

*ISSN 1993-3916*

**Том 28      Номер 4 (93)      Декабрь 2022**

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



**2022**

© 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](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 28, № 4 (93), 2022, декабрь**

Журнал основан в январе 1995 г.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор

доктор биологических наук, профессор

З.Г. Залибеков\*\*

Заместитель главного редактора

доктор географических наук

Ж.В. Кузьмина\*

Редакционная коллегия:

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

Редакционный совет:

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

Ответственные за выпуск:

Ж.В. Кузьмина\*, О.С. Гринченко\*(*Ответственный секретарь*)

Адреса редакции:

\*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН

Телефон: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15

E-mail: arid.journal@yandex.ru

\*\*Россия, 367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45, ПИБР ДНЦ РАН

Телефон: (872-2) 67-09-83

E-mail: arid\_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК

**2022**

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Том 28, номер 4 (93), 2022 декабрь

---

### СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Прогнозирование изменений на засушливых территориях с использованием статистической содели масштабирования (SDSM) в западной части Горганской равнины, Иран <i>З. Джамали, З. Хейдаризади</i>	4-12
Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами <i>А.М. Пугачёва, А.И. Беляев, К.Ю. Трубакова, О.Д. Ромадина</i>	13-21
Воздействие зарегулирования речного стока, климатических и гидрологических изменений на состояние пойменных и дельтовых экосистем Нижнего Дона <i>Ж.В. Кузьмина, С.С. Шинкаренко, Д.А. Солодовников, М.Л. Марков</i>	22-36
Типы водного режима песчаных массивов реки Дон <i>А.К. Кулик, Р.Н. Балкушкин</i>	37-45
Дифференциация почвенных процессов по стадиям их развития в регионах засушливого климатического пояса <i>М.М. Аличаев, М.Г. Султанова, П.Д. Мусалаева</i>	46-54
О закономерностях развития почвенного покрова подгорно-приморских равнин Западного Прикаспия <i>М.Е. Котенко, Д.Б. Асгерова, У.М. Галимова</i>	55-60
Использование разновременных космических снимков высокого разрешения для оценки засоления почв солонцового комплекса (Республика Калмыкия) <i>К.О. Прокопьева</i>	61-74
Экосистемное и биотическое разнообразие Юго-восточноалтайско-тувинского пустынно-степного оробиома <i>Г.Н. Огуреева, М.В. Бочарников</i>	75-82
Эколого-фитоценотическая классификация и характеристика формации <i>Halosneteta strobilacei</i> на Прикаспийской низменности <i>И.А. Горяев, И.Н. Сафронова</i>	83-90
Состояние диких тюльпанов Северного макросклона Кыргызского Ала-Тоо в связи с проблемой их исчезновения <i>А.Ж. Кендирбаева, К.Т. Шалтыков, Н.А. Рогова, А.К. Долотбаков, У.-У. Чынгыз</i>	91-103
Копытные аридных территорий из Красной книги Российской Федерации <i>А.А. Луцеккина, Т.Ю. Каримова, В.М. Неронов</i>	104-114

---

## ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

- Научные основы для постановки задач достижения нейтрального баланса деградации земель в Туркменистане  
*Г.С. Куст, М.Х. Дуриков, В.А. Лобковский, О.В. Андреева, М.Д. Непесов, Б.К. Мамедов, Н.В. Николаев* 115-131
- Эколого-экономическая оценка деградации сельскохозяйственных земель Центральной и Западной зон Республики Тыва  
*А.Д. Самбуу, А.О. Оксюлюк, А.Ю. Калдар-оол* 132-139
- Особенности земледельческих объектов аридных территорий Северо-западной Монголии и приграничных территорий Тувы  
*Т.Н. Прудникова* 140-152
- Картирование пастбищ диких копытных в заповеднике Барсакельмес (Казахстан)  
*Л.А. Димеева, Ж.К. Салмуханбетова, Д.В. Малахов* 153-162
- 

## ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- О гидроэкологическом состоянии Аграханского залива и возможности его улучшения  
*Д.В. Магрицкий, А.В. Гончаров, В.М. Морейдо, М.А. Самохин, А.С. Абдусамадов, С.В. Купцов, Г.С. Джамирзоев, О.Н. Ерина, Д.И. Соколов, В.С. Архипкин, М.А. Терешина, В.В. Сурков, А.А. Семенова* 163-178
- Сравнительная оценка гематологических показателей самок веслоноса (*Polyodon spathula walbaum*, 1792) при получении зрелых ооцитов для пищевых и рыбоводных целей  
*Н.В. Судакова, М.А. Элнакиб, Н.И. Рабазанов* 179-188
- Гидрохимия и гидробиология техногенных водоемов горнопромышленных территорий Юго-восточного Забайкалья  
*Е.Ю. Афонина, Н.А. Ташлыкова, Л.В. Замана, А.П. Куклин, В.А. Абрамова, Л.П. Чечель* 189-200
- Альгоценозы планктона и бентоса высокоминерализованных рек-притоков озера Эльтон  
*О.Г. Горохова, Т.Д. Зинченко* 201-210

УДК 551.5

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ СУХИХ ТЕРРИТОРИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАСШТАБИРОВАНИЯ (SDSM)  
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРГАНСКОЙ РАВНИНЫ, ИРАН**

© 2022 г. З. Джамали, З. Хейдаризади

*Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов  
Иран, 4913815739, Горган, ул. Шахид Бехешти, Центральный офис университета  
E-mail: zahra\_jamali1386@yahoo.com*

Получена 12.01.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Климатические индексы – важные инструменты, помогающие лучше понять последствия изменения климата, которые произойдут в будущем. Мы собрали с метеорологических станций Горгана среднесуточные значения температуры и осадков за 1961-1990 годы, а затем смоделировали сценарии изменения климата для трех временных интервалов (для 2020-х, 2050-х и 2080-х гг.) по сценариям выбросов парниковых газов RCP 26, RCP 45 и RCP 85, используя модель CANESM2. Были рассчитаны будущие изменения в индексе засушливости де Мартонна и индексе Эмбергера. Анализ показал, что, исходя из месячного диапазона значений индекса засушливости де Мартонна, с апреля по октябрь делятся засушливые месяцы, а остальные месяцы являются полусушливыми. Отчасти это может быть связано с уменьшением количества осадков и повышением температуры с апреля по октябрь, поэтому сельскохозяйственные угодья в этот период нуждаются в орошении. Летом влажность уменьшится для всех трех временных периодов, но только для сценариев RCP 26 и RCP 45. То же относится к RCP 85, за исключением июня 2020-х гг., когда влажность будет постоянной. В целом прогнозируется увеличение влажности для большей части месяцев в течение всех трех периодов. Прогнозируемые значения индекса засушливости Эмбергера имеет ту же тенденцию, что и индекс засушливости де Мартонна. Значения  $R^2$  указывают на высокую корреляцию между индексами, чем доказывают схожесть их тенденций для изменений территорий во время всех трех периодов.

*Ключевые слова:* индекс аридности, парниковые газы, IPCC AR5.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-4-12**

**EDN: YSNQNJ**

Классификация атмосферных переменных – это диагностический инструмент, который широко применяется для определения состояния климата в различных частях мира. Они являются важным составляющим элементом для исследований экстремальных погодных и климатических явлений (Tramblay, Hertig, 2018; Montazerolghaem et al., 2016; Chu, Zhao, 2011), для оценки индексов температуры и осадков (Wen et al., 2017; Kim et al., 2017; Sharifiet al., 2018; Peña-Angulo et al., 2016), а также для анализа последствий использования электроэнергии в помещении (Wan et al., 2010). Климатическая классификация – это метод, с помощью которого на карте отображают климатические регионы; он позволяет лучше понять расположение других особенностей окружающей среды, также подверженные влиянию климата. Эти классификации применялись в некоторых исследованиях по экологии (Stenseth et al., 2003) и биоразнообразию (Garcia et al., 2014), урожайности, а также выступали в качестве входной переменной для различных глобальных моделей (Martinez et al., 2009; Prentice, 1990). Они также применяются в других областях, таких как исследование воздействий от изменения климата и стратегий адаптации к ним (Rahimi, 2013). Не так давно М.А. Gebremedhin с соавторами (2018), а также F.J. Tapiador с соавторами (2019a, c) использовали классификацию климата для того, чтобы исследовать изменения индекса климата в будущем, учтя результаты глобальных климатических моделей. Вычислительные возможности в глобальных моделях и моделях системы Земли, необходимых для моделирования регионального климата, значительно улучшились за последнее десятилетие. Некоторые авторы также утверждают, что благодаря своему высокому

разрешению модели системы Земли начали использоваться более широко по сравнению с региональными климатическими моделями (Tapiador et al., 2019b). Таким образом, глобальные модели можно считать самым мощным инструментом для моделирования того, как глобальная климатическая система отреагирует на повышение уровня парниковых газов (Subimal, Mujumdar, 2006). Такие модели используют сценарии выбросов газов в качестве исходных данных для моделирования многих климатических аспектов, в т.ч. температуры и осадков (Field et al., 2012). Однако по сравнению с данными, полученными с синоптических станций, у них недостаточно высокое разрешение для того, чтобы надежно спрогнозировать климатические переменные в локальном масштабе (Mareuil et al., 2007). Следовательно, необходим метод снижения масштаба, чтобы сократить разрыв между выходными данными глобальной климатической модели и необходимым разрешением для моделирования климатических изменений в более широком масштабе.

