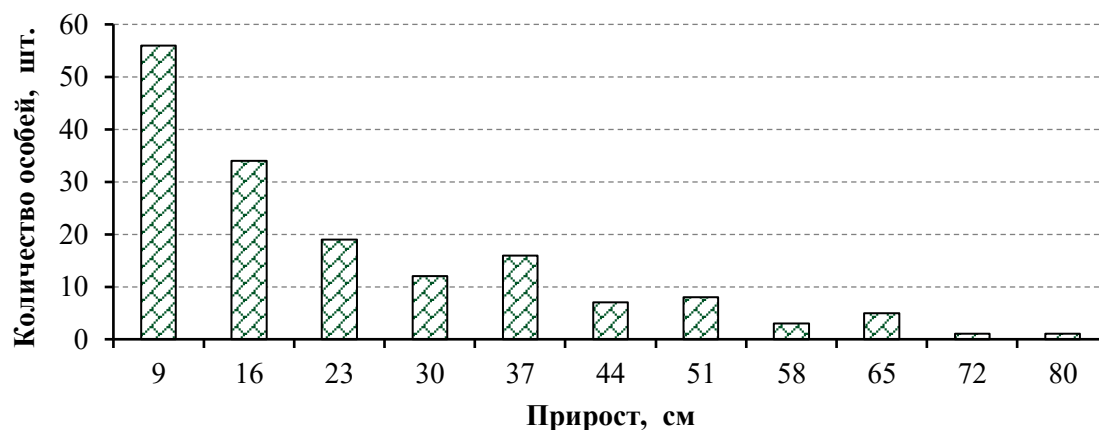


Рис. 5. Распределение приростов у трехлетних саженцев ореха грецкого.

В сторону минимального значения признака, равного 2 см, по известному методу теоретическое значение прироста имело отрицательное значение – -13.06 см, что лишено смысла, а значит, осуществить отбор по нему в данном случае невозможно. Вычисленное минимальное значение по предлагаемому методу составило 3.96 см, что позволяет выделить требуемые особи.

Выводы

1. При статистическом нормальном распределении показателей известный и предлагаемый метод в рамках изученных выборок дают близкие значения в сторону увеличения или уменьшения величины показателя.
2. Использование известного метода, базирующегося на сумме (разности) среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения при статистическом распределении, отличающимся от нормального в некоторых случаях дает значения, выходящие за пределы интервала изменений исследуемых показателей, что не позволяет осуществить отбор требуемых объектов.
3. Предлагаемый метод, базирующийся на среднем значении итерации 4 и 5 в сторону увеличения или уменьшения изучаемого показателя позволяет в ряде случаев использовать его для выделения перспективных растений при статистическом распределении, отличающемся от нормального.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроресомелиорация. 2006. 5-е изд., перераб. и доп. / Ред. А.Л. Иванов, К.Н. Кулик. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ. 746 с.

- Адамова Р.М., Казиев М.-Р.А.* 2021. Эколого-биологические аспекты формирования защитных лесных насаждений в аридных регионах // Аридные экосистемы. Т. 27. № 2 (87). С. 26-32. [*Adamova R.M., Kaziev M.-R.A.* 2021. Ecological and Biological Aspects of Formation of Protective Forest Stands in Arid Regions // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 2. P. 135-140.]
- Алимов А.Ф., Алтухов Ю.П., Амирханов А.М.* 2001. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России: Принята на Форуме по сохранению живой природы России (Москва, июнь 2001 г.). М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия». 76 с.
- Беляев А.И., Кулик К.Н., Манаенков А.С.* 2021. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 68 с.
- Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Пчихачев Э.К.* 2020. Программные требования к перспективному генофонду лещины (фундука) // Новые технологии. Вып. 2 (52). С. 135-143.
- Крючков С.Н., Маттис Г.Я.* 2014. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ. 301 с.
- Кулик А.К., Кулик К.Н., Власенко М.В., Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г.* 2021. Формирование водного режима на песках Арчединско-Донского массива в зависимости от распространения растительных формаций // Аридные экосистемы. Т. 27. № 4 (89). С. 50-58. [*Kulik A.K., Kulik K.N., Vlasenko M.V., Sukhorukikh Yu.I., Biganova S.G.* 2021. Water-Regime Formation in Sands of the Archeda–Don Massif with Respect to the Distribution of Plant Formations // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 4. P. 358-366.]
- Макс Ж.* 1983. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х томах. М.: Мир. Т. 1. 312 с.
- Петров С.А.* 1973. Методы определения и практическое использование коэффициента наследуемости в лесоводстве. М: Типография ЦБНТИлесхоза. 51 с.
- Роганов Е.А.* 2001. Основы информатики и программирования: учебное пособие. М.: МГИУ. 315 с.
- Сухоруких Ю.И.* 2008. Избранные труды. Кн. 2: Орехоплодные. Майкоп: ООО «Качество». 396 с.
- Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г.* 2003. Селекция ореха грецкого для полезащитного лесоразведения // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. № S12. С. 60-63.
- Герентьев П.В., Ростова Н.С.* 1977. Практикум по биометрии: учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинградского университета. 152 с.
- Царёв А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В.* 2014. Селекция лесных и декоративных древесных растений: учебник / Ред. А.П. Царёв. М: МГУЛ. 552 с.
- Шамсутдинова Э.З., Косолапов В.М., Кенжегалиев Г.К.* 2017. Селекция солеустойчивого сорта однолетнего галофита сведы высокой (*Suaeda altissima* L.) в Прикаспийской полупустыне // Российская сельскохозяйственная наука. № 5. С. 24-27.
- Planta Europa. 2008. European Strategy for Plant Conservation (2008-2014): A Sustainable Future for Europe. Plantlife International, Salisbury, UK and Council of Europe, Strasbourg. 64 p.

УДК 631.48

СТРУКТУРА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И СВОЙСТВА ПОЧВ ПАСТБИЩ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫПАСА

© 2023 г. А.В. Борисов*, И.А. Идрисов**, В.Н. Пинской*, А. Потапова*,
А.В. Бухонов*, М.В. Ельцов*

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
Россия, 142290, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2а. E-mail: a.v.borisovv@gmail.com

**Институт геологии Дагестанского научного центра РАН
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75

Поступила в редакцию 19.05.2022. После доработки 15.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Проведено исследование особенностей почвенного покрова солонцовых комплексов на разных участках пастбища среднестатистической овцеводческого хозяйства в сухостепной зоне в бассейне р. Маныч в условиях расчлененного рельефа. Установлено, что на территории пастбища можно выделить несколько типов почвенного покрова, различающихся по степени трансформации профиля разных компонентов солонцового комплекса под влиянием интенсивного выпаса. Показано, что неоднородность почвенного покрова обусловлена неравномерным воздействием выпаса, который, в свою очередь, определяется как степенью удаленности от фермы, так и особенностями растительного покрова на разных участках пастбища. Наибольшей пастбищной нагрузке подвержены участки с хорошо выраженной комплексностью почвенного покрова и высокой долей солонцов, на которых доминируют злаково-полынные ассоциации. Отмечена тенденция к сокращению мощности горизонтов А₁ и S_{EL} светло-каштановых почв и солонцов и по мере усиления пастбищной нагрузки. В почвенном покрове ковыльных участков пастбищ доля солонцов значительно ниже, что можно связывать с кратковременной пастбищной нагрузкой на эти почвы.

Ключевые слова: степь, пастбища, фитоценозы, выпас скота, почвы, солонцовый процесс, эрозия.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-131-140

EDN: CRLAES

Современное состояние почвенного и растительного покрова природных кормовых угодий является одной из важнейших проблем в аридной зоне, где скотоводство занимает ведущую позицию в экономике. Всевозрастающая роль пастбищной нагрузки в функционировании почв естественных пастбищ, а также устойчивый характер изменений почвенных свойств в условиях выпаса предложено рассматривать как особое направление в контексте антропогенного почвообразования (Залибеков, Биарсланов, 2015).

К настоящему времени накоплен обширный фактический материал об изменениях растительного покрова пастбищ при разной интенсивности выпаса скота (Иванов, 1958; Дымова, 2008; Новикова и др., 2010; Ghorbani et al., 2020; Öllerer et al., 2019, Zhang et al., 2021). Значительный прогресс достигнут в области изучения изменений почвенной структуры и эрозии условия выпаса (Котенко, 1993; Ганиева и др., 2019; Hancock et al., 2020; Pulido et al., 2018; Steffens et al., 2008; Zhou et al., 2010; Hiltbrunner et al., 2012; Donovan, Monaghan, 2021). Особенно пристальное внимание уделяется изучению баланса элементов питания в почвах пастбищ при разной интенсивности выпаса (Schipper et al., 2017; Throop et al., 2022; Chen et al., 2021) и биологической активности почв (Zhang, Fu, 2020; Picariello et al., 2021).

При этом большинство исследований посвящено изучению почв, находящихся в эталонных условиях, когда изменения тех или иных почвенных свойств связаны только с изменениями интенсивности пастбищной нагрузки. В тех же случаях, когда имеет место выраженный рельеф, учесть его влияние на химические и биологические свойства почв пастбищ бывает крайне сложно (Burke et al., 1999). В то же время при анализе космоснимков хорошо видно, что в условиях

расчлененного рельефа на территории пастбищ выделяются участки с разной растительностью, что предполагает различия в структуре почвенного покрова. Причем такого рода различия не всегда связаны с градиентом пастбищной нагрузки. В данной статье предпринята попытка установить масштабы и причины варьирования почвенных свойств на разных участках пастбища.

Материалы и методы

Район исследования расположен в сухостепной зоне Русской равнины на южном склоне Сальско-Маньчской гряды и относится к бассейну р. Маньч. Рельеф пологоволнистый; территория хорошо расчленена балками, врез балок может достигать 20 м и более. Климат умеренно континентальный. Среднегодовое количество осадков составляет 350 мм. Две трети осадков приходится на тёплый период года. Среднегодовая температура составляет 9°C (Масанов, 1995; Агроклиматические ресурсы, 1974).

Исследованы почвы на склоне балки Кереста у поселка Первомайский Ремонтненского района Ростовской области. Балка представляет собой высохшее русло палеореки со слабо выраженной террасой. Почвообразующие породы представлены аллювием майкопских глин и лессовидных карбонатных отложений. В целом участок характерен для автоморфных ландшафтов полынно-типчаково-ковыльной степи южной части Сальско-Маньчской гряды. В почвенном покрове преобладают светло-каштановые почвы в комплексах с солонцами.

Исследование почвенного покрова проводилось в окрестностях овцеводческой фермы (46.421330 с.ш., 43.519291 в.д.), которую можно рассматривать как среднестатистический вариант степного пастбищного хозяйства с круглогодичным выпасом мелкого рогатого скота. Территория пастбища имеет естественные границы по балкам с севера, запада и юга (рис. 1). Восточной границей пастбища являются пахотные поля.

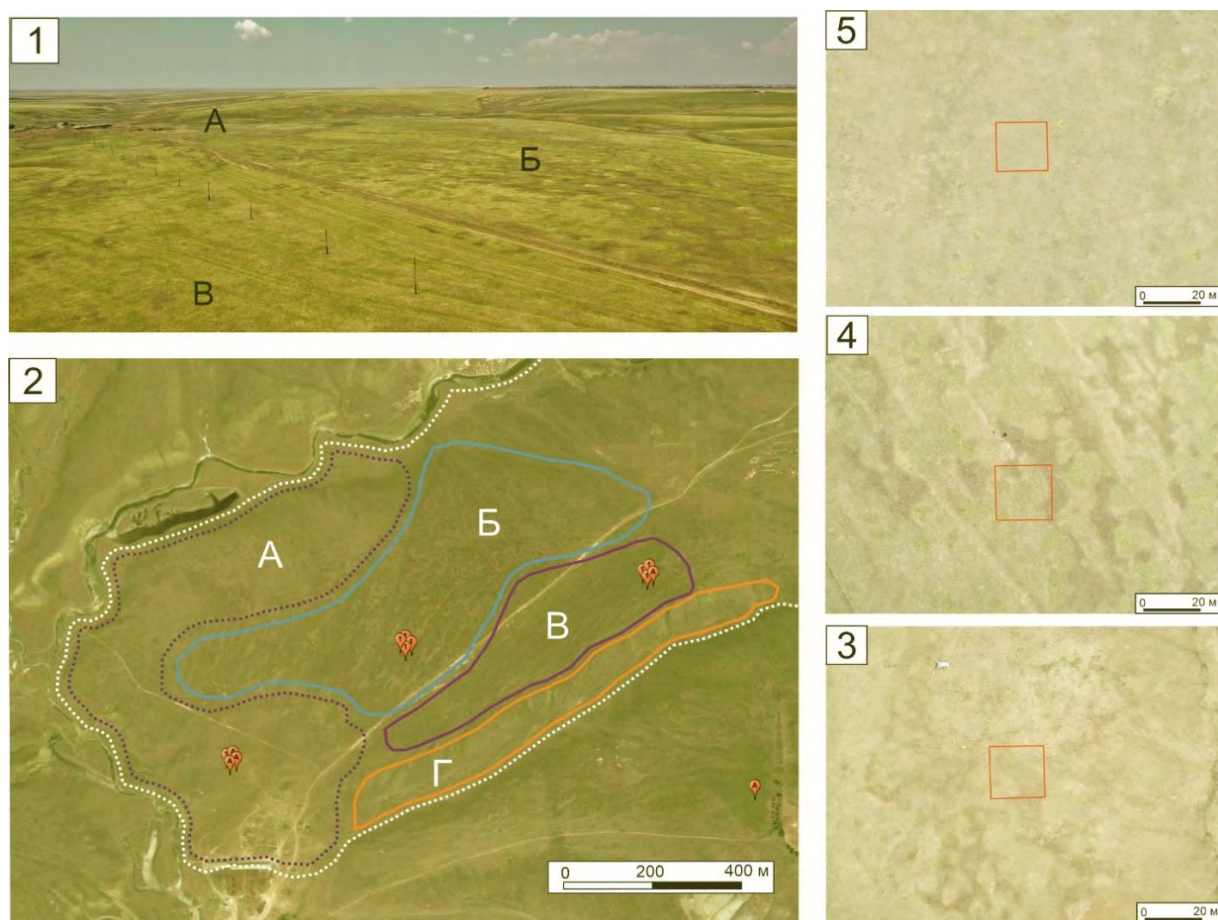


Рис. 1. Вид на ключевой участок (1), ареалы почв с разной структурой почвенного покрова (2), почвенный покров в зоне А (3), Б (4) и В (5).

Растительный покров неоднородный. На участках с корковыми и мелкими солонцами развиты чернопопынные группировки (в основном *Artemisia pauciflora*), проективное покрытие здесь не превышает 30-50%, на поверхности почвы встречаются сине-зеленые водоросли (*Nostoc commune*). На солонцах средних и светло-каштановых солонцеватых почвах растительность представлена главным образом типчаково-белопопынными сообществами (*Festuca valesiaca*, *Artemisia lercheana*, *A. austriaca*). На участках преимущественно с каштановыми почвами преобладают злаковые группировки с доминированием ковыля-волосатика (*Stipa capillata*).

При анализе космоснимков на территории пастбища хорошо видна неоднородность почвенно-растительного покрова, позволяющая выделить несколько зон (рис. 1).

Зона А – территория, прилегающая к ферме и водопою. Зона сильной пастбищной деградации с изреженным растительным покровом. На снимке выглядит как слабо контрастное сочетание более темных пятен черной полыни на солонцах на более светлом фоне прутняково-попынных ассоциаций на ареалах светло-каштановых почв. Преимущественно локализована в пределах речной террасы и нижней части склона. Для этой территории характерны скотосбой. Комплексность почвенного покрова с участием солонцов и светло-каштановых почв резко выражена. При этом различия в растительном покрове выражены менее заметно (рис. 1 (3)).

Зона Б занимает большую часть склона северо-западной экспозиции. На снимках она резко контрастного сочетания ареалов солонцов с черной полынью (темные участки, рис. 1 (2)) и светлых ареалов, занятых злаково-попынными ассоциациями с участием ковыля. Такого рода комплексы образуют характерную «древовидную» структуру почвенного покрова в этой зоне (рис. 1 (1)).

Зона В приурочена к водораздельному участку и склону юго-восточной экспозиции. На снимках выглядит как однородное темное пятно. В почвенном покрове доминируют светло-каштановые почвы под ковыльной растительностью.

Зона Г – склон балки южной экспозиции с эродированными светло-каштановыми почвами. В данной статье свойства почв этой зоны не будут рассматриваться.

Для выбора тестовых участков использовали низковысотную съемку с помощью квадрокоптера Mavik-3. На снимках выявляли участки с наиболее типичным для каждой зоны почвенным покровом. Обследование почв проводили на площадках размером 20 x 20 м. Исследования начинали с описания растительности и нивелировки поверхности почвы по сетке с шагом 2 метра. Через каждые 2 метра по сетке закладывались прикопки глубиной 40-50 см, в которых проводилось описание почвенного профиля, замер мощности почвенных горизонтов, глубины вскипания от HCl, определение типовой и родовой принадлежности почвенных разностей и степени морфологической выраженности солонцового процесса. В качестве диагностических критериев солонцового процесса фиксировали призматическую структуру в горизонте В1 с вертикальной ориентацией призм, наличие натечных органо-глинистых кутан и листовато-слоистую структуру в горизонте А (Хитров, 2004).

В местах наиболее близкого расположения почвенных разностей с максимально контрастно выраженными признаками солонцового процесса закладывали траншею таким образом, чтобы один ее край вскрывал солонец, а второй – каштановую почву с минимальными проявлениями солонцовых признаков. В траншее выполняли морфолого-генетический анализ почвенного профиля и отбор почв на химические и микробиологические анализы. Определение содержания органического углерода, карбонатов, значений pH, гранулометрического состава проведено по общепринятым методикам в Центре коллективного пользования «Физико-химические методы исследования почв и экосистем» РАН.

Результаты и обсуждение

Структура почвенного покрова. В зоне А в растительном покрове хорошо выражены пятна с практически полностью стравленной растительностью. На остальной части преобладают мятликово-попынные ассоциации. Площадь солонцовых пятен превышает 50%. Микрорельеф поверхности и структура почвенного покрова представлена на рисунке 2 (1).

В зоне Б соотношение солонцов и светло-каштановых почв незначительно отличается от зоны А. В то же время ни в одной прикопке в этой зоне, в отличие от зоны А, мы не обнаружили солонцы корковые и мелкие, только средние и глубокие разности. Растительный покров на солонцах был представлен преимущественно опынными ассоциациями, на светло-каштановых

почва – типчаково-белопопынными.

В зоне В доминировали светло-каштановые почвы без признаков солонцового процесс на макроуровне. В растительном покрове преобладал ковыль-волосатик.

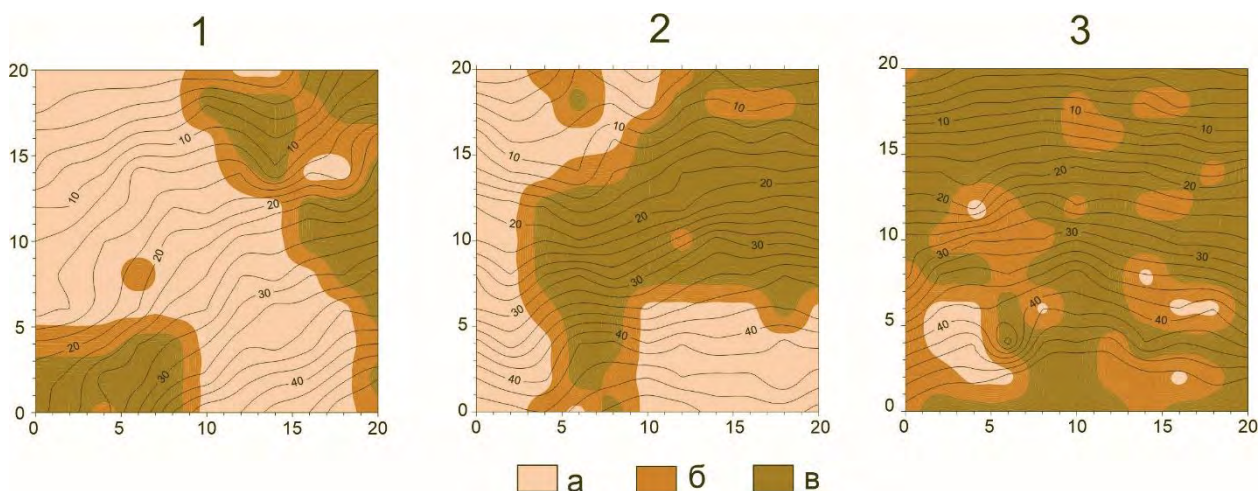


Рис. 2. Структура почвенного покрова в зоне А (1), Б (2) и В (3). Условные обозначения: а – солонцы, б – светло-каштановые солонцеватые почвы, в – светло-каштановые без признаков солонцового процесса на макроуровне.

Морфологические свойства почв. Зона А. На участке наиболее контрастного перехода солонцов в светло-каштановые почвы заложена траншея длиной 3.5 метра, ориентированная в направлении запад-восток. В западной части траншея вскрывала светло-каштановую почву без морфологических признаков солонцового процесса, в восточной части – солонец корковый.

В профиле светло-каштановой почвы выделяется горизонт АJ (0-12 см) – палево-серый легкий суглинок комковатой порошистой структуры с затечной нижней границей. Постепенно переходит в горизонт ВМКsn (12-40 см), представленный серо-коричневым средним суглинком комковато-глыбистой структуры с вертикальными трещинами. В карбонатном профиле выделяется горизонт ВСAdc (40-53 см) – коричнево-палевый средний суглинок мелко-призмической структуры с новообразованиями CaCO_3 в виде аморфных пятен и горизонт САТnc (53-95 см) – ореховатой структуры с обильной крупной белоглазкой. С глубины 95 см залегает почвообразующая порода – желто-бурый средний суглинок глыбистой структуры с тонкими прожилками солей.

Переход светло-каштановой почвы в солонец происходит на участке менее 3 м. В *солонце корковом* резко выражен горизонт SEL (0-5 см) с характерной белесой окраской, порошисто-слоистой структурой и палисадной нижней границей. Солонцовый горизонт BSN (5-22 см) – красновато-бурый тяжелый суглинок призмической структуры с округлыми головками вертикальных структурных отдельностей. На поверхности головок при подсыхании становятся заметны скелетаны. При этом поверхности призм шероховатые, кутаны визуально не прослеживаются. Карбонатный горизонт включает горизонт ВСAdc,s (22-52 см), где карбонаты представлены в дисперсной форме, и горизонт с обильной мелкой белоглазкой САТnc,s (52-90 см). С глубины 90 см в горизонте Cs встречаются прожилки легкорастворимых солей, а с глубины 150 см залегает почвообразующая порода – желтовато-палевый средний суглинок с обильными скоплениями кристаллов гипса.

Зона Б. Тестовой площадкой охвачен участок с выраженным солонцовым пятном и крупным ареалом светло-каштановых почв. В месте перехода светло-каштановых почв в солонцы был заложен разрез длиной 2.5 м. Восточный торец траншеи вскрыл светло-каштановую почву, западный – солонец средний. Морфологические свойства почвенного комплекса на этом участке довольно близки с таковыми на участке Кеерста-1. В то же время отмечен ряд существенных различий. Так, в профиле светло-каштановой почвы гумусовые горизонты АJ и ВМКsn имеют большую мощность (20 и 25 см соответственно). Карбонатный горизонт САТnc,nd (45-90 см) – большей мощности, без четкой сегрегации слоев по формам новообразований карбонатов. С глубины 90 см залегает горизонт Cs – желтоватый легкий суглинок с редкими прожилками легкорастворимых солей

и скоплениями кристаллов гипса.

Во всех прикопках, в которых были вскрыты солонцы, это были исключительно средние и глубокие разности; корковых форм, как на площадке 1, обнаружено не было. Горизонт АJ – слоевато-порошистой структуры в верхней части горизонта и листоватой в нижней. Нижняя граница палисадная. Горизонт BSN мощностью 15-20 см – призматической структуры с выраженным превышением вертикального размера призм над горизонтальным. Грани структурных отдельностей с обильными кутанами иллювиирования. Карбонатный профиль также включает горизонт BCAdc (32-50 см) с характерным белесоватым оттенком от сильной карбонатной пропитки и горизонт SATnd (50-70 см) с мелкой обильной белоглазкой с размытыми краями. Почвообразующая порода (горизонт Cs) – с глубины 70 см. С глубины 120 см появляются кристаллы гипса.

Зона Б. В почвенном покрове этой зоны нет солонцовых пятен. Микрорельеф слабо выражен. Горизонт АJ светло-каштановых почв мощностью около 20 см палево-серый, легкосуглинистый, комковато-порошистой структуры. Постепенно переходит в горизонт BMKsn (20-40 см) без признаков солонцового процесса на макроуровне. Как и в вышеописанных случаях, карбонатный профиль включает горизонт BCAdc, переходящий в горизонт сегрегационных форм карбонатов SATnc.

Химические свойства почв. Значения pH во всех случаях были в целом близки и не выходили за пределы 8.0-8.6. Лишь в нижней части горизонта BCAdc в отдельных случаях pH достигал 9.0.