Если учитывать, что небольшие изменения климатических переменных могут привести к большим изменениям в потенциале водных ресурсов, тогда необходимо проведение полевых исследований, чтобы разработать комплексное управление водными ресурсами в выбранной местности. Поэтому одна из основных стадий исследований – это изучение изменений в будущих климатических индексах. Целью нашей работы является изучение изменения такого индекса в будущем в западной части Горганской равнины в Иране. Результаты исследования впоследствии, несомненно, могли бы способствовать рациональному использованию водных ресурсов в выбранном районе.

*Область исследования.* Западный регион Горганской равнины расположен на северо-востоке Ирана, между  $36^{\circ} 37' 57.51''$  и  $37^{\circ} 27' 24.26''$  с.ш. и  $53^{\circ} 51' 14.76''$  и  $54^{\circ} 51' 46.26''$  в.д. (рис. 1). Его площадь составляет около  $5809.4 \text{ км}^2$ . На основе топографической информации, полученной с помощью цифровой модели рельефа, высота изучаемой области колеблется от 3819 м на горе Эльбурс до примерно -46 м в северо-восточных областях. Судя по уклону, также рассчитанному по цифровой модели рельефа, большая часть территории (83.8%) приходится на диапазон уклона 0-28%, при этом 15.5% площади имеют диапазон 28-71%, и только 0.7% имеют уклон более 71%. Среднегодовое количество осадков здесь колеблется от 381.6 до 507.9 мм. Средняя температура января составляет  $7.3^{\circ}\text{C}$ , июля –  $29.3^{\circ}\text{C}$ . Для нашего исследования мы выбрали одну синоптическую станцию в Горгане.

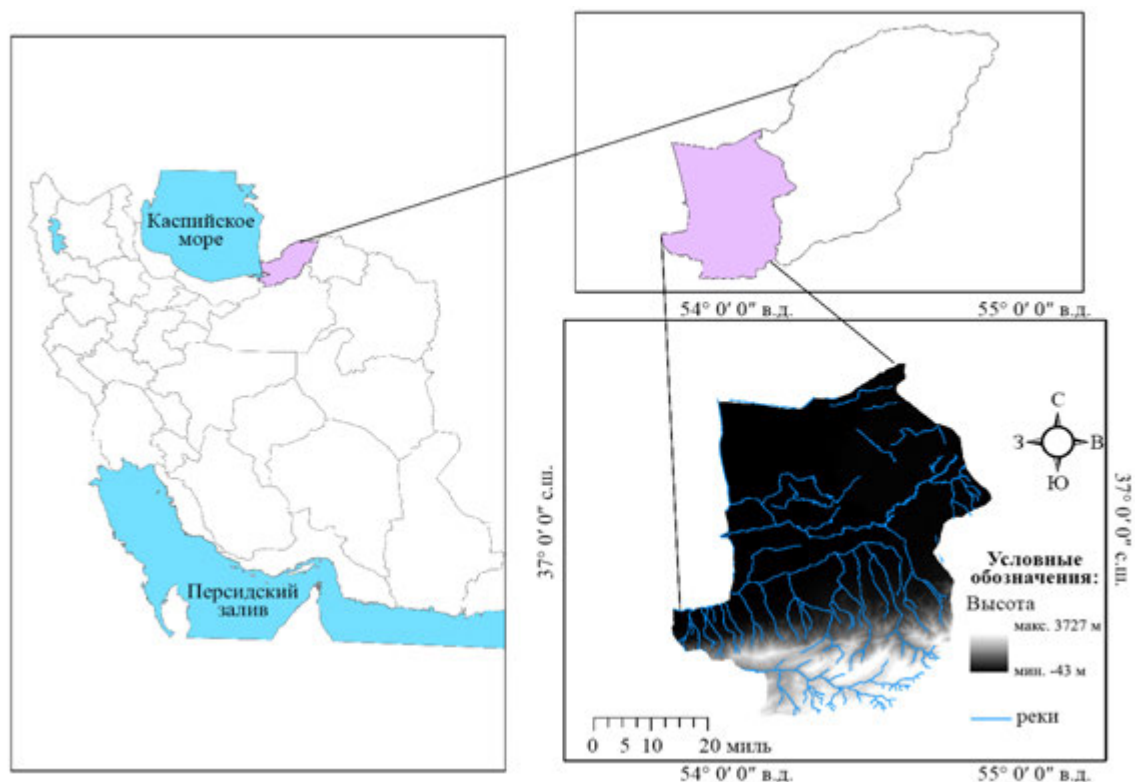
### Объекты и методы исследования

*Данные.* Информация по ежедневным осадкам и температуре за 1961-1990 гг. на станции Горган были получены от Метеорологической организации Ирана. Кроме того, для сценариев выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85 использовались выходные данные Канадской модели системы Земли второго поколения – CanESM2. Эта модель была разработана Канадским центром моделирования и анализа климата Министерства окружающей среды Канады и представляет собой версию модели четвертого поколения общей циркуляции атмосферы-океана для системы Земли. В данном исследовании мы использовали выходные данные CanESM2, поскольку это одна из моделей, которая применяется в Пятом оценочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC AR5), а также потому, что она находится в открытом доступе, легкодоступна и включает новое поколение климатических моделей, недавно использовавшихся в прогнозировании климатических изменений (Gent et al., 1998). Подробная информация о CanESM2 представлена в таблице 1.

*Статистическая модель снижения масштаба (SDSM)* – это инструмент для снижения масштаба и получения метеорологических данных, который позволяет масштабировать ежедневные атмосферные переменные в пространстве с использованием множественных методов линейной регрессии (Wilby, Dawson, 2007). Это одна из лучших моделей, т.к. она позволяет создавать сценарии климатических изменений с высоким разрешением и может быть использована в различных исследованиях о воздействии климата (Wilby et al., 2002; Niroshinie, Babel, 2011). В нашей работе мы использовали версию SDSM 5.2, разработанную Р.Л. Уилби и С.В. Доусоном и доступную бесплатно на официальном сайте Statistical Downscaling Model (2022).

Первый шаг при запуске модели SDSM – это контроль качества для выявления ошибок, включая

отсутствующие данные или выбросы. Мы оценивали качество данных по температуре и осадкам на станции Горган за 1961-1990 гг. с проверкой контроля качества. Затем мы провели корреляционный анализ между выходными данными (предикторами) глобальной климатической модели (табл. 2) и данными станции, т.е. предикторными переменными (например, температурой и осадками) для выбора наиболее подходящих переменных. Такие переменные были получены со станции Горган, располагающей долгосрочными метеорологическими данными и расположенной в центре Горганской равнины.