Содержание органического углерода было максимально в почвах в зоне А в условиях интенсивного выпаса, где этот показатель достигал 1.84% в светло-каштановых почвах и 1.41% в солонцах корковых (табл.). В зоне В этот показатель снизился до 1.48% в светло-каштановой почве и 1.17% в солонце. А минимальные значения этого показателя выявлены в зоне В.

Также в почвах в зоне А были выявлены высокие показатели емкости катионного обмена, причем и в солонцах, и в светло-каштановых почвах эти показатели были выше, чем в их аналогах в зоне Б. И лишь в светло-каштановых почвах в зоне В показатель был выше.

Профильное распределение карбонатов было в целом однотипным в почвах во всех исследованных зонах. В то же время хорошо заметна тенденция к увеличению глубины верхней границы карбонатного горизонта в направлении зон А-В (рис. 3). При этом в зоне А до глубины 40 см почвы практически полностью выщелочены от карбонатов, в то время как в зоне Б и особенно в зоне А содержание карбонатов в верхних горизонтах заметно возрастает.

Более сложный характер профильного изменения был выявлен для легкорастворимых солей (рис. 3 (3)). Для светло-каштановых почв во всех зонах характерно постепенное возрастание засоленности с глубиной при практически полном рассолении верхней части профиля. В солонцах в зоне Б уже хорошо заметен пик содержания солей на глубине 70 см. Наиболее контрастный солевой профиль в почвах – в зоне А. Так, в солонце, развитом в 2 метрах от практически рассоленной светло-каштановой почвы, содержание легкорастворимых солей превышает 1.5% уже в слое 20-30 см.

Текстурная дифференциация профиля исследованных почв выражена в разной степени. Наиболее характерный пик содержания ила в иллювиальном горизонте отмечен только в профиле солонца в зоне А. Во всех других почвах наблюдается постепенное возрастание содержания ила в иллювиальной части профиля. При этом графики профильной динамики этого показателя в светло-каштановых почвах и солонцах в зоне Б различаются незначительно, в то время как признаки солонцового процесса в светло-каштановых почвах на макроуровне на макроуровне практически не проявляются, при этом в солонце наблюдается хорошо сформировавшаяся призматическая структура с вертикальной ориентировкой призм и обильными начетными кутанами в горизонте BSN и листовато-слоистая структура элювиального горизонта. Весьма показателен илистый профиль светло-каштановой почвы в зоне В. Здесь форма пика содержания ила абсолютно характерна для солонцового процесса, но на морфологическом уровне он не проявляется.

Состав обменных оснований в светло-каштановых почвах был однотипный на всех выделенных зонах (табл.). До 80% от емкости катионного обмена и более составлял епльций. Что касается солонцов, то здесь заметно некоторое возрастания доли обменного натрия до 4-7% от емкости катионного обмена в зоне Б и до 15-20% в зоне А. Следует обратить внимание на довольно высокие значения содержания обменного натрия в иллювиальной части профиля светло-каштановой почвы в зоне В. Здесь этот показатель практически соответствует значениям иллювиального горизонта солонцов в зоне Б.

Таблица. Некоторые химические свойства исследованных почв.

Почва	Горизонт	Глубина	С _{орг.} , %	рН _{водн.}	ЕКОст	Обмен. Основания, ммоль(экв)/100 г			
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Зона А									
Светло-каштановая	AJ	0-12	1.84	8.1	18.4	11.24	3.45	0.07	1.08
	BMKsn	12-20	1.13	7.9	23.0	17.44	3.84	0.09	1.05
		20-30	0.92	8.3	20.7	22.11	4.03	0.09	1.05
	BCAdc	30-40	0.70	8.4	25.3	22.53	4.57	0.09	0.72
		40-53	0.45	8.6	25.3	20.65	5.27	0.09	0.46
Солонец корковый	SEL	0-5	1.41	8.0	13.8	5.00	2.65	0.65	0.82
	BSNs	5-22	1.13	8.8	29.9	8.44	10.04	8.30	0.44
	BCAdc.s	22-30	0.46	8.9	27.0	6.60	10.26	8.48	0.36
		30-40	0.25	8.8	24.7	5.57	9.87	6.35	0.15
	40-52	0.20	8.2	20.2	5.27	9.31	5.04	0.10	
Зона Б									
Светло-каштановая	AJ	0-10	1.48	8.0	11.5	8.81	2.31	0.22	0.26
		10-20	0.94	7.9	16.1	13.28	3.39	0.30	0.79
	BMKsn	20-30	0.81	7.6	23.0	19.08	5.11	0.09	0.53
		30-45	0.60	7.7	23.0	19.55	5.48	0.13	0.41
	BCAdc	45-60	0.46	8.4	20.7	17.97	4.53	0.09	0.21
Солонец средний	SEL	0-15	1.17	8.1	13.8	7.07	2.15	0.30	0.28
	BSN	10-20	0.82	7.8	16.1	11.02	3.88	0.35	0.49
	BCAdc	20-32	0.97	7.9	25.3	13.00	5.00	1.00	0.40
		32-40	0.80	8.7	25.3	15.49	7.65	1.87	0.28
	40-50	0.59	9.0	22.5	14.84	7.58	2.09	0.21	
Зона В									
Светло-Каштановая	AJ	0-10	1.02	8.0	18.40	9.06	2.79	0.30	0.46
		10-20	0.92	8.0	18.40	14.67	5.44	0.17	0.26
	BMKsn	20-30	0.89	8.4	33.75	23.16	9.22	0.61	0.18
		30-40	0.51	8.9	24.75	15.31	7.41	0.87	0.15
	BCAdc	40-50	0.38	9.0	20.25	12.91	7.57	1.39	0.15

Заключение

Выделенные зоны внутри пастбища отличались по ряду почвенных параметров. В первую очередь, отличия заключались в структуре почвенного покрова – солонцовые комплексы во зоне А и Б при практически полном отсутствии солонцов в зоне В. На снимках поверхности почвы хорошо заметны более «размытые» границы солонцов и каштановых почв в зоне А, что, возможно, связано с более изреженным растительным покровом в условиях интенсивного выпаса и скотопргона. Отметим, что зоны А и Б наиболее близки к ферме, что обуславливает более высокую пастбищную нагрузку. Помимо этого, в зонах А и Б заметно меньше ковыля-волосатика по сравнению с зоной В. Выпас овец на ковылях довольно ограничен по времени в связи с комплексом неблагоприятных факторов для здоровья скота (Дударь, 197; Надеждин, Кузнецов, 2015), что обуславливает меньшую пастбищную нагрузку на почвы.

Таким образом, в данном случае можно говорить о связи между долей солонцов в структуре почвенного покрова и интенсивностью выпаса. Следует отметить, что в работах З.Г. Залибекова (1982) поднимался вопрос о связи интенсивной пастбы скота с такими морфологическими проявлениями солонцового процесса, как осветление и уплотнение верхнего горизонта, трещиноватость в солонцовом горизонте, а также с активизацией процессов миграции солей и их

накопление в верхней части профиля. Но вывод о прямой связи между подъемом солей вследствие выпаса и возможностью развития солонцового процесса тогда не был сделан. Также доказана связь засоленности почв с их уплотнением и изменением водно-воздушных свойств почв в зоне интенсивного выпаса (Stavi et al., 2008). Поэтому в нашем случае весьма показательна большая засоленность солонцов в зоне А и Б при практически полном отсутствии солей в светло-каштановой почве.

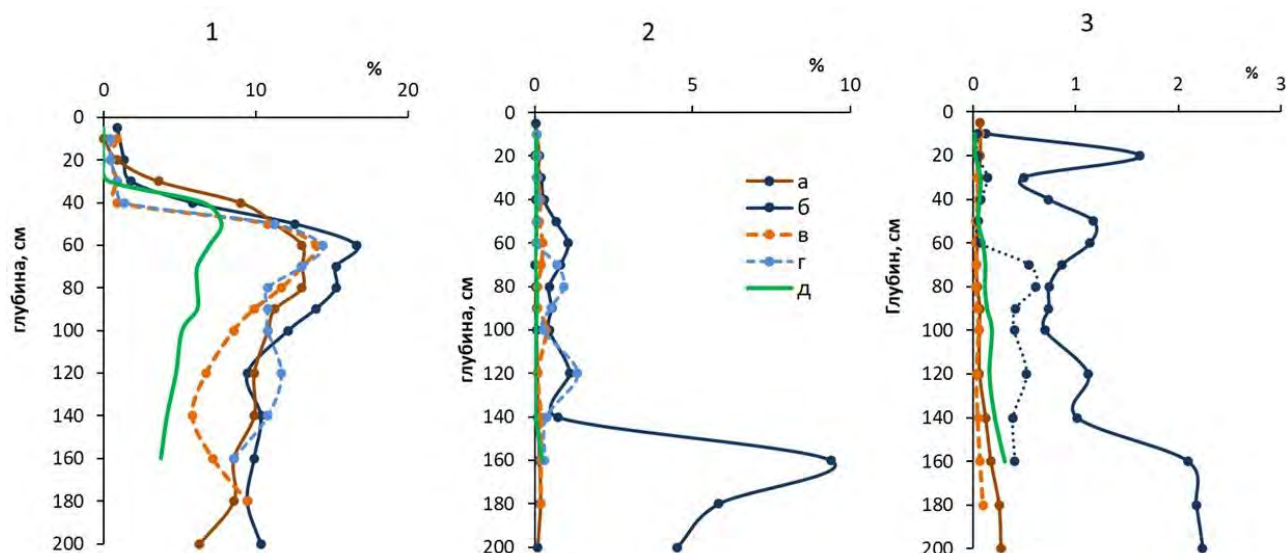


Рис. 3. Изменение профильного содержания карбонатов (1), гипса (2) и содержания солей (плотный остаток) (3) в исследованных почвах. Условные обозначения: а – зона А, светло-каштановая почва, б – зона А, солонец, в – зона Б, светло-каштановая почва, г – зона Б, солонец, д – зона В, светло-каштановая почва.

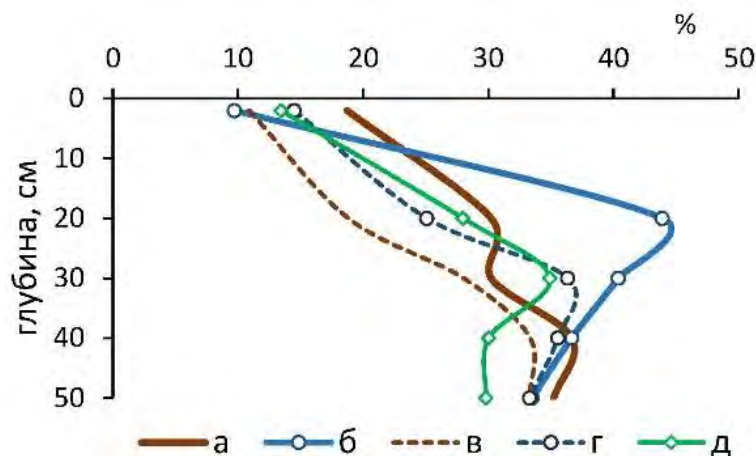


Рис. 4. Содержание ила в верхней части профиля исследованных почв. Условные обозначения: а – зона А, светло-каштановая почва, б – зона А, солонец, в – зона Б, светло-каштановая почва, г – зона Б, солонец, д – зона В, светло-каштановая почва.

Солонцы в зоне Б демонстрировали все признаки солонцового процесса при доле обменного натрия на уровне 4-5% от емкости катионного обмена, в то время как в зоне А доля обменного натрия превышала 20% при той же степени выраженности солонцовых признаков. При этом в зоне В в почвах с содержанием обменного натрия 2-4% солонцовый процесс не проявлялся на макроуровне, хотя по в иллювиальной части профиля был заметен характерный «солонцовый» пик содержания ила. Можно предполагать, что определенную роль в формировании солонцов в зоне Б в данном случае играет обменный магний, который во всех почвах составляет 20-30% емкости катионного обмена

и роль которого в осолонцевании почв уже обсуждалась (Панов, Гончарова, 1971; Минкин и др., 1982).

Неожиданным оказались высокие значения $C_{орг}$ в зоне А, где налицо все признаки наиболее сильной пастбищной нагрузки. Ранее было показано отсутствие прямой зависимости между выпасом и запасами $C_{орг}$ в почвах (Raiesi, Asadi, 2006; Noretto et al., 2006; Steffens et al., 2008). В отдельных случаях отмечается отсутствие изменений в содержании $C_{орг}$ от интенсивности выпаса (Piñeiro et al., 2010); в других случаях содержание $C_{орг}$ падает при усилении пастбищной нагрузки (Su et al., 2005; Golluscio et al., 2009). Отмечено также некоторое увеличение $C_{орг}$ в зоне с умеренной пастбищной нагрузкой (Zhang et al., 2018; Khomutova et al., 2021). В нашем случае эффект увеличения содержания $C_{орг}$ в почвах в окрестностях фермы можно связать с поступлением в почву дополнительных объемов органического углерода с навозом и мочой скота. Также нельзя исключить влияние более эффективной минерализации в почве растительных остатков при их вдавливании в почву скотом (Wang et al., 2018).

Выводы

Таким образом, в пределах пастбища можно выделить несколько зон с различным почвенным покровом. Неоднородность покрова обусловлена разной интенсивностью пастбищной нагрузки, которая, в свою очередь, определяется удалённостью от фермы и особенностями растительного покрова, в первую очередь, его кормовой ценностью и сезоном стравливания. На участках с ковыльной растительностью овец выпасают только весной, поэтому пастбищная нагрузка минимальна, как и нарушения почвенного покрова, вследствие чего на таких участках он более однородный, а доля солонцов незначительна.

Максимальная пастбищная нагрузка наблюдается на участках с комплексным растительным покровом и полынно-злаковыми растительными ассоциациями, где скот может пастись на протяжении всего года, в т.ч. в зимний период. В этих условиях нарушения почвенно-растительного покрова приводят к формированию неоднородного засоления почв, что создаются предпосылки для возникновения и последующего поддержания солонцового процесса.

Дальнейшее усиление пастбищной нагрузки вызывает сокращение мощности горизонта SEL и эволюцию солонцов глубоких и средних в мелкие и корковые разности.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-68-00010 «Палеоэкология и палеоэкономика древнего населения Крыма: хозяйственные модели в меняющихся природных условиях и вклад древней антропогенной деятельности в формирование современного почвенного покрова региона».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматические ресурсы Калмыцкой АССР. 1974. Ленинград: Гидрометиздат. 124 с.
- Ганиева С.А., Дюньмалиева Н.Я., Рамазанова Ф.М. 2019. Влияние выпаса на свойства почв в условиях сухих субтропических степей Азербайджана // Аридные экосистемы. Т. 25. № 3 (80). С. 39-44. [Ganieva S.A., Dyunyamalieva N.Ya., Ramazanova F.M. 2019. Grazing Effect on Soil Properties in Dry Subtropic Steppes of Azerbaijan // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 3. P. 174-178.]
- Дударь А.К. 1971. Ядовитые и вредные растения лугов, сенокосов, пастбищ: характеристика, меры по уничтожению. М.: Россельхозиздат. 95 с.
- Дымова Т.В. 2008. Антропогенная трансформация растительности пастбищ дельты Волги под влиянием выпаса. Астрахань: Астраханский университет. 134 с.
- Залибеков З.Г. 1982. Изучение почвенного покрова при интенсификации антропогенного воздействия // Почвоведение. № 7. С. 26-37.
- Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б. 2015. Развитие антропогенного почвоведения как самостоятельной отрасли естественных наук // Аридные экосистемы. Т. 21. № 1 (62). С. 5-16. [Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B. 2015. Development of anthropogenic soil science as a separate branch of science // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 1. P. 1-9.]
- Иванов В.В. 1958. Степи Западного Казахстана в связи с динамикой их покрова. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 289 с.
- Котенко М.Е. 1993. Некоторые изменения светло-каштановых почв Терско-Сулакской низменности при различных пастбищных нагрузках // Почвоведение. № 4. С. 108-111.
- Масанов Н.Э. 1995. Кочевая цивилизация казахов: основы жизнедеятельности кочевнического общества. Алматы: «Социнвест»-Москва: «Горизонт». 320 с.
- Минкин М.Б., Горбунова Н.И., Садименко П.А. 1982. Актуальные вопросы физической и коллоидной химии

почв. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета. 280 с.

- Надеждин С.Н., Кузнецов И.Ю. 2015. Полезные, вредные и ядовитые растения. М.: КноРус. 256 с.
- Новикова Н.М., Вышивкин А.А., Шадрин М.Б., Бухарева О.А. 2010. Изменение растительности солонцового комплекса Джаныбекского стационара и его окрестностей при разной интенсивности выпаса // Аридные экосистемы. Т. 16. № 5 (45). С. 98-110.
- Панов Н.П., Гончарова Н.А. 1971. Особенности генезиса малонатриевых солонцов степной зоны // Труды института почвоведения и агрохимии. Вып. 6. С. 503-507.
- Хитров Н.Б. 2004. Выбор диагностических критериев существования и степени выраженности солонцового процесса в почвах // Почвоведение. № 1. С. 18-31.
- Burke I., Lauenroth W., Riggall R., Brannen P., Madigan B., Beard S. 1999. Spatial Variability of Soil Properties in the Shortgrass Steppe: The Relative Importance of Topography, Grazing, Microsite, and Plant Species in Controlling Spatial Patterns // Ecosystems. No. 2. P. 422-438.
- Chen L., Wang K., Baoyin T. 2021. Effects of Grazing and Mowing on Vertical Distribution of Soil Nutrients and Their Stoichiometry (C:N:P) in a Semi-arid Grassland of North China // Catena. Vol. 206.
- Donovan M., Monaghan R. 2021. Impacts of Grazing on Ground Cover, Soil Physical Properties and Soil Loss via Surface Erosion: A Novel Geospatial Modelling Approach // Journal of Environmental Management. Vol. 287. P. 112206.
- Ghorbani A., Dadjou F., Moameri M., Fekri A., Andalibi L., Biswas A., Samaneh M.S.M., Sharifi J. 2020. Effect of Grazing Exclusion on Soil and Vegetation Characteristics in Desert Steppe Rangelands: A Case Study from North-Western Iran // Arid Land Research and Management. P. 213-229.
- Golluscio R.A., Austin A.T., Martínez G.C., Gonzalez-Polo M., Sala O.E., Jackson R.B. 2009. Sheep Grazing Decreases Organic Carbon and Nitrogen Pools in the Patagonian Steppe: Combination of Direct and Indirect Effects // Ecosystems. No. 12. P. 686-697.
- Hancock G., Ovenden M., Sharma K., Rowlands W., Gibson A., Wells T. 2020. Soil Erosion – The Impact of Grazing and Regrowth Trees // Geoderma. Vol. 361. P. 114102.
- Hiltbrunner D., Schulze S., Hagedorn F., Schmidt M., Zimmermann S. 2012. Cattle Trampling Alters Soil Properties and Changes Soil Microbial Communities in a Swiss Sub-alpine Pasture // Geoderma. Vol. 170. P. 369-377.
- Khomutova T., Fornasier F., Yeltsov M., Chernysheva E., Borisov A. 2021. Influence of Grazing on the Structure and Biological Activity of Dry Steppe Soils of the Southern Russian Plain // Land Degradation and Development. Vol. 32. No. 17. P. 4832-4844.
- Nosetto M.D., Jobbagy E.G., Paruelo J.M. 2006. Carbon Sequestration in Semi-arid Rangelands: Comparison of *Pinus Ponderosa* Plantations and Grazing Exclusion in NW Patagonia // Journal of Arid Environment. No. 67. P. 142-156.
- Öllerer K., Varga A., Kirby K., Demeter L., Biró M., Bölöni J., Molnár Z. 2019. Beyond the Obvious Impact of Domestic Livestock Grazing on Temperate Forest Vegetation – A Global Review // Biological Conservation. Vol. 237. P. 209-219.
- Picariello E., Baldantoni D., Izzo F., Langella A., de Nicola F. 2021. Soil Organic Matter Stability and Microbial Community in Relation to Different Plant Cover: A Focus on Forests Characterizing Mediterranean Area // Applied Soil Ecology. Vol. 162.
- Piñeiro G., Paruelo M., Oesterheld M., Jobbágy E. 2010. Pathways of Grazing Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen // Rangeland Ecology & Management. No. 63. P. 109-119.
- Pulido M., Schnabel S., Contador J., Lozano-Parra J., González F. 2018. The Impact of Heavy Grazing on Soil Quality and Pasture Production in Rangelands of SW Spain // Land Degradation and Development. Vol. 29. No. 2. P. 219-230.
- Raiesi F., Asadi E. 2006. Soil Microbial Activity and Litter Turnover in Native Grazed and Ungrazed Rangelands in a Semiarid Ecosystem // Biology Fertility Soils. No. 43. P. 76-82.
- Schipper L., Mudge P., Kirschbaum F., Hedley C., Golubiewski N., Smaill S., Kelliher F. 2017. A Review of Soil Carbon Change in New Zealand's Grazed Grasslands // New Zealand Journal of Agricultural Research. Vol. 60. No. 2. P. 93-118.
- Stavi D., Ungar E., Lavee H., Sarah P. 2008. Grazing-induced Spatial Variability of Soil Bulk Density and Content of Moisture, Organic Carbon and Calcium Carbonate in a Semi-arid Rangeland // Catena. Vol. 75. P. 288-296.
- Steffens M., Koelbl A., Totsche K.U., Kögel-Knabner I. 2008. Grazing Effects on Soil Chemical and Physical Properties in a Semiarid Steppe of Inner Mongolia (PR China) // Geoderma. Vol. 143. Mo. 1-2. P. 63-72.
- Su Y.Z., Li Y.L., Cui H.Y., Zhao W.Z. 2005. Influences of Continuous Grazing and Livestock Exclusion on Soil Properties in a Degraded Sandy Grassland, Inner Mongolia, Northern China // Catena. Vol. 59. P. 267-278.
- Throop H., Munson S., Hornslein N., McClaran M. 2022. Shrub Influence on Soil Carbon and Nitrogen in a Semi-arid Grassland is Mediated by Precipitation and Largely Insensitive to Livestock Grazing // Arid Land Research and Management. Vol. 36. No. 1. P. 27-46.
- Wang Z., Yuan X., Wang D., Zhang Y., Zhong Z., Guo Q., Feng C. 2018. Large Herbivores Influence Plant Litter

Decomposition by Altering Soil Properties and Plant Quality in a Meadow Steppe // *Scientific Reports*. Vol. 8. P. 9089.

Zhang H., Fu G. 2020. Responses of Plant, Soil Bacterial and Fungal Communities to Grazing Vary with Pasture Seasons and Grassland Types, Northern Tibet // *Land Degradation & Development*. Vol. 32. No. 4. P. 1821-1832

Zhang M., Li X., Wang H., Huang Q. 2018. Comprehensive Analysis of Grazing Intensity Impacts Soil Organic Carbon: A Case Study in Typical Steppe of Inner Mongolia, China // *Applied Soil Ecology*. Vol. 129. P. 1-12.

Zhang R., Wang J., Niu Sh. 2021. Toward a Sustainable Grazing Management Based on Biodiversity and Ecosystem Multifunctionality in Drylands // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 48. P. 36-43.

Zhou Z.C., Gan Z.T., Shangguan Z.P. Dong Z.B. 2010. Effects of Grazing on Soil Physical Properties and Soil Erodibility in Semiarid Grassland of the Northern Loess Plateau (China) // *Catena*. Vol. 82. No. 2. P. 87-91.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛУПРОХОДНЫХ И ТУВОДНЫХ ВИДОВ РЫБ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АГРАХАНСКОГО ЗАЛИВА

© 2023 г. Л.М. Васильева*, Н.И. Рабазанов**, Н.В. Судакова***, А.З. Анохина*, Д.М. Рамазанова*, Р.М. Бархалов**

*Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева
Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а. E-mail: bios94@mail.ru

**Прикаспийский институт биологических ресурсов
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45
E-mail: rnuh@mail.ru, barkhalov.ruslan@yandex.ru

***Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины
Россия, 196084, г. Санкт-Петербург, Черниговская ул., д. 5. E-mail: sudakorm@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2023. После доработки 03.03.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Неблагоприятный гидрологический режим в последние годы способствовал негативным изменениям видовой и возрастной структуры ихтиофауны в северной части Аграханского залива Каспийского моря. В статье подробно представлены данные видового состава, возрастных категорий и морфометрических показателей полупроходных и пресноводных видов рыб по результатам исследований 2019-2021 гг. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов с данными предыдущих лет, установлена негативная динамика изменений изучаемых показателей в современных условиях. Произошло сокращение видового состава полупроходных рыб – с 14 до 9 видов, исчезли ценные в промысловом отношении кутум *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901), сом *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758), рыбец *Vimba vimba* (Linnaeus, 1758), линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) и жерех *Aspius aspius* (Linnaeus, 1758), существенно сократилась доля остальных, сохранившихся видов. Вырос средний возраст, увеличилась доля рыб, старших возрастных категорий, и, соответственно, снизилась численность младших групп рыб, что свидетельствует о снижении потенциальных возможностей роста. В то же время пресноводные, малоценные виды рыб, такие как карась *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), краснопёрка *Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758), густера *Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758) и другие, имеют тенденции роста по возрастным и морфометрическим показателям.