**Рис. 1.** Область исследования и схема рек на цифровой модели рельефа.

**Таблица 1.** Информация о Канадской модели системы Земли (второго поколения) – CanESM2 (Yin et al., 2013).

Название	Страна	Пространственное разрешение для атмосферы (долгота*широта)	Пространственное разрешение для океана (долгота*широта)
CanESM2	Канада	128*64	256*192

Калибровка модели необходима для получения параметров для снижения масштаба на основе уравнений множественной регрессии, которым заданы прогнозируемые и атмосферные (предикторы) переменные регионального масштаба. В данном исследовании модель была откалибрована в масштабе месяца для климатических осадков и температуры, т.е. было создано 12 уравнений регрессии на все 12 месяцев (Kararou, 2009). Кроме того, для проверки модели были искусственно сгенерированы данные. Всего для работы были доступны наблюдаемые суточные данные об осадках и температуре за 30 лет (1961-1990 гг.): 21 год (1961-1982 гг.) использовался для калибровки модели SDSM, а последующие 8 лет (1982-1990 гг.) – для проверки. Чтобы оценить эффективность SDSM при моделировании переменных температуры и осадков, мы использовали среднеквадратичную ошибку и коэффициент корреляции R (1). Среднеквадратичная ошибка широко используется для выделения различий между предсказанным значением (оценкой) и фактическими наблюдаемыми значениями (Hyndman, 2006). Обычно она применяется в климатологии, при климатических



изменениях и регрессионном анализе для проверки результатов модели.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S-O)^2}{N}} \quad (1),$$

где  $N$  – количество образцов,  $S$  – смоделированные ежемесячные осадки и температура,  $O$  – наблюдаемые ежемесячные осадки и температура со станции Горган (Barnston, 1992).

**Таблица 2.** Список предикторных переменных модели CanESM2, использованной в данной работе.

Описание	Предиктор	№
Меридиональная скорость на поверхности	p1_v	1
500 гПа – скорость вихря	p5_z	2
500 гПа – геопотенциальная высота	p500	3
850 гПа – сила воздушного потока	p8_f	4
850 гПа – зональная скорость	p8_u	5
850 гПа – меридиональная скорость	p8_v	6
850 гПа – направление ветра	p8th	7
Осадки	prcp	8
Средняя температура на высоте 2 м	temp	9
Удельная влажность поверхности	shum	10
Давление н.у.м.	mslp	11

Другой мерой проверки является переменная  $R$ , обычно применяемая в статистике для измерения силы связи между двумя переменными (2).  $R$  рассчитывается:

$$R = \frac{\sqrt{(O-\bar{O})(S-\bar{S})}}{\sqrt{\sum(O-\bar{O})^2 \sum(S-\bar{S})^2}} \quad (2),$$

где  $O$  – наблюдаемые ежемесячные осадки и температура;  $S$  – смоделированные ежемесячные осадки и температура;  $\bar{O}$  – наблюдаемые средние значения осадков и температуры;  $\bar{S}$  – смоделированные средние значения осадков и температуры.

Поскольку Горган – единственная синоптическая станция с многолетними метеорологическими данными, масштабирование крупных переменных проводилось с использованием данных именно с этой станции. Наконец, были сгенерированы искусственные суточные погодные ряды с использованием генератора таких сценариев в SDSM. Их сделали для осадков и температуры трех будущих временных отрезков: 2020-е (2011-2040 гг.), 2050-е (2041-2070 гг.), 2080-е (2071-2099 гг.).

*Климатические индексы* выступают в качестве крайне полезных инструментов для климатической классификации различных регионов (Gebremedhin et al., 2018). Наше исследование было сосредоточено на изменении индекса в будущем; дополнительно применялся индекс засушливости Де Мартонна и индекс засушливости Эмбергера.

*Индекс засушливости де Мартонна.* Обычно засушливость выражается в виде функции взаимодействия осадков с температурой, которые считаются ключевыми параметрами при расчете данного индекса. Поэтому, будучи количественным показателем степени дефицита воды на изучаемой территории, индекс засушливости является важным индикатором регионального климата (Huang et al., 2016). Индекс де Мартонна представляет собой климатическую классификацию, которая основана на продолжительности засухи, и рассчитывается с использованием среднего количества осадков  $P$  в мм и температуры  $T$  в °C (Hrnjak et al., 2014; Moral et al., 2015). Годовые значения индекса представлены в уравнении (3):

$$Im_{DM} = \frac{P}{T+10} \quad (3).$$

Этот индекс также можно рассчитать и на ежемесячной основе с помощью уравнения (4):

$$Im_{DM} = \frac{12Pm}{Tm+10} \quad (4),$$

где  $Im_{DM}$  – месячное значение индекса засушливости де Мартонна,  $Pm$  и  $Tm$  – среднемесячные осадки в мм и среднемесячная температура в °C. Де Мартонн выделял 7 типов погоды, которые

основаны на значениях  $I_{DM}$  и показаны в таблице 3. В нашем исследовании ежемесячный индекс де Мартонна был рассчитан для исходного и будущего периодов, а процент будущих изменений индекса был рассчитан по уравнению (5):

$$\%I_M = \left( \frac{F_{IM} - B_{IM}}{B_{IM}} \right) \times 100 \quad (5),$$

где  $\%I_M$  – изменение месячного значения индекса де Мартонна, наблюдаемое между исходным и тремя будущими периодами, в процентах;  $F_{IM}$  – будущее месячное значение индекса де Мартонна, а  $B_{IM}$  – исходное месячное значение индекса де Мартонна.

*Индекс засушливости Эмбергера* является частью индекса качества климата, который помогает классифицировать климат в зависимости от доступности водных ресурсов. Для этого индекса необходимы только средние годовые осадки и средняя температура самых холодных и самых жарких месяцев, чтобы определить количество засушливых и влажных месяцев (Emberger, 1932). Таким образом, расчет индекса засушливости Эмбергера прост, поскольку необходимые данные можно легко получить из обычных метеорологических записей. Он оценивается по следующему уравнению:

$$IE = \frac{100 * P}{M^2 - m^2} \quad (6),$$

где  $P$  – среднегодовое количество осадков в мм,  $M$  и  $m$  – средняя температура самого жаркого и самого холодного месяцев. Климатическая классификация Эмбергера, основанная на значениях  $IE$ , приведена в таблице 3.

**Таблица 3.** Коэффициент ограничения де Мартонна ( $I_{DM}$ ) и индекс засушливости по классификации Эмбергера ( $IE$ ).

Основной тип климата	Значение $I_{DM}$	Основной тип климата	Значение $IE$
Сухой	< 10	Засушливый	< 30
Полусухой	10-20	Полузасушливый	30-50
Средиземноморский	20-24	Субгумидный	50-90
Полувлажный	24-28	Влажный	> 90
Влажный	28-35		
Очень влажный	$\geq 35$		

### Результаты и обсуждение

Для калибровки и проверки модели SDSM мы использовали суточные данные о температуре и осадках, полученные за период 1961-1990 гг. со станции Горган. Значения среднеквадратичной ошибки составили 0.11 и 1 соответственно, что является удовлетворительным результатом. Также ошибка при уменьшении масштаба осадков гораздо выше, чем для температуры. Это может быть связано с тем, что предикторы регионального масштаба довольно плохо определяют суточное количества осадков на отдельных участках. Кроме того, для выбранных временных периодов осадки являются условным процессом (Wilby, Dawson, 2007). Корреляция между уменьшенными и наблюдаемыми осадками (0.77) и температурой (0.99) является приемлемой. В целом, результаты различных статистических погрешностей при измерениях показали, что SDSM хорошо моделирует среднемесячные осадки и температуру на станции Горган как при калибровке (1961-1982 гг.), так и при проверке (1982-1990 гг.).

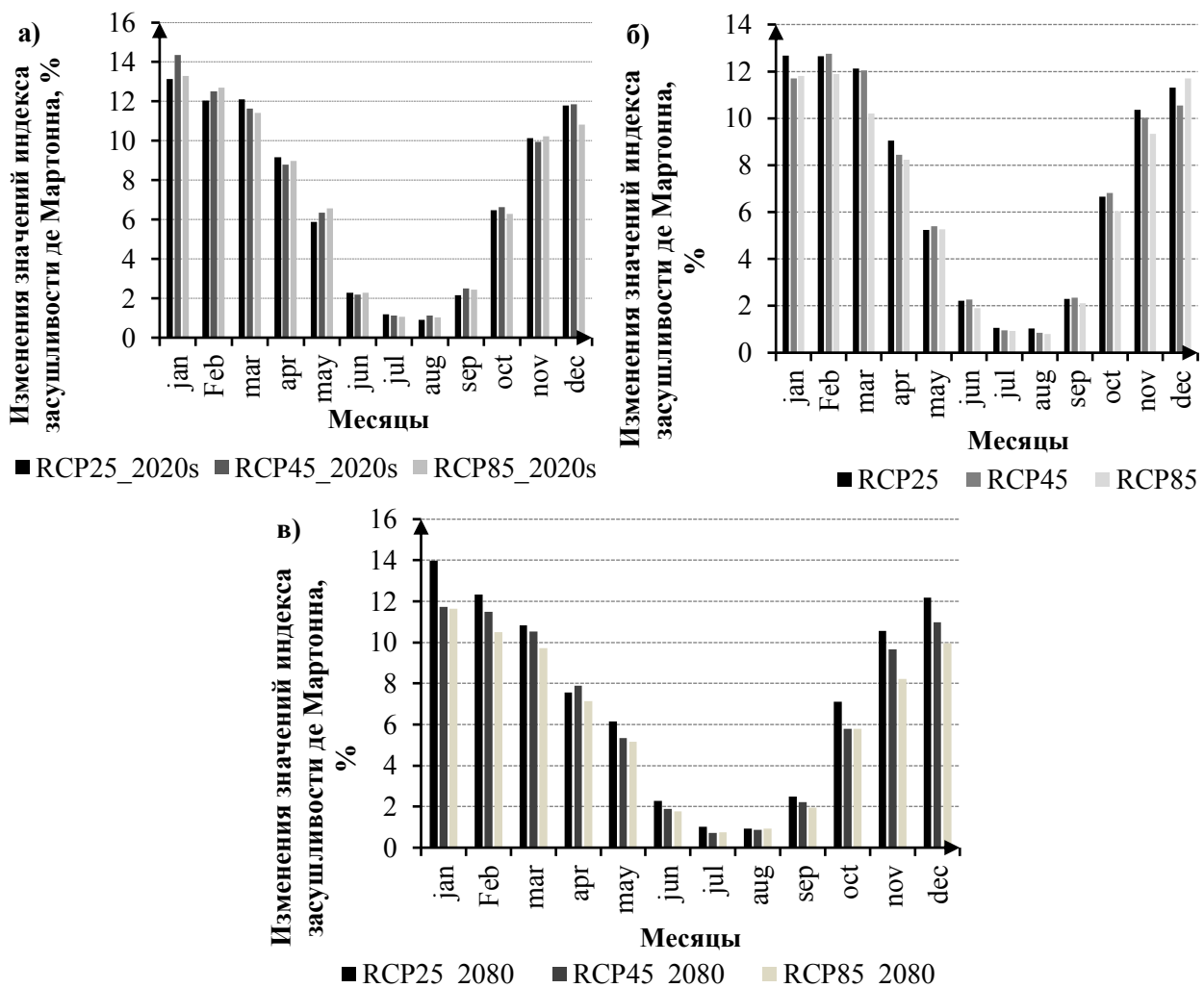
В нашем исследовании после выяснения пригодности модели SDSM для использования масштаб суточного количества осадков и температуры с иранской станции был уменьшен для сценариев выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85 для модели CanESM2. Температура показывает тенденцию к увеличению во всех будущих периодах для всех сценариев; она увеличивается по мере увеличения концентрации  $CO_2$  во всех перечисленных сценариях. Прогнозируемое повышение среднегодовой температуры в 2020-х годах составляет около 1.9, 1.7 и 2°C для RCP 26, RCP 45 и RCP 85 соответственно. Ожидается, что среднегодовая температура повысится на 2.3, 2.7 и 3.7°C в 2050-х годах, а в 2080-х гг. повышение составит около 2.2, 3.4 и 5.5°C.

В отличие от температуры прогноз осадков показывает увеличение месячной суммы для всех будущих сезонов, кроме лета и сентября, по всем трем сценариям RCP. Годовое количество осадков

на станции Горган по сценариям RCP 26, RCP 45 и RCP 85 увеличится на 17,8, 19 и 18,6% соответственно в 2020-х гг., на 18,5, 17,8 и 14,7% в 2050-х гг., на 19, 12,4 и 12,4% в 2080-х гг. Среднее количество осадков несколько уменьшится летом во всех трех будущих периодах для всех сценариев выбросов по модели CanESM2. Максимальное снижение приходится на август; для всех сценариев оно может составить 35,5, 43,3 и 40,7% в 2020-х гг., 41,5, 34,4 и 32,9% в 2050-х гг. и 36,8, 36 и 41,5% в 2080-х гг.

Индексы засушливости де Мартона и Эмбергера мы рассчитали, используя уменьшенные в масштабе данные об осадках и температуре, а также данные наблюдений за исходный (наблюдаемый) период и за три будущих периода для сценариев RCP 26, RCP 45 и RCP 85. Результат вычисления индекса де Мартона показывает, что исследованный район – сухой и полусухой для всех периодов и всех сценариев RCP по модели CanESM2. Значения индекса немного увеличатся в 2020-х и 2050-х гг. для всех перечисленных сценариев, поскольку в будущем температура продолжит повышаться на их основе. В 2080-х годах значение индекса засушливости де Мартона снизится при RCP 85, останется без изменений при RCP 45 и несильно увеличится при RCP 26.

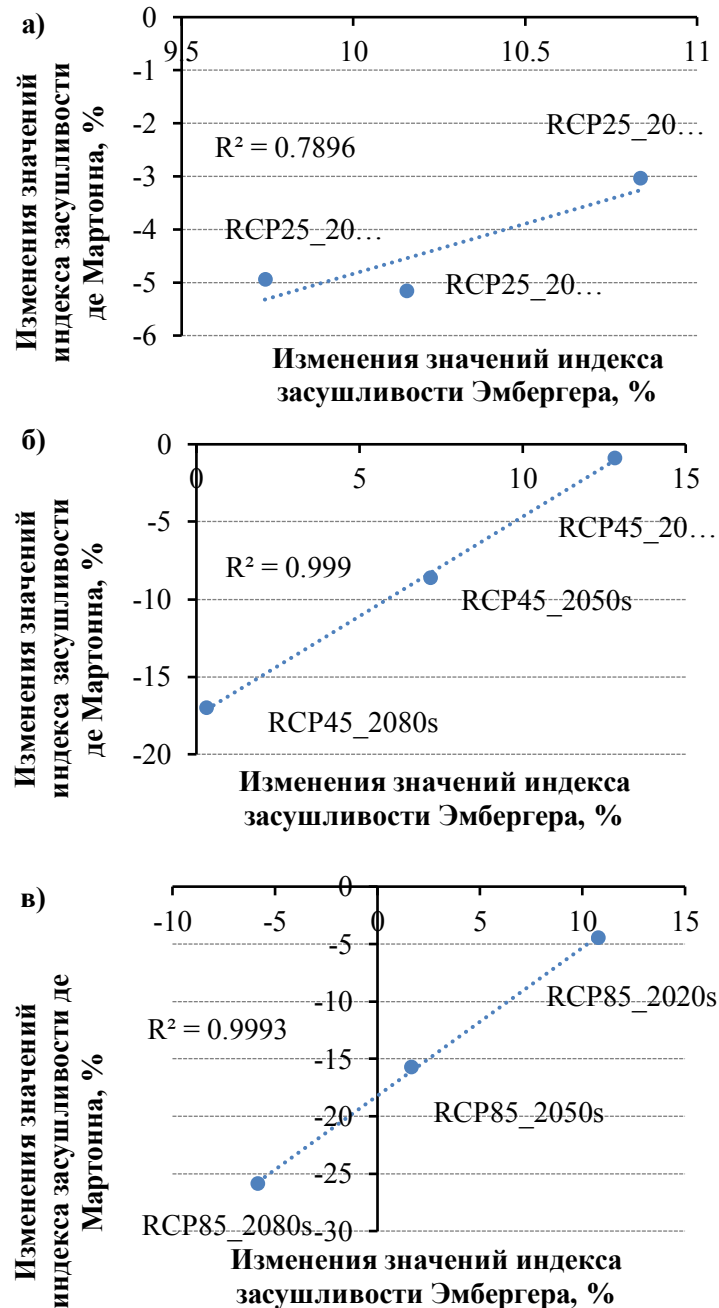
Судя по ежемесячному диапазону значений индекса засушливости де Мартона, период с апреля по октябрь является засушливым, а остальные месяцы – полузасушливыми для всех сценариев выброса газов. Частично это может быть связано с уменьшением количества осадков и повышением температуры с апреля по октябрь, а значит, именно в этот период земля наиболее нуждается в орошении. Самое высокое значение индекса засушливости де Мартона ожидается в январе, а самое низкое – в августе для всех трех сценариев RCP. Результаты представлены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Процентные изменения индекса засушливости де Мартона для будущих периодов: а) 2020-е годы, б) 2050-е годы, в) 2080-е годы для трех сценариев выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85.