Ключевые слова: ихтиофауна, полупроходные, туводные рыбы, Северный Аграхан, видовая и возрастная структура, морфометрические показатели, молодь, популяция, гидрологический режим, ценные и малоценные виды.

Ключевые слова: ихтиофауна, полупроходные, туводные рыбы, Северный Аграхан, видовая и возрастная структура, морфометрические показатели, молодь, популяция, гидрологический режим, ценные и малоценные виды.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-141-147

EDN: BURDIY

Формирование ихтиофауны в Северном Аграхане напрямую зависит от гидролого-гидрохимического режима, который определяется стоком Терских и дренажно-сбросных вод, внутриводоёмных процессов и постоянной связи с морем (Алиев и др., 2021; Бархалов и др., 2021). Условия гидрологического режима определяют эффективность естественного воспроизводства прежде всего проходных и полупроходных видов рыб. При достаточной водообеспеченности водоёма наблюдается активность нерестовых процессов, повышается интенсивность миграции производителей из Северного Каспия в залив к местам размножения и увеличивается продолжительность нагульного периода молоди на нерестовых угодьях, что благоприятно сказывается на состоянии полупроходных рыб. Ухудшение гидрологических условий, снижение уровня воды и продолжительности обводнённости нерестилищ негативно сказывается на результатах

нереста полупроходных рыб, о чём свидетельствуют возрастные и морфометрические показатели этих видов. Известно, что туводные и мелкие пресноводные рыбы в меньшей степени подвержены влиянию гидрологического режима, поэтому в неблагоприятных условиях водообеспеченности увеличивается их доля в водоёме и могут улучшаться их основные параметры, характеризующие состояние популяции (Абдусаматов и др., 2004; Бархалов, 2012, 2014а; Бархалов и др., 2012).

Цель работы состояла в том, чтобы исследовать и проанализировать изменения структуры возрастных и морфометрических показателей полупроходных и пресноводных рыб, произошедшие за последние десять лет – с 2011 по 2021 годы.

Материалы и методы

Работа выполнялась в летний период 2019-2021 годов, сбор ихтиологического материала осуществлялся в северной части Аграханского залива, изучались количественные параметры разновозрастных особей, видовая и возрастная структура промысловых рыб, а также морфометрические показатели: масса и длина. Измеряли промысловую длину (от начала рыла до конца чешуйного покрова), определяли абсолютную массу (на весах ВМ-20м, РН-50ш) и коэффициент упитанности (Инструкции по сбору ..., 2011; Бархалов, 2014б). Возраст промысловых рыб определяли по чешуе, в соответствии с традиционными методическими указаниями (Чугунова, 1959; Правдин, 1966). Видовой состав рыб изучался по определителям, атласам и аннотированным каталогам (Казанчев, 1981; Шихшабеков, Гаджимурадов, 2009; Бархалов и др., 2012; Иванов, Комарова, 2012). Возрастные изменения и морфометрические показатели оценивались на примерах полупроходных рыб (сазан *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758), вобла *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870), лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758)), а озёрно-пресноводных – на примерах туводных (карась *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), красноперка *Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758), щука *Esox lucius* (Linnaeus, 1758)). Для сравнительной оценки изменений изучаемых показателей промысловых рыб, произошедших за последние годы, использовались отчётные данные исследований предыдущих лет (2011-2017 гг.). Статистическую обработку полученных данных проводили по общепринятой методике.

Результаты и обсуждение

Северная часть Аграханского залива в значительной мере подвержена изменениям гидрологического режима и во многом определяется объёмом стока реки Терек и уровнем Каспийского моря. В последние годы наблюдается снижение стока реки и падение уровня моря, что приводит к критическому состоянию Северного Аграхана. Гидрологический режим паводковых вод в последние годы характеризуется снижением объёма стока с 2.89 до 1.34 км³, а уровня моря – на 1.9 м, что явилось причиной сокращения площади водоёма на 1.7 тыс. га, а нерестилищ – более чем на 500 га в 2021 году по сравнению с 2011 годом. Неблагоприятный гидролого-гидрохимический режим в северной части залива негативно отразился на условиях нереста для полупроходных рыб, но в меньшей степени – для туводных видов. Результаты выполненных исследований по количеству учтённой молоди полупроходных и пресноводных рыб, проведенные за 4 года (2016-2019 гг.), свидетельствуют о существенных изменениях структуры ихтиофауны (табл. 1).

Таблица 1. Динамика количества учтенной молоди промысловых рыб в Северном Аграхане.

Годы	Количество учтенной молоди, млн. экз.															
	Лещ	Сазан	Кутум	Сом	Рыбец	Щука	Линь	Карась	Красно-перка	Окунь	Вобла	Сулак	Жерех	Густера	Прочие*	ВСЕГО
2016	73.8	69.0	70.7	17.5	35.9	30.9	19.6	43.6	13.1	10.0	25.5	15.9	6.8	4.7	–	400.0
2017	60.5	57.1	50.9	13.9	32.2	40.6	17.7	45.3	16.2	10.9	43.0	16.7	6.3	4.9	–	375.0
2018	68.5	55.3	38.2	14.6	33.5	42.4	16.8	51.6	16.9	11.5	45.2	18.1	7.6	5.5	–	378.3
2019	48.1	33.3	10.4	16.8	13.1	45.7	22.1	54.4	17.4	12.9	11.6	22.3	4.4	6.2	2.3	303.0

Примечание к таблице 1: Прочие* – белый амур, толстолобики, синец.

Общее количество учтённой молодежи всех видов промысловых рыб за четыре года сократилось почти на четверть – с 400.0 до 303.0 млн. экземпляров.

Наибольшее снижение численности молодежи отмечалось у полупроходных видов рыб, таких как вобла, лещ и судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758). Так, если в 2016 году на долю этих видов приходилось более половины (56%), то через 4 года численность сократилась до 46.5% от суммарного количества учтённой молодежи. Снижение количества молодежи отмечалось у кутума *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901), рыбаца *Vimba vimba* (Linnaeus, 1758), сазана и воблы (рис.), но самое сильное сокращение было зафиксировано у кутума и рыбаца, численность которых уменьшилась более чем в 3 раза.

При этом в 2019 году возросла доля малоценных пресноводных видов рыб, таких как карась, красноперка, речной окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), густера *Blicca bjoerkna bjoerkna* (Linnaeus, 1758). Она составила 45.9% по сравнению с 2016 годом (25.2%), при этом к числу доминирующих видов относились (в порядке убывания доли) карась, щука, красноперка, речной окунь и густера.

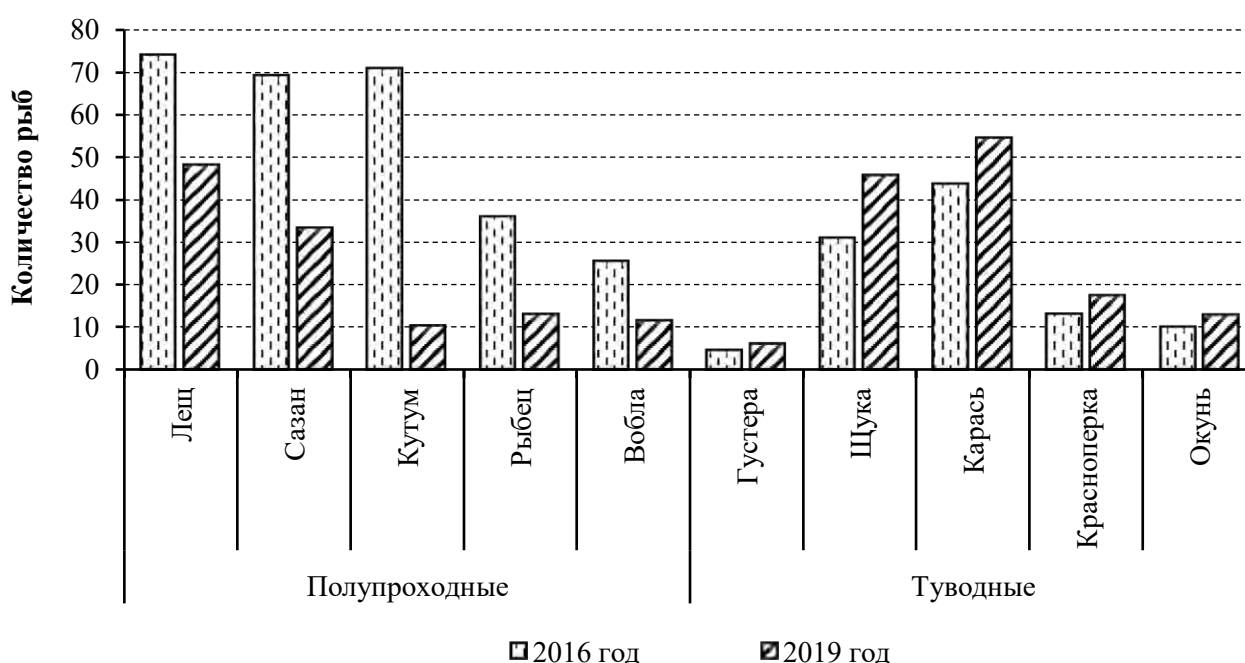


Рис. Сравнительная оценка динамики количества учтенной молодежи полупроходных и туводных рыб в Северном Аграхане.

Подавляющее число учтённой молодежи как в 2016 году, так и через 4 года относится к семейству карповых *Cyprinidae* и составляет почти 75% от общего числа рыб, а на долю семейства окуневых *Percidae* приходится немногим более 20%. Основная масса видов относится к туводным, оседлым видам, не совершающим длительных миграций.

Эти изменения отразились прежде всего на видовом составе промысловых рыб. Так, в 2011 году в уловах присутствовали 14 видов, а в 2021 году их количество сократилось до 9. Исчезли ценные в промысловом отношении виды: кутум, сом *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758), рыбац, линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) и жерех *Aspius aspius* (Linnaeus, 1758), т.е. около 25% суммарного количества рыб.

К числу фоновых видов, доля которых была относительно стабильна в ряду лет, можно отнести щуку (2.35-4.05%), жереха (1.2-3.1%), сома (0-1.0%). Эти виды являются туводными и обычны в водоемах заповедника. Несколько большие колебания отмечаются в уловах судака, доля которого в уловах колебалась с 0.54 до 2.29%. Наиболее широко были представлены четыре вида: красноперка, речной окунь, густера и вобла.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в исследуемый период произошли существенные изменения в видовом составе рыб, сократилась доля ценных в промысловом

отношении (кутум, сазан, лещ, рыбец, вобла), но увеличилась доля малоценных рыб (карась, красноперка, окунь, густера). В уловах стали преобладать туводные и озёрно-речные виды рыб, сократилась доля полупроходных видов (вобла, лещ, сазан).

Возрастная структура полупроходных рыб также претерпела существенные изменения у всех промысловых видов. Для сравнительного анализа были выбраны 6 наиболее характерных видов рыб: 3 полупроходных, таких как вобла, лещ и сазан, и 3 туводных, таких как щука, карась и красноперка. В таблице 2 представлены данные возрастной структуры этих видов.

Вобла претерпела существенные возрастные изменения за прошедшие 10 лет. Так, в 2011 году возрастной ряд был представлен 8 категориями от 3 до 10 лет, средний возраст составлял 4.7 года, преобладали рыбы в возрасте 4-5 лет – 69%, причём на долю четырёхлетков приходилось 36.5%. А в 2021 году в уловах были зафиксированы 6 возрастных групп воблы (3-8 лет) и несколько снизился средний возраст, который составлял 4.5 года; наибольшая доля приходилась на особи 3-5-лет – 78.7%.

Таблица 2. Сравнительная оценка возрастной структуры популяций промысловых видов рыб в Аграханском заливе в 2011 и 2021 гг.

Виды рыб Возраст, %	Щука		Вобла		Лещ		Сазан		Карась		Красноперка	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021
2	–	11.2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4.1
3	24.2	7.4	11.5	18.0	20.0	6.6	10.0	1.4	12.0	5.4	20.6	10.8
4	21.2	39.6	36.5	40.1	23.4	9.4	16.6	3.9	28.0	10.8	25.8	29.9
5	17.2	16.4	32.5	24.4	16.6	16.1	20.0	9.9	21.4	13.2	19.4	21.6
6	14.4	16.4	11.0	12.1	14.6	25.7	41.6	34.0	22.0	10.8	16.1	12.2
7	12.0	8.5	6.0	3.8	11.4	22.2	3.4	30.5	7.3	7.6	10.4	7.6
8	6.4	1.5	1.0	1.6	9.4	12.3	–	9.6	5.3	8.2	7.7	5.0
9	4.6	–	1.0	–	4.6	6.2	–	6.2	4.0	7.6	–	3.7
10	–	–	0.5	–	1.5	1.5	–	2.9	–	14.7	–	2.4
11	–	–	–	–	–	–	–	1.1	–	8.2	–	1.8
12	–	–	–	–	–	–	–	0.5	–	7.6	–	0.9
13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5.9	–	–
Ср. возраст, лет	5.1	3.8	4.7	4.5	4.96	6.15	5.32	6.6	5.2	8.1	4.93	5.1

Лещ. Его возрастные категории также претерпели изменения, хотя и в меньшей степени. В 2021 году, как и 10 лет назад, фиксировались 8 возрастных групп от 3 до 10 лет, но средний возраст отловленного леща составлял 6.15 года, что намного больше, чем в 2011 году – 4.96 года. Группа леща в возрасте от 3 до 6 лет составляла 74.6%, а через 10 лет на эту же возрастную категорию приходилось всего 57.8%, при этом более старшие особи леща составляли 34.5%, а в 2011 году их доля была меньше – 20.8%.