В летний сезон каждого из трех выбранных периодов влажность уменьшится при сценариях RCP 26 и RCP 45. То же произойдет и для сценария RCP 85, но только не в июне 2020-х гг., значения которого, предположительно, останутся стабильными. Самые высокие значения влажности установлены для января 2020-х для сценария RCP 45 за счет обильных осадков. Наибольшее снижение влажности прогнозируется для лета 2050-х при сценарии RCP 45, поскольку будет наблюдаться резкое повышение средних температур.

Прогнозируемый индекс засушливости Эмбергера показывает тенденцию, почти аналогичную тенденции индекса де Маргонна. На рисунке 3 значения  $R^2$  указывают на высокую корреляцию между обоими индексами, что подтверждает их сходную тенденцию для всех будущих изменений и периодов, что также соответствует результатам, полученным М.А. Gebremedhin с соавторами (2018).



**Рис. 3.** Корреляция между изменениями индексов засушливости де Маргонна и Эмбергера для сценариев выбросов парниковых газов: а) RCP 25, б) RCP 45, в) RCP 85.

Поскольку индекс засушливости Эмбергера основан на разнице между средними температурами самого жаркого и самого холодного месяцев, он подходит для выбранной нами территории, где эта разница крайне велика.

### Выводы

В данной работе мы изучили классификацию будущего климата западной части Горганской равнины в Иране, среднесуточные значения температуры и осадков которого были уменьшены с использованием статистической модели снижения масштаба (SDSM). Результаты показали, что при уменьшении масштаба осадков ошибка гораздо выше, чем при уменьшении температуры. Это может быть связано с тем, что суточное количество осадков на отдельных участках устанавливается предикторами регионального масштаба относительно плохо. Для климатической модели CanESM2 мы смоделировали сценарии климатических изменений в соответствии со сценариями выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85 для трех периодов: 2020-е, 2050-е и 2080-е гг. Были использованы индексы засушливости де Мартонна и Эмбергера. Спрогнозированная температура имеет тенденцию к повышению для всех трех периодов и всех сценариев RCP. И действительно, продолжающиеся выбросы парниковых газов спровоцируют дальнейшее потепление и долгосрочные изменения в мире, а также окажут серьезное воздействие на человечество и экосистемы. Ограничение процессов глобального потепления требует стабильного управления, которое поможет снизить выбросы парниковых газов. Прогноз осадков в отличие от температуры показывает прирост месячных значений для всех трех сценариев RCP для всех сезонов года кроме лета и сентября. Соответственно ежемесячному диапазону значений индекса засушливости де Мартонна, период с апреля по октябрь является засушливым, а остальные месяцы – полузасушливыми для всех трех сценариев выбросов.

Спрогнозированный индекс засушливости Эмбергера демонстрирует схожие результаты. Значения  $R^2$  указывают на высокую корреляцию между обоими индексами, что свидетельствует об их одинаковой тенденции для всех будущих периодов и климатических изменений в них.

Поскольку более трети изученной площади отдано под орошаемое земледелие, большая часть доходов сельских жителей зависит от урожая, и, как следствие, сокращение количества осадков и усиление засухи в прогнозируемые месяцы приведет к снижению урожая, вынужденной миграции жителей и бедности в регионе, т.е. такие изменения критичны для устойчивого развития региона. Поэтому для сохранения урожая в данной местности необходимы ирригационные мероприятия. С другой стороны, некоторые хозяйственные культуры, потребляющие мало воды, можно рассмотреть в качестве альтернативы для выращивания в таких условиях. Одна из мер по экономии воды в регионе – это современные методы орошения и выращивание хлопчатника, но также стоит учитывать соответствующие схемы культивирования. Таким образом, в целях сохранения водных ресурсов, необходимо информировать население в целом и фермеров в частности о засухе и водном кризисе в регионе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Barnston A.G.* 1992. Correspondence Among the Correlation, RMSE, and Heidke Forecast Verification Measures; Refinement of the Heidke Score // *Weather And Forecasting*. Vol. 7. No. 4. Pp. 699-709.
- Chu P.S., Zhao X.* 2011. Bayesian Analysis for Extreme Climatic Events: A Review // *Atmospheric Research*. Vol. 102. No. 3. Pp. 243-262.
- Emberger L.* 1932. Sur une formule climatique et ses applications en botanique // *La Météorologie*. No. 92. Pp.1-10.
- Garcia R.A., Cabeza M., Rahbek C., Araújo M.B.* 2014. Multiple Dimensions of Climate Change and Their Implications for Biodiversity // *Science*. Vol. 344. No. 6183. Pp. 1247-1259.
- Gebremedhin M.A., Abraha A.Z., Fenta A.A.* 2018. Changes in Future Climate Indices Using Statistical Downscaling Model in the Upper Baro Basin of Ethiopia // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 133. No. 1-2. Pp. 39-46.
- Gent P.R., Bryan F.O., Danabasoglu G., Doney S.C., Holland W.R., Large W.G., McWilliams J.C.* 1998. The NCAR Climate System Model Global Ocean Component // *Journal of Climate*. Vol. 11. No. 6. Pp. 1287-1306.
- Subimal G., Mujumdar P.P.* 2005. Future Rainfall Scenario Over Orissa with GCM Projections by Statistical Downscaling, India // *Journal of Current Science*. Vol. 90. No. 3. Pp. 396-404.
- Hrnjak I., Lukić T., Gavrilov M.B., Marković S.B., Unkašević M., Tošić I.* 2014. Aridity in Vojvodina, Serbia // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 115. No. 1-2. Pp. 323-332.
- Huang H., Han Y., Cao M., Song J., Xiao H.* 2016. Spatial-Temporal Variation of Aridity Index of China during 1960-2013 // *Advances in Meteorology*. Vol. 2016. 10 p.

- Hyndman R.J., Koehler A.B.* 2006. Another Look at Measures of Forecast Accuracy // *International Journal of Forecasting*. Vol. 22. No. 4. Pp. 679-688.
- Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Dahe Q.* 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 582 p.
- Karamouz M., Falahi M., Nazif S., Rahimi F.M.* 2009. Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network Modeling // *Scientia Iranica*. Vol. 16. No. 2. Pp. 165-172.
- Kim K., Park J., Baik J., Choi M.* 2017. Evaluation of Topographical and Seasonal Feature Using GPM IMERG and TRMM 3B42 over Far-East Asia // *Atmospheric Research*. No. 187. Pp. 95-105.
- Mareuil A., Leconte R., Brissette F., Minville M.* 2007. Impacts of Climate Change on the Frequency and Severity of Floods in the Châteauguay River Basin, Canada // *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 34. No. 9. Pp. 1048-1060.
- Martinez C.J., Baigorria G.A., Jones J.W.* 2009. Use of Climate Indices to Predict Corn Yields in Southeast USA // *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 29. No. 11. Pp. 1680-1691.
- Montazerolghaem M., Vervoort W., Minasny B., McBratney A.* 2016. Spatiotemporal Monthly Rainfall Forecasts for South-Eastern and Eastern Australia Using Climatic Indices // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 124. No. 3-4. Pp. 1045-1063.
- Moral F.J., Rebollo F.J., Paniagua L.L., García-Martín A., Honorio F.* 2016. Spatial Distribution and Comparison of Aridity Indices in Extremadura, Southwestern Spain // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 126. No. 3-4. Pp. 801-814.
- Niroshinie M.A.C., Babel M.S.* 2011. Analysis of Extreme Flooding under Future Climate Change Scenarios for Colombo // *Annual Research Journal of SLSAJ*. Vol. 11. Pp. 26-34.
- Peña-Angulo D., Trigo R.M., Cortesi N., González-Hidalgo J.C.* 2016. The Influence of Weather Types on the Monthly Average Maximum and Minimum Temperatures in the Iberian Peninsula // *Atmospheric Research*. No. 178. Pp. 217-230.
- Prentice K.C.* 1990. Bioclimatic Distribution of Vegetation for General Circulation Model Studies // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. No. 95 (D8). Pp. 11811-11830.
- Rahimi J., Ebrahimpour M., Khalili A.* 2013. Spatial Changes of Extended De Martonne Climatic Zones Affected by Climate Change in Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 112. No. 3-4. Pp. 409-418.
- Sharifi E., Steinacker R., Saghafian B.* 2018. Multi Time-Scale Evaluation of High-Resolution Satellite-Based Precipitation Products over Northeast of Austria // *Atmospheric Research*. No. 206. Pp. 46-63.
- Statistical Downscaling Model. 2022. [Электронный ресурс <https://sdsms.org.uk/sdsmsmain.html> (дата обращения 03.01.2022).]
- Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Mysterud A., Lima M., Chan K.S., Yoccoz N.G., Ådlandsvik B.* 2003. Studying Climate Effects on Ecology Through the Use of Climate Indices: The North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and Beyond // *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. Vol. 270. No. 1529. Pp. 2087-2096.
- Tapiador F.J., Moreno R., Navarro A.* 2019a. Consensus in Climate Classifications for Present Climate and Global Warming Scenarios // *Atmospheric Research*. No. 216. Pp. 26-36.
- Tapiador F.J., Navarro A., Moreno R., Sánchez J.L., García-Ortega E.* 2019b. Regional Climate Models: 30 Years of Dynamical Downscaling // *Atmospheric Research*. P. 104785.
- Tapiador F.J., Moreno R., Navarro A., Sánchez J.L., García-Ortega E.* 2019c. Climate Classifications from Regional and Global Climate Models: Performances for Present Climate Estimates and Expected Changes in the Future at High Spatial Resolution // *Atmospheric research*. No. 228. Pp. 107-121.
- Tramblay Y., Hertig E.* 2018. Modeling Extreme Dry Spells in the Mediterranean Region in Connection with Atmospheric Circulation // *Atmospheric Research*. No. 202. Pp. 40-48.
- Wan K.K., Li D.H., Yang L., Lam J.C.* 2010. Climate Classifications and Building Energy Use Implications in China // *Energy and Buildings*. Vol. 42. No. 9. Pp. 1463-1471.
- Wen G., Xiao H., Yang H., Bi Y., Xu W.* 2017. Characteristics of Summer and Winter Precipitation over Northern China // *Atmospheric Research*. No. 197. Pp. 390-406.
- Wilby R.L., Dawson C.W., Barrow E.M.* 2007. Statistical Downscaling Model (SDSM), Version 4.2 // A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts. UK. 6 p.
- Wilby R.L., Dawson C.W., Barrow E.M.* 2002. SDSM – A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts // *Environmental Modelling & Software*. Vol. 17. No. 2. Pp. 145-157.
- Yin C., Li Y., Ulrich P.* 2013. SimCLIM 2013 Data Manual – ClimSystems. 35 p.

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СУХИХ СТЕПЯХ  
И ИХ СВЯЗЬ С ЗАСУХАМИ**

© 2022 г. А.М. Пугачёва, А.И. Беляев, К.Ю. Трубакова, О.Д. Ромадина

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

*Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97*

*E-mail: pugachevaa@vfanс.ru, nir-1@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.01.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

По многолетним временным рядам данных с метеостанций, зарегистрированных на территории сухих степей Волгоградской области с каштановыми почвами, выявлены региональные изменения климата в поступлении осадков в сезоны активной вегетации (весна, лето). Регрессионный анализ показал увеличение поступления в весенний период и уменьшение в летний. Также выявлено увеличение числа засух в летний период при уменьшении засушливости, что связано с усилением интенсивности явления, представленного показателем Д.А. Педя и достигающего 3-х единиц. Выявлена незначительная обратная корреляционная связь между количеством поступающих осадков и числом засух в летний период в Волгограде, Суровикинском, Иловлинском и Камышинском районах и засушливых явлений в Суровикинском районе, а также прямая умеренная зависимость по засушливостям в Камышинском районе в летний период. Определены районы с максимальным количеством засух, а, следовательно, имеющие максимальные риски сельскохозяйственного производства. Это Камышинский (весна – 21, лето – 115) и Суровикинский (весна – 4, лето – 70) районы. В соответствии с полученными результатами по всем изучаемым районам, в особенности по тем, которые наиболее подвержены влиянию засух, необходима корректировка существующих схем севооборотов, ассортимента возделываемых культур и смещение акцентов в сторону ведения на данных территориях мелиоративного земледелия для исключения рисков аграрного производства при эффективном использовании земельных ресурсов.

*Ключевые слова:* изменение климата, сезоны активной вегетации, влагообеспеченность в сезоны активной вегетации, засухи, засушливость, сухая степь, каштановые почвы.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-13-21**

**EDN: ZNQH LZ**

Региональные изменения климата засушливых территорий имеют не только характерные индивидуальные особенности, но также подчиняются закономерностям глобальных климатических изменений. По мнению И.А. Берестневой (2006), засушливые регионы, к которым относятся сухие степи, являющиеся объектом данных исследований, имеют экологическую специфику, что определяется многообразием климатов. Особенный интерес для научных исследований представляют регионы, которые имеют на своей территории несколько природно-климатических зон. Они являются объектами исследований способными на ограниченной территории иметь разнонаправленные тенденции изменений. Одна из таких территорий – Волгоградская область, протяженностью 400 км, представлена двумя природными зонами и широким спектром подзон (Рябинина, 2011). Для ее северной части характерна настоящая степь с черноземными почвами, для южной – северная часть пустыни со светло-каштановыми почвами. Область характеризуется как «крайне контрастное по режиму увлажнения географическое пространство», с вариациями по годам гидротермического коэффициента от 0.1 до 1.4, что свидетельствует о природной особенности региона (Национальный доклад ..., 2021, с. 159). Ряд авторов объясняет данные особенности участием в формировании климата Нижнего Поволжья восьми типов атмосферных процессов, которые во взаимодействии и определяют разнообразие сезонных погод (Сажин и др., 2017). В связи с указанными региональными особенностями исследования данной территории должны в обязательном порядке включать не только

изучение изменений по зонам, но и проводится в разрезе подзон для представления объективной картины происходящих процессов, как в части изменения климата, так и его влияния на окружающую среду. Осреднение значений в пределах субъекта несет сглаживание характеристик региональных изменений, что представляет неполный и недостаточно объективный характер происходящих процессов. В засушливых областях атмосферные осадки «являются основной лимитирующей приходной статьёй водного баланса, от степени их изменчивости зависит существование растительного и животного мира региона» (Берестнева, 2006, с. 12). Количество поступающих осадков является ограничивающим фактором для формирования различных климатических явлений, в том числе аномальных, таких как засуха, которая оказывает определяющее влияние на функционирование ряда отраслей народного хозяйства, в первую очередь, сельскохозяйственную, что и определяет данное исследование как приоритетное. Волгоградская область по анализу многолетних временных рядов урожайности как зерновых культур, являющихся основной продовольственной культурой, так и естественных фитоценозов, служащих продовольственной базой отрасли животноводства, отличается, несмотря на наличие почвенно-климатических разностей, самыми низкими средними показателями среди регионов Южного Федерального округа (Пугачёва, 2016).