Сазан. Возрастная структура рыб в уловах за десять лет изменилась. Так, в 2011 году отмечались только 5 возрастных категорий – от 3 до 7 лет, а через 10 лет сазан был представлен 10 группами от 3 до 12 лет. Средний возраст в этот период составлял 6.6 года, а в 2011 году – 5.3 года. В 2011 году доля сазана в возрасте 3-6 лет преобладала в уловах, составляя 88.2%, при этом почти половина (41.6%) приходилось на 6-летних, а в 2021 году в уловах преобладали более старшие рыбы (от 5 до 7 лет) – 78.2%, а количество 6-летних особей снизилось до 34.0%.

Таким образом, за десять прошедших лет возрастная структура полупроходных видов рыб претерпела существенные изменения: возрос средний возраст, особенно у леща и сазана, в уловах стали преобладать старше возрастные группы рыб и уменьшилась доля рыб младшего возраста, что свидетельствует о снижении потенциальных возможностей популяции.

Возрастные изменения у туводных, пресноводных видов рыб.

Серебряный карась за прошедшие десять лет показал возрастные категории, положительно характеризующие изменения этого вида. Так, если в 2011 году в уловах попадались 7 возрастных групп (3-9 лет), то через 10 лет карась был представлен уже 11 категориями (3-13 лет). В 2011 году наибольшая группа по возрасту была представлена 4-6-летками и составляла 71.4%, а в 2021 году были в целом равномерно представлены все возрастные группы от 13.2 до 5.4%. Значения показателя среднего возраста карася за десятилетие возросли с 5.2 до 8.1 года.

Краснопёрка в 2021 году имела возрастные показатели, характерные для карася, что также указывает на большой потенциал роста этого вида. В 2011 году в уловах фиксировались 6 возрастных групп (3-8 лет), на долю старше возрастных групп (3-6 лет) приходилось 81.9%, а в 2021 году количество возрастных категорий возросло до 11, были представлены особи от 2 до 12 лет, на долю рыб в возрасте от 3 до 6 лет приходилось 74.5%. Увеличилась доля младших возрастных групп, стали появляться двухлетние особи, что свидетельствует о хороших перспективах роста этого вида. Но при этом значения среднего возраста краснопёрки изменились незначительно, составляя 4.9 и 5.1 года соответственно.

Щука за десять лет также претерпела изменения в возрастном составе, указывающие на возрастающий потенциал роста этого вида, в 2011 и 2021 годах в уловах фиксировались особи 7-и возрастных категорий. Но при этом через десять лет стали появляться двухлетние щуки, доля которых составила 11.2%, хотя в 2011 году их не было; преобладали 3-6-летки – 77%. Через 10 лет в уловах преобладали младшие категории щуки, их доля составляла 72.4%, поэтому средний возраст анализируемых рыб уменьшился с 5.1 до 3.8 лет.

Таким образом, анализ возрастных изменений пресноводных видов рыб за десять лет показал положительную динамику роста, количество возрастных групп возросло у карася и краснопёрки – с 7 до 11, увеличилась численность младше возрастных особей, в частности, у щуки в 2021 году появились двухлетки, доля которых составила 11.2%, а средний возраст уменьшился с 5.1 до 3.8 года. Всё это свидетельствует о возрастающем потенциале популяций пресноводных видов рыб.

В целом следует отметить, что, судя по возрастным изменениям у воблы, леща и сазана, ухудшение гидролого-гидрохимического режима в северной части Аграханского залива за последние десять лет негативно повлияло на состояние полупроходных видов рыб. В меньшей степени это отразилось на туводных, пресноводных видах рыб, что указывает на потенциальные возможности роста их популяций.

Полученные результаты, представленные в таблице 3, свидетельствуют о том, что за 10 лет произошли изменения морфометрических показателей у промысловых видов рыб в северной части Аграханского залива.

Таблица 3. Сравнительная оценка изменений морфометрических показателей промысловых видов рыб в Северном Аграхане в 2011 и 2021 годах.

Виды рыб / Показатели	Полупроходные						Пресноводные					
	Сазан		Вобла		Лещ		Щука		Карась		Краснопёрка	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021
Ср. длина (L), см	47.6	53.8	20.2	20.8	32.2	31.3	56.9	53.4	28.6	28.9	25.2	23.3
Ср. масса (P), г	1943	3050	177	201	639	607	1980	1633	615	790	367.7	396
Кэф. уп., %	1.80	2.00	2.15	2.23	1.90	2.04	1.07	1.07	2.63	3.27	2.30	3.17

У полупроходных рыб показатель средней массы за десять лет возрос: у сазана – почти в 1.5 раза (с 1943 до 3050 г), у воблы рост менее значительный – с 177 до 201 г (т.е. в 1.1 раза), а у леща – немного снизился с 639 до 607 г. Показатель длины изучаемых рыб практически не изменился, кроме сазана, у которого наблюдался рост на 6.2 см. Значения коэффициента упитанности рыб возросли незначительно, заметнее всего у сазана – с 1.8 до 2.0%

У пресноводных видов рыб наибольший рост среднего значения массы отмечался у карася почти на 30% (с 615 до 790 г), у краснопёрки – около 10% (с 367.7 до 396 г), в то время как у щуки масса уменьшилась на 17.5% (снижение составило 347 г). Показатель средней длины уменьшился у щуки

и красноперки, а у карася остался практически без изменений. Отмечался рост коэффициента упитанности у карася и красноперки – почти на 25%.

Таким образом, морфометрические показатели претерпели значительные изменения у пресноводных видов рыб – карася и красноперки – по средней массе и коэффициенту упитанности, а у полупроходных – только у сазана.

Выводы

Выполненные исследования показали, что ухудшение гидролого-гидрохимического режима в северной части Аграханского залива за последние десять лет негативно повлияло на видовую, возрастную структуру и морфометрические показатели ихтиофауны, о чём свидетельствуют полученные результаты.

– Установлено общее сокращение видового состава рыб: так, в 2011 году в уловах отмечалось 14, а в 2021 – 9 видов, исчезли ценные в промысловом отношении кутум, сом, рыбец, линь и жерех, снизилась доля полупроходных рыб, таких как вобла, лещ, сазан, судак, увеличилась численность туводных, малоценных видов, таких как карась, красноперка, окунь и густера,

– Показано, что возрастная структура полупроходных рыб претерпела существенные изменения, в уловах стали преобладать старше возрастные группы рыб и уменьшилась доля особей младшего возраста, что свидетельствует о снижении потенциального роста популяций ценных видов рыб. В то же время возрастная структура пресноводных рыб имела положительную динамику: так, количество возрастных групп увеличилось у карася и красноперки с 7 до 11, возросла доля младше возрастных особей, уменьшился средний возраст с 5.1 до 3.8 года, что указывает на потенциальные возможности роста малоценных видов рыб,

– Выявлено, что морфометрические показатели (масса и длина) также претерпели изменения, особенно у пресноводных видов: средняя масса карася возросла на 30%, красноперки – на 10%, а у полупроходных рыб такая тенденция наблюдалась только у сазана.

Всё это свидетельствует об увеличении численности туводных, малоценных видов рыб и заложенных возможностей их дальнейшего роста, а также о продолжающемся сокращении популяций полупроходных ценных в промысловом отношении рыб и снижение их потенциальных возможностей в перспективе в северной части Аграханского залива.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания по теме № 122032200284-2 «Структура популяций промысловых видов рыб и состояние их кормовой базы в прибрежной зоне дагестанского побережья Каспийского моря», а также в рамках выполнения аспирантской работы Д.М. Рамазановой на тему «Современное состояние ихтиофауны в северной части Аграханского залива» в Астраханском государственном университете им. В. Н. Татищева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаматов А.С., Абдурахманов Г.М., Картюк М.И.* 2004. Современное состояние и эколого-экономические перспективы развития рыбного хозяйства в Западно-Каспийском регионе России. М.: Наука. С. 159-182.
- Алиев А.Б., Бархалов Р.М., Шихшабекова Б.И.* 2021. Современная структура популяции промысловых видов рыб на особо охраняемой природной территории заказника «Аграханский» // Проблемы развития АПК региона. № 3 (47). С. 111-120.
- Бархалов Р.М.* 2012. Материалы Летописи природы ФГУ ГПЗ «Дагестанский» за 2011 год. Т. 12. Кн. 12. Махачкала. 143 с.
- Бархалов Р.М.* 2014а. Состояние промысловых рыб заказника «Аграханский» // Труды государственного природного заповедника «Дагестанский». Вып. 9. С. 97-124.
- Бархалов Р.М.* 2014б. Методическое указание по сбору и обработке ихтиологического материала. Махачкала: Редакционно-издательский центр ДГПУ. 108 с.
- Бархалов Р.М., Рабазанов Н.И., Лобачев Е.Н.* 2021. Современное состояние и пути восстановления рыбохозяйственного значения Кизлярского и Аграханского заливов // Вестник Дагестанского научного центра РАН. № 82. С. 6-10.
- Бархалов Р.М., Мирзоев М.З., Куниев К.М.* 2012. Рыбы заповедника «Дагестанский». Махачкала: АЛЕФ. 232 с.
- Иванов В.П., Комарова Г.В.* 2012. Рыбы Каспийского моря (систематика, биология, промысел). Астрахань: Изд-во АГТУ. 256 с.
- Инструкции по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды

их обитания. 2011 / Ред. С.Г. Судаков. Астрахань: КаспНИРХ. С. 104.

Казанчев Е.Н. 1981. Рыбы Каспийского моря. М.: Легкая и пищевая промышленность. 167с.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность. 376 с.

Чугунова Н.И. 1959. Методика изучения возраста и роста рыб. М.: Советская наука. С. 6-33.

Шихшабеков М.М., Гаджимурадов Г.Ш. 2009. Атлас рыб Дагестана и Среднего Каспия. Махачкала: Лотос. С. 22-145.

УДК 574.522

ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ *DREISSENA POLYMORPHA* – ЮЖНОГО ВИДА-ВСЕЛЕНЦА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2023 г. Л.П. Федорова, В.О. Полянин

Институт водных проблем РАН

Россия, 119991, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: ludmila-54f@mail.ru

Поступила в редакцию 22.12.2022. После доработки 01.02.2023. Принята к публикации 10.02.2023.

Двустворчатые моллюски являются важной составляющей экосистемы многих естественных и искусственных водоемов. Однако экологическая роль некоторых из них весьма неоднозначна, особенно если говорить об инвазивных видах, широко распространившихся за пределы своих естественных ареалов обитания за последние 100 лет. Настоящее исследование имеет целью получить количественные оценки распространения южного вида-вселенца, двустворчатого моллюска дрейссены полиморфной, по акватории Иваньковского водохранилища и оценить вклад ее фильтрационной способности в самоочищение воды.

Ключевые слова: Иваньковское водохранилище, зообентос, двустворчатые моллюски, дрейссена полиморфная, самоочищение природных вод, скорость фильтрации воды, инвазивный вид.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-148-155

EDN: BXGEXH

Зообентос – одно из основных звеньев водной экосистемы, отвечающих за процессы самоочищения водохранилища и формирование качества его воды. Среди донных беспозвоночных по типу питания, помимо глотателей и собирателей, выделяются фильтраторы, к которым, в частности, относятся двустворчатые моллюски, принимающие активное участие в миграции, преобразовании и разложении загрязняющих веществ.

В качестве объекта исследования выбрано Иваньковское водохранилище на р. Волге. Площадь водохранилища при НПУ = 124.0 м.н.у.м. БС составляет 32700 га. Водоохранилище мелководно, средняя глубина равна 3.4 м, наибольшая – 19.0 м. Распределение площадей по глубинам представлено в таблице 1.

Таблица 1. Распределение площадей водохранилища по глубинам (Денисов и др., 1961; Никаноров, 1975).