В проведенных ранее одним из авторов исследованиях на основе анализа многолетних данных было доказано изменение климата в сухих степях в части поступления осадков в сезоны активной вегетации и их влияние на формирование видового состава естественных фитоценозов на нарушенных территориях (Пугачёва, 2020). В представленной работе проведен анализ временных рядов (56 лет) поступления осадков в сезоны активной вегетации (весна, лето) в сухих степях на каштановых почвах и их влияние на наличие и динамику формирования таких опасных метеорологических явлений, как засухи. Существующие работы по засухам в Волгоградской области проводились и ранее, представляя как статистику показателей (Патент RU № 2021622059, 2021; Патент RU № 2021622058, 2021; Ткаченко, 2018), так и многолетний анализ явлений, включая прогнозирование процессов. В ряде научных трудов указывается, что каждый второй год в регионе является в той или иной мере засушливым, но закономерностей в очередности проявления явлений не отмечается (Золотокрылин и др., 2020а, 2020б; Национальный доклад ..., 2021). Особенно результаты представленных исследований интересны в связи с полученными А.Н. Золотокрылиным с соавторами (2020а) данными об отсутствии в настоящее время усиления аридизации климата, несмотря на продолжающееся глобальное потепление. Проведя исследования частоты засух Волгоградской области (отнеся всю ее территорию к сухой субгумидной, усреднив значения зон и подзон), на основе индекса аридности по данным длительного временного ряда с 1901 года по 2012 гг. авторы выявили тенденцию снижения числа засух в весенний период и их увеличение в летний. Тенденция изменения климата в разрезе Волгоградской области представляет бесспорный интерес в части общего направления изменений, но требует детализации локальных атмосферных процессов, т.к. аграрный сектор привязан к конкретным территориям с возможностью прогноза развития ситуации и принятия определенных решений по развитию сельскохозяйственной отрасли в разрезе отдельных районов: в части расширения объемов сельскохозяйственного производства, вводимых в севооборот культур и ряда других направлений, например, субсидирования мероприятий (Пугачёва, 2018). По данным Г.С. Голицына и А.А. Васильева (2019), в течение последних двух десятилетий число гидрометеорологических явлений, нанесших значительный ущерб отраслям экономики, а также общее число опасных метеорологических явлений увеличилось в 2 раза – с 206 случаев в 1996 г. до 465 случаев в 2018 г. По утверждению авторов, образование опасных явлений тесно связано не только с глобальными, но также с региональными и даже с локальными атмосферными процессами, что также подтверждает необходимость и целесообразность региональных исследований конкретных территорий.

Исследования по изучению изменений климата в части поступления осадков активно проводятся зарубежными учеными, что свидетельствует об их актуальности. По прогнозам исследователей из Соединенных Штатов Америки, в предстоящем столетии изменение климата повлияет на количество поступающих осадков и температурный режим по всему миру, но особенно сильно это отразится на засушливых территориях. С целью определения изменения водного баланса в XXI веке и его влияния на влагообеспеченность они изучили временные ряды 1980-2010 гг., 2030-2060 гг. и 2070-2100 гг. В



результате было спрогнозировано, что в будущем количество зимних и весенних осадков увеличится: к 2030-2060 гг. – на 7%, к 2070-2100 гг. – на 12%, – но это приведет лишь к незначительному увеличению водного потенциала почвы в зимний период. Полученный вывод свидетельствует, что, если увеличение поступления зимних осадков в будущем не сможет компенсировать затяжные сухие летние условия, то невозможно будет говорить о восстановлении и сохранении видового разнообразия естественных фитоценозов. Это приведет к видовым сдвигам во всех растительных сообществах аридных и субаридных территорий (Palmquist et al., 2016).

Прогнозируемые последствия изменения климата на распределение растительности в засушливой и полусушливой аргентинской Патагонии оценивались по тенденции уязвимости районов с признаками опустынивания, и было доказано, что площади степных территорий сократятся к 2050 г. примерно на 8% (Easdale et al., 2019). Однако глобальное потепление приводит не только к формированию более засушливого климата. Например, тенденция увеличения увлажнения обнаружена в засушливом и полусушливом Северо-Западном Китае. В условиях как глобального потепления, так и увеличения увлажнения за последние 30 лет увеличился рост растительности на территории тибетских лугов, главным образом за счет увеличения количества поступивших осадков и усиления эвапотранспирации (Yifan Song et al., 2020).

Глобальный анализ зональных и региональных климатических изменений за 61 год (1948-2008 гг.), проведенный учеными из Ланьчжоуского университета (КНР), говорит об увеличении в 2004 г. более чем на 7% числа засушливых территорий в полусушливых регионах по сравнению с 1962 г. (Huang et al., 2016).

Расширение границ в Восточном полушарии полусушливых регионов по континентам в отличие от Западного полушария увеличилось на 75% от их общего числа. Засушливые регионы в Западном полушарии, преобразуясь в новые полусушливые и распространяясь на американских континентах, делают климат более влажным. Обратный процесс наблюдается в Восточном полушарии, где расширение полусушливых территорий делает климат более сухим. Так, из 8 изучаемых полусушливых регионов, по данным азиатских ученых, 5 становятся суше, а 3 (Северная и Южная Америки, Австралия) – более влажными.

Целью настоящей работы является анализ связи изменений климата в части поступления влаги в сезоны активной вегетации (весна и лето) по многолетним временным рядам (56 лет) с формированием засух и засушливых явлений в сухих степях на региональном уровне на примере Волгоградской области. Оценка региональных изменений имеет первостепенное значение для аграрных областей с целью определения внутри субъектов районов с нестабильными климатами и, соответственно, рисками сельскохозяйственного производства для принятия решений по внедряемым технологиям, схемам севооборотов, возделываемым культурам, срокам сева, для управленческих структур по принятию оперативных решений, а также для финансирующих организаций с целью ухода от рисков кредитования.

### Материалы и методы

Обширная территория сухой степи с середины XX века активно вовлечена в сельскохозяйственное использование (Сафронова, 1975). Площадь сухих степей в Российской Федерации составляет 28 млн. га (Орлов, Бирюкова, 1995). В Волгоградской области сухая степь представлена 18 административными районами из 33 имеющихся. Сухие степи размещены на каштановых и темно-каштановых почвах. Зональное и подзональное деление территории представлено по данным академика А.С. Овчинникова с соавторами (2014). Площадь сухих степей в Волгоградской области на каштановых почвах, являющихся объектом исследований, составляет 2.87 млн. га, площадь пашни – 1.77 млн. га, что составляет 62% от общей площади данной подзоны. В настоящее время в области применяются как система сухого земледелия, так и адаптивно-ландшафтная, но обе предполагают короткоротационные богарные севообороты с преимуществом зерновых культур, а также наличием поздних пропашных культур. В связи с тем что не во всех районах области изучаемой подзоны имеются метеостанции, исследовались данные 5 зарегистрированных метеостанций сухих степей на каштановых почвах (табл. 1). Помимо имеющихся в свободном доступе данных климатического архива ВНИИГМИ-МДЦ (Булыгина и др., 2020) применялись также расчетные методы (Архив климатических ..., 1997).

В работе задействован индекс засушливости  $S_i$ , предложенный Д.А. Педем для определения

засухи на основе аномалий температуры и осадков с учетом данных об их изменчивости. Он рассчитывается по формуле (Педь, 1975):

$$Si = (T - T_{cp}) / \nu T - ((P - P_{cp}) / \nu P)$$

где  $T$  и  $R$  – аномалии,  $T_{cp}$  и  $P_{cp}$  – среднее значение температуры и осадков за период,  $\nu T$  и  $\nu P$  – среднеквадратические отклонения температуры и осадков. К засушливости относятся условия с  $Si = 1.5 \div 1.9$ , к засухе – с  $Si \geq 2.0$ . Данный индекс эффективен именно для отслеживания засухи в регионах с ограниченным количеством метеостанций и при наличии пробелов в зарегистрированных метео данных.

**Таблица 1.** Объекты исследований в сухих степях Волгоградской области на каштановых почвах.

№ п./п.	Номер станции в системе ВМО	Название района (станции)	Местонахождение	Географические координаты	
				градусы с.ш.	градусы в.д.
1	34655	Котельниковский (Котельниково)	Волгоградская область	47.63	43.15
2	34560	Волгоград (Волгоград)		48.67	44.45
3	34555	Суровикинский (Нижний Чир)		48.33	43.12
4	34461	Иловлинский (Иловля)		49.3	44.0
5	34363	Камышинский (Камышин)		50.07	45.37

Обрабатывались временные ряды поступления осадков за 56-летний период – с 1966 по 2021 гг.

Используемые в данной работе термины и определения соответствуют ГОСТу РД 52.04.563-2013 (Руководящий документ ..., 2014).