Площадь	Диапазон глубин, м						Всего
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	> 5	
га	9600	6000	4300	3400	2300	7100	32700
%	29.3	18.3	13.1	10.4	7.3	21.6	100

Иваньковское водохранилище относится к долинному типу и имеет довольно сложную конфигурацию. В водохранилище выделены четыре плеса, морфологические особенности которых обуславливают их эколого-биологические различия (Никаноров, 1975).

Верхневолжский плес – от г. Тверь до устья Шошинского плеса – представляет собой вышедшую из берегов реку; Средневолжский плес простирается от места слияния Шошинского и Верхневолжского плесов до широкого разлива в районе устья р. Созь; Нижневолжский плес – от устья р. Созь до плотины; Шошинский плес представляет собой затопленную долину р. Шоша и является обособленной частью водоема (рис. 1).

Исследования самоочищения Иваньковского водохранилища в условиях его многоотраслевой эксплуатации и с учетом его значения как источника питьевого водоснабжения весьма актуальны.

Цель наших исследований – изучение роли дрейссены речной (*Dreissena polymorpha* (Pallas) – сем. Dreissenidae – кл. Bivalvia) – южного инвазивного вида моллюсков в процессе биологического самоочищения Ивановского водохранилища. Для достижения указанной цели на первом этапе работы, изложенном в настоящей статье, ставились следующие задачи:

- проанализировать современное состояние зообентоса водохранилища и соотношение основных групп малакофауны, их доли в сообществе донных организмов;
- количественно оценить степень участия *Dreissena polymorpha* Pallas в процессе фильтрации воды Ивановского водохранилища.



Рис. 1. Карта-схема Ивановского водохранилища (границы плесов и места отбора проб).

Следует отметить, что бентофауна Ивановского водохранилища достаточно изучена (Волга и ее жизнь, 1978; Гурова и др., 1983; Дьяченко, 1968; Ивановское водохранилище ..., 1978; Митропольский, 1973; Поддубная, 1974; Фенюк, 1959). Ее исследования проводились еще до зарегулирования р. Волги, когда дно русла реки было представлено песчаными грунтами, характеризующимися бедной фауной, состоящей из немногих видов личинок хирономид и моллюсков (Себенцов и др., 1940). После создания водохранилища произошло преобразование состава и структуры речных биоценозов вследствие накопления иловых отложений в русловой зоне и прилегающих к ней пойменных участков, затопленных в ходе создания водохранилища. В экосистеме водохранилища сложилось устойчивое сообщество донных беспозвоночных с тремя ведущими группами животных – олигохетами, личинками хирономид и моллюсками, при этом отмечена приуроченность животных к определенным биотопам: на иловых грунтах русловой зоны преобладал олигохетно-хирономидный комплекс, на песчаных и слабозаиленных грунтах открытых и заросших мелководий – моллюски, личинки насекомых, пиявки, нематоды, гаммариды.

К середине 50-х годов прошлого столетия доля моллюсков в биомассе бентоса водохранилища являлась существенной и достигала 47.3%. По данным В.И. Митропольского (1973), Ивановское водохранилище в тот период отличалось от других водохранилищ волжского каскада обилием сфериид, роль которых в дальнейшем снизилась и к концу 60-х годов составляла 2.5-1.7% от общей

биомассы бентоса. Массовое развитие сфериид (достаточно стабильные и распространенные представители волжской фауны) очевидно связано с особенностями формирования экосистемы водохранилища в первые два десятилетия после его создания, последующее снижение их количества, по мнению автора (Митропольский, 1973), является следствием антропогенного влияния, в основном – увеличения объема сбросных сточных вод (промышленные предприятия, животноводство, водный транспорт). К этому времени в мелководной зоне водоема преобладали моллюски класса гастропод, особенно планорбииды (*Planorbis planorbis*, *P. vortex*), крупные *Limnaea stagnalis* и *Viviparus viviparus*.

Большой интерес у многих исследователей (Алимов, 1981; Алимов, Бульон, 1972; Кондратьев, 1969, 1973; Набеева, 2010; Пряничникова, Щербина, 2005; Щербина, 2009) вызывают двустворчатые моллюски-фильтраторы, в частности, дрейссениды, которые со своей способностью быстро расселяться и размножаться играют большую роль в функционировании водных экосистем. В настоящее время представители семейства дрейссенид имеют довольно обширный ареал обитания, расселившись в регионах с благоприятными для жизнедеятельности климатическими, гидрологическими и гидрохимическими условиями. В России их изначальный природный ареал обитания, который ограничивался южными частями бассейнов Черного, Каспийского и Азовского морей, к началу XXI века распространился на севере до 62 параллели, на востоке – до бассейна р. Камы (Дрейссена ..., 1994; Дрейссениды ..., 2013; Самые опасные инвазионные ..., 2018). Их распространение до Верхней Волги обусловлено хозяйственной деятельностью, в основном – эксплуатацией водного транспорта (обрастание судов, балластные воды); также моллюски могли быть занесены с посадочным материалом рыб в водоемы, где проводились рыбохозяйственные мероприятия.

Подробные исследования дрейссенид начаты в середине прошлого столетия, но результаты авторов, полученные с применением различных методик и в разные временные периоды, были не всегда сопоставимы. Единый методический подход к эколого-физиологическим исследованиям с целью получения сравнимых результатов был применен с 1979 по 1983 гг. при изучении дрейссенид в водохранилищах Средней и Нижней Волги, а также Днепра (Дрейссена ..., 1994).

В верхневолжских водохранилищах семейство дрейссенид представлено двумя видами моллюсков – дрейссеной речной или полиморфной (*Dreissena polymorpha* Pallas) и дрейссеной бугской (*Dreissena bugensis* Andrusov), первая из которых в Ивановском водохранилище появилась в середине прошлого столетия (Фенюк, 1959). Бугская дрейссена в Ивановском водохранилище в настоящее время не обнаружена (Перова и др., 2018), верхняя граница ее распространения достигла Угличского водохранилища (Щербина, 2009). Оба вида относятся к числу наиболее опасных инвазивных видов России (Самые опасные инвазионные ..., 2018) и не являются естественными для Верхней Волги.

Определяющим фактором массового развития дрейссены речной является наличие твердых, доступных для прикрепления субстратов (рис. 2), включая части гидротехнических сооружений, камни, крупнозернистый песок, затопленные деревья, крупные моллюски других видов, на богатом органическими веществами иле она не живет (Дрейссена ..., 1994; Перова и др., 2018).

Также на распространение и плотность популяций этого моллюска влияют температура воды, уровень рН, концентрации кислорода и кальция (Karatajev et al., 1998, 2007, 2010). Установлено, что дрейссена не переносит даже умеренной гипоксии, может переносить температуру окружающей среды в пределах 0-30°C, а при температуре менее 10°C ее рост и развитие прекращаются (Karatajev et al., 2007).

Размножаться дрейссена начинает на второй год жизни при 12-15°C, и в естественных условиях нерест может продолжаться весь вегетационный период (конец весны – начало осени) с летним максимумом при температуре воды 18-20°C. Нерест порционный, плодовитость одной самки в год – около миллиона яиц (Дрейссена ..., 1994).

В Ивановском водохранилище дрейссена речная встречается повсеместно, однако распределение ее по водоему неоднородно: в волжских плесах на песчаных и песчано-илистых грунтах дрейссена играет ведущую роль в формировании донных биоценозов, в Шошинском плесе с мощными иловыми отложениями ее развитие незначительно, в отдельные годы моллюск в этом плесе отсутствовал полностью.



Рис. 2. Колония дрейссены речной (*Dreissena polymorpha*) на твердом субстрате.

По результатам собственных многолетних наблюдений и на основании литературных данных (Дрейссена ..., 1994; Дрейссениды ..., 2013; Набеева, 2010; Самые опасные инвазионные ..., 2018), с учетом биологических особенностей моллюска и его приуроченности к твердому субстрату была определена зона обитания дрейссены полиморфной в Иваньковском водохранилище, ограниченная глубинами 3.0-4.0 м. Для расчета объемов профильтрованной моллюском воды на всю зону обитания была взята площадь мелководья с соответствующими параметрами (табл. 1), рассчитанная для Иваньковского водохранилища Л.И. Денисовым и Е.В. Мейснером (1961).

Сбор материала для настоящего исследования проводился в вегетационный период 2018-2021 гг. в четырех плесах Иваньковского водохранилища: Верхневолжском, Средневолжском, Нижневолжском и Шошинском (рис. 1). Для получения сравнительного материала за период наблюдений пробы зообентоса отбирали на 6 постоянных разрезах по стандартной методике (Методические рекомендации ..., 1983) дночерпателем Петерсена с площадью захвата 1/40 м² по 2 выемки грунта на каждой станции, промывали через газ № 23, фиксировали в 4% формалине. Принимая во внимание утверждение некоторых авторов (Баканов и др., 2001) о том, что точность количественного учета крупных моллюсков при отборе проб дночерпателем недостаточно информативна (элемент случайности), нами в 2021 г. дополнительно использовалась драга. Сбор моллюсков драгой проводили методом протяжки с катера. Места для работы драгой выбирали в районах мониторинговых исследований зообентоса на заданной глубине (3-4 м) с использованием эхолота марки Matrix 47 3D-Fishing System. Всего собрано и обработано 217 проб зообентоса. Общие численность и биомасса организмов для всего водоема рассчитывались как средневзвешенные величины с учетом площади биотопов.

Анализ результатов отбора показал, что в настоящее время малакофауна Иваньковского водохранилища представлена в основном брюхоногими (Gastropoda) и двустворчатыми (Bivalvia) моллюсками сем. Viviparidae, Valvatidae, Pisidiidae, Unionidae и Dreissenidae, на долю которых приходится более 90% биомассы зообентоса при их довольно незначительной численности (рис. 3).

Также полученные данные позволили определить долю дрейссены в общей численности и биомассе моллюсков водохранилища в 2018-2021 гг., которые изменялись от 53.5% до 88% и от 45.1-50.3% соответственно (рис. 4).

Несмотря на незначительный уровень развития дрейссены полиморфной в Иваньковском водохранилище, по сравнению с другими волжскими водохранилищами ее участие в процессе самоочищения водоема нельзя недооценивать, т.к. среди пресноводных моллюсков дрейссена является наиболее активным фильтратором и принимает участие в трансформации и деструкции органических веществ.

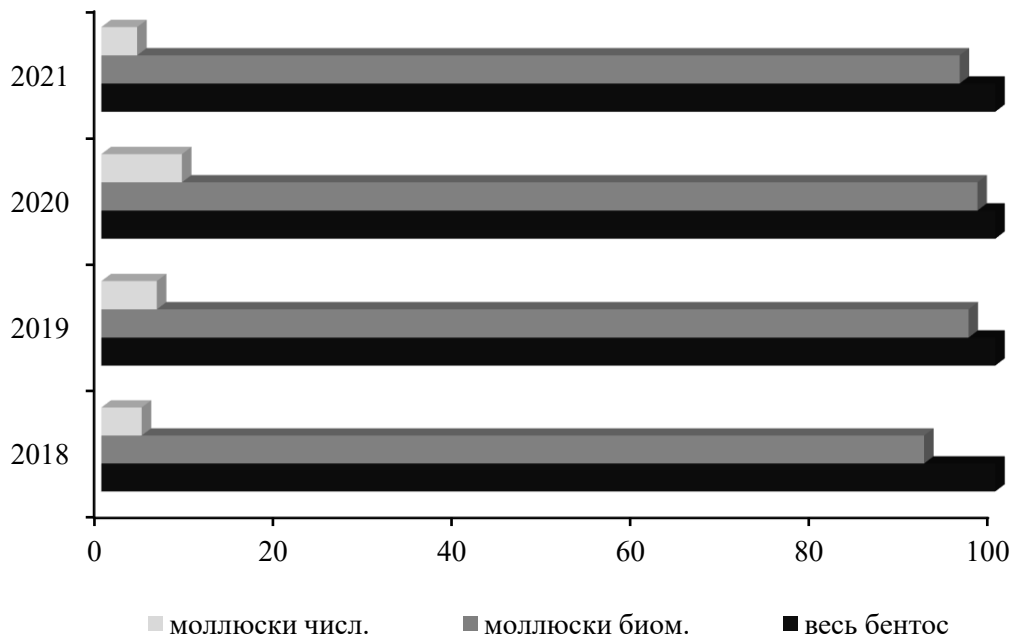


Рис. 3. Доля моллюсков (% численности и биомассы) в общем количестве донных организмов Иваньковского водохранилища.

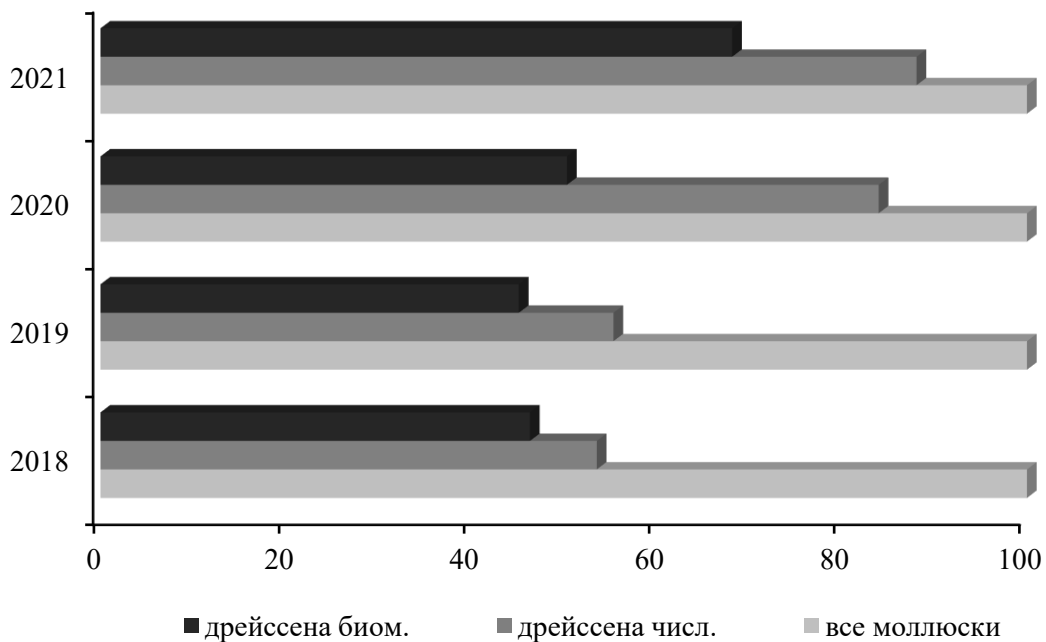


Рис. 4. Численность и биомасса *Dreissena polymorpha* (%) в группе моллюсков.

Фильтрационная активность дрейссены определяется суточными и сезонными биоритмами, а также состоянием окружающей среды (температура воды, освещенность, концентрация растворенного кислорода). В течение суток продолжительность фильтрации у моллюска составляет 50-70% времени, наиболее активно этот процесс происходит в дневные часы. В сезонном аспекте максимальная фильтрационная активность у дрейссены отмечается летом в период размножения, что связано с большими потребностями моллюска в кислороде (Алимов, 1981; Кондратьев, 1969, 1973).

Для оценки участия дрейссены полиморфной в процессе самоочищения Иваньковского

водохранилища впервые для указанного водоема нами был выполнен расчет общего объема воды, профильтрованного моллюсками, с использованием данных по средней численности моллюска на единицу площади (1 м^2), среднему весу одной особи (г), интенсивности фильтрации воды моллюском на единицу веса (мл/ч•г), фильтрационной активности моллюска (12 час/сутки), длительности активной фильтрации моллюсков (вегетационный период), площади мелководной зоны водохранилища с глубинами 3-4 м (Алимов, 1981; Денисов, Мейснер, 1961).

Продолжительность «вегетационного» периода для дрейссены приравнивается к периоду ее интенсивного размножения, при котором усиливается фильтрационная активность моллюска. Эти процессы, как отмечалось выше, происходят при температуре воды 12-15°C (Дрейссена ..., 1994). На основании имеющихся данных о внутригодовом ходе температуры воды сезон активной фильтрации дрейссены для Иваньковского водохранилища условно принят со второй половины мая до первой половины октября, в нашем случае – 147 суток. Для сравнения: в Рыбинском водохранилище при аналогичных исследованиях длительность периода активной фильтрации дрейссенид равна приблизительно 137 суткам (Пряничникова, Щербина, 2005). Здесь роль играют региональные климатические и гидрологические условия, такие как температура окружающей среды, время ледостава и его длительность, глубины и грунты в водоеме.

Объем воды, профильтрованный моллюсками за вегетационный период, рассчитывали по формуле, применяемой многими авторами (Набеева, 2010; Пряничникова и др., 2005):

$$V_{\text{общ.}} = N_{\text{др.}} \times V_{\text{ф.в.}} \times 147_{\text{сут.}} \times S,$$

где $V_{\text{общ.}}$ – объем воды, фильтруемый дрейссеной за весь сезон на определенной площади, м^3 ; $N_{\text{др.}}$ – средняя численность дрейссены на единицу площади, экз./ м^2 ; $V_{\text{ф.в.}}$ – объем воды, фильтруемый дрейссеной в сутки, л; S – площадь мелководной зоны водохранилища, м^2 .

При расчетах использовались собственные первично измеряемые параметры: размеры пробных площадок, глубина в месте отбора, численность, биомасса и размеры моллюсков, остальные показатели вычислялись.

Среднюю численность дрейссены на единицу площади для всего водоема рассчитывали как средневзвешенную величину с учетом площади биотопов; средний вес одной особи и его стандартную погрешность (также для всего водоема) вычисляли как средневзвешенную величину, используя средний вес моллюска для каждой разновозрастной группы.

Объемы профильтрованной воды за разные временные отрезки для площади мелководной зоны и единицы площади рассчитывали, используя скорость фильтрации (F) дрейссены, вычисляемую по формуле А.Ф. Алимова (1981):

$$F = mW^n,$$

где m – интенсивность фильтрации воды на единицу веса моллюска; W – средний вес животного; n – константа уравнения.

Расчеты показали, что фильтрационная активность *Dreissena polymorpha* по значениям численности с единицы площади в сутки составляла в разные годы от 73.5 до 296.9 л. С площади мелководной зоны водохранилища (глубина 3-4 м) в сутки – от 2.5 млн. до 10.1 млн. м^3 воды. За вегетационный период (май-октябрь) моллюски, согласно нашим расчетам, в разные годы профильтровывали от 367.2 млн. м^3 до 1.48 млрд. м^3 воды, что соответствует 0.3 и 1.3 объема воды водохранилища (табл. 2).

Выводы

Адаптивные способности моллюсков семейства Dreissenidae способствуют их интенсивному расселению в пресноводных экосистемах, значительно расширяя ареал обитания, а также оказывают влияние на структуру донных биоценозов. Поселения дрейссенид играют существенную роль в жизнедеятельности различных бентонтов, хотя эта роль в водной экосистеме может быть далеко не однозначна. Тем не менее, выполненные оценки объемов отфильтрованной моллюском *Dreissena polymorpha* (Pallas) воды позволяют нам сделать вывод о том, что вклад этого вида в самоочищение водоемов от таких загрязнений, как, например, взвешенные органические вещества, может быть весьма значительным при условии его массового развития. По полученным в результате полевых исследований за 2018-2021 гг. оценкам, обитающие в Иваньковском водохранилище дрейссениды способны профильтровать до 1.3 его объема за вегетационный период.

Таблица 2. Расчет объемов воды, профильтрованной *Dreissena polymorpha*.

Показатели	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.*
Средний вес 1 особи, г	0.459± 0.22	0.760 ± 0.03	0.809 ± 0.007	0.804 ± 0.08
Сред. численность, экз./м ²	156	256	328	360
V _{ф.в.} за сутки с 1 м ² , л	73.466	199.619	272.251	296.965
V _{ф.в.} за сезон с 1 м ² , л	10799.502	29343.993	40020.897	43653.855
V _{ф.в.} за сутки с S _{мелк.зоны} , м ³	2497844	6787046	9256534	10096810
V _{ф.в.} за сезон с S _{мелк.зоны} , м ³	367183068	997695762	1360710498	1484231070
От объема водохранилища	0.3	0.9	1.2	1.3

Примечание к таблице 2: * – отбор моллюсковой драгой.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 государственного задания Института водных проблем РАН «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

- Алимов А.Ф. 1981. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука. 248 с.
- Алимов А.Ф., Бульон В.В. 1972. Фильтрационная активность моллюсков *Sphaerium sueticum* Clessin при разных концентрациях взвешенных веществ // Общая биология. Т. 33. № 1. С. 97-104.
- Баканов А.И., Сметанин М.М., Шихова Н.М. 2001. Основные источники ошибок в гидробиологических и ихтиологических исследованиях // Биология внутренних вод. № 4. С. 79-87.
- Волга и ее жизнь. 1978 / Ред. Н.В. Буторин, Ф.Д. Мордухай-Болтовской. Л.: Наука. 348 с.
- Гурова Л.А., Тарасенко Л.В., Кудинов М.Ю. 1983. Многолетние изменения планктонных и донных сообществ Ивановского водохранилища // Биологические ресурсы водоемов Верхней Волги и их рациональное использование. Сборник научных трудов ГосНИОРХ. № 2. 78 с.
- Денисов Л.И., Мейснер Е.В. 1961. Ивановское водохранилище // Известия ГосНИОРХ. Т. 50. С. 10-30.
- Дрейссена, *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae). 1994. Систематика, экология и практическое значение. М.: Наука. 240 с.
- Дрейссениды. Эволюция, систематика, экология. 2013 // Лекции и материалы докладов 11-ой Международной школы-конференции, 11-15 ноября 2013 г. / Сост. А.В. Крылов, Е.Г. Пряничникова. Ярославль: Канцлер. 129 с.
- Дьяченко И.П. 1968. Фауна зарослей прибрежной зоны Ивановского и Углицкого водохранилищ // Известия ГосНИОРХ. Т. 67. С. 289-298.
- Ивановское водохранилище и его жизнь. 1978 / Ред. Н.В. Буторин. Труды ИБВВ АН СССР. Вып. 34 (37). 304 с.
- Кондратьев Г.П. 1969. Влияние температуры воды на длительность фильтрационной активности у некоторых пресноводных ракушек // Видовой состав, экология и продуктивность гидробионтов Волгоградского водохранилища. Саратов. С. 31-36.
- Кондратьев Г.П. 1973. Сезонность изменения фильтрационной активности у двустворчатых моллюсков Волгоградского водохранилища // Труды комплексной экспедиции Саратовского университета по изучению Волгоградского и Саратовского водохранилищ. Вып. 3. С. 127-130.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. 1983. Л.: ГосНИОРХ. 33 с.
- Митропольский В.И. 1973. К распространению сфериид в Ивановском водохранилище и его притоках // Гидробиологический журнал. Т. 9. № 6. С. 96-99.
- Набеева Э.Г. 2010. Оценка восстановления и самоочищения разнотипных водных экосистем по показателям макрозообентоса. Автореф. дисс. ... к.б.н. Нижний Новгород. 204 с.
- Никаноров Ю.И. Ивановское водохранилище. 1975 // Известия ГосНИОРХ. Т. 102. С. 5-25.
- 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.
- Поддубная Т.Л. 1974. Состояние донной фауны Ивановского водохранилища на 32-й год его существования. Флора, фауна и микроорганизмы Волги. Рыбинск. С. 143-154.
- Пряничникова Е.Г., Щербина Г.Х. 2005. Сравнение скоростей фильтрации моллюсков *Dreissena*

- polymorpha* (Pall.) и *Dreissena bugensis* (Andr.) в эксперименте // Биологические ресурсы пресных вод: беспозвоночные. Рыбинск. С. 278-290.
- Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). 2018 / Ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Тов-во научных изданий КМК. 688 с.
- Себенцов Б.М., Биск Д.И., Мейснер Е.В. 1940. Режим и рыба Иваньковского водохранилища в первые 2 года его существования // Труды Воронежского отделения ВНИИПРХ. Т. 3. Вып. 2. С. 9-95.
- Фенюк В.Ф. 1959. Донная фауна Иваньковского и Угличского водохранилищ // Труды ИБВ АН СССР. Вып. 1 (4). С. 139-160.
- Щербина Г.Х. 2009. Изменение видового состава и структурно-функциональных характеристик макрозообентоса водных экосистем Северо-Запада России под влиянием природных и антропогенных факторов. Автореф. дисс. ... д.б.н. СПб. 468 с.
- 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.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2023. Т. 29. № 3 (96)

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 2023 г.



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ЖМК

Формат 60x 90 ¹/₈

Объем 21 п.л.

Тираж 200 экз.

Заказ №

Отпечатано в ООО «Галерея-Принт»
111024, Москва, ул. 5-я Кабельтовая, д. 26

Распространяется только по подписке

Индекс Э39775 (интернет каталог «Пресса России»)

<https://www.ppressa-rf.ru/>

Подписка на газеты и журналы на 2023 год Почта России

Оформить подписку онлайн на журнал «Аридные экосистемы». Цена подписки на издание за минимальный подписной период — **1177.99** руб. Оплата подписки производится через филиалы Сбербанка РФ (для физических лиц), по безналичному расчету (для юридических лиц), банковской картой «Visa» и «MasterCard», другими электронными способами оплаты через сервис "Робокасса". Доставка товара осуществляется ФГУП "Почта России" бандеролью по всей территории России. По Москве и Московской области для журналов доступна курьерская доставка.