Регрессионные зависимости представлены в виде достоверных трендов, рассчитанных полиномиальной аппроксимацией, т.к. временные ряды имеют большое количество неоднородных данных. В основе метода лежит степенное уравнение, при этом количество степеней зависит от числа максимумов, в расчетах данной работы применяется максимально возможное – 6. По многолетним временным рядам вычислялись статистические характеристики частоты весенних (апрель, май) и летних (июнь, июль, август) засух (среднее, стандартное отклонение, коэффициенты линейных трендов с оценкой их статистической достоверности), в т.ч. по десятилетним периодам. Коэффициенты корреляции определялись по шкале Чеддока-Снедекора: 0.1-0.3 – незначительная, 0.4-0.5 – умеренная, 0.6-0.7 – ощутимая, 0.8-0.9 – высокая, 0.91-0.99 – сильная.

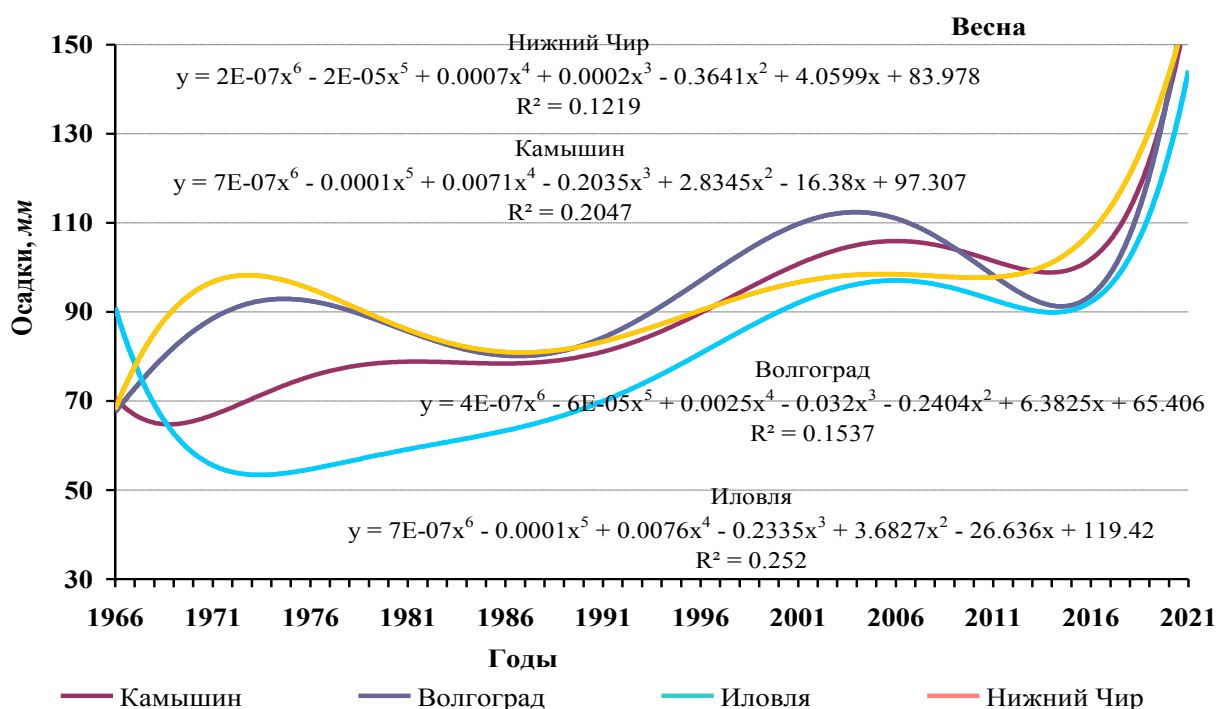
Картографирование данных по числу засух осуществлялось в программе QGIS.

### Результаты и обсуждение

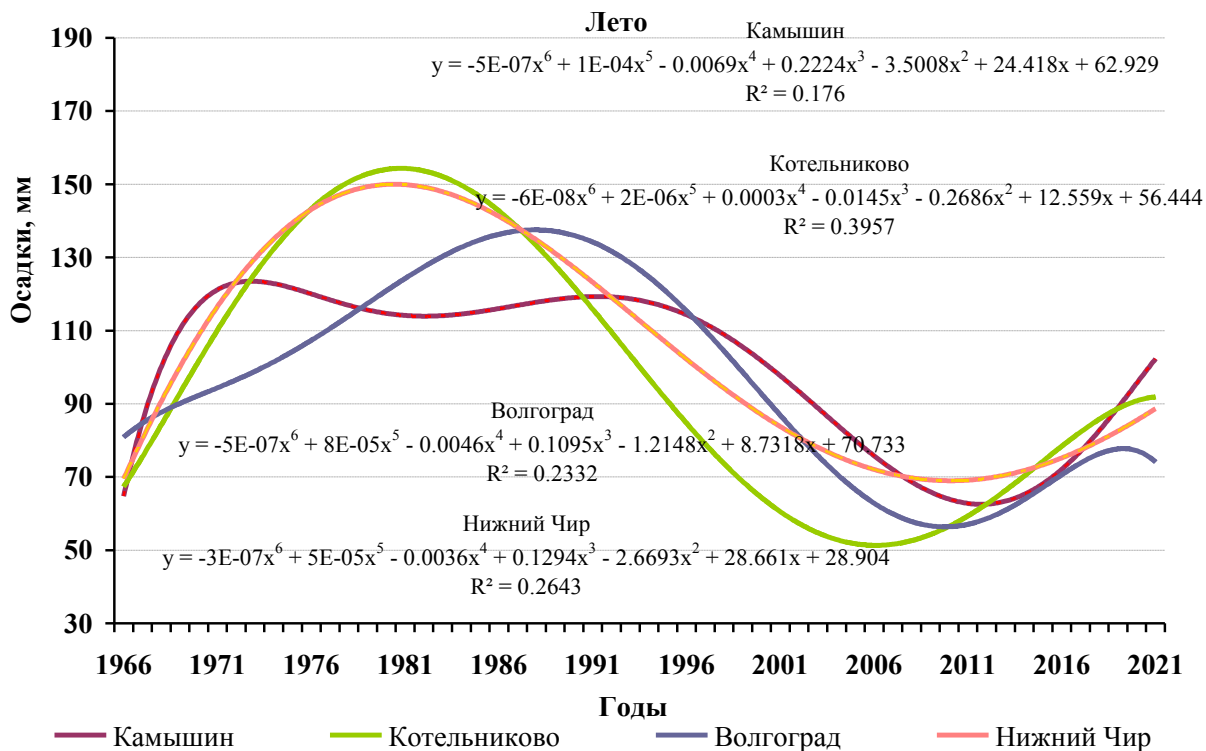
Проведен анализ длительных временных рядов по данным 5 метеостанций сухих степей на каштановых почвах Волгоградской области по поступлению осадков в сезоны активной вегетации: весна и лето. В проведенных исследованиях подтверждено региональное изменение климата, выявленное ранее на примере одного метеопункта (Пугачёва, 2020). Выявленные закономерности изменений поступления осадков представлены в виде достоверных трендов и уравнений регрессионной зависимости на рисунках 1 (весна) по метеостанциям Волгограда, Нижнего Чира, Иловли и Камышина и 2 (лето) по метеостанциям Котельниково, Волгограда, Нижнего Чира, Камышина, которые характеризуются увеличением их поступления в весенний период и уменьшением в летний.

Проведенный регрессионный анализ частоты опасных явлений засух и засушливостей показал следующее. В весенний период произошло снижение числа засух по одному району из пяти, где данные опасные явления наблюдались – в Камышинском районе (табл. 2).

В то же время в Камышинском районе наблюдается увеличение засушливых явлений, что объясняется снижением интенсивности явления засухи и сдвигом показателей в сторону засушливости. Снижение засушливости также наблюдается в Иловлинском районе.



**Рис. 1.** Тренды поступления осадков в весенний период в сухих степях Волгоградской области на каштановых почвах (за 56-летний период).



**Рис. 2.** Тренды поступления осадков в летний период в сухих степях Волгоградской области на каштановых почвах (за 56-летний период).

**Таблица 2.** Анализ частоты явлений засушливости и засух в весенний период в сухой степи на каштановых почвах.

Метеостанции	Опасные явления					
	Засушливость			Засуха		
	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации	Коэффициент корреляции (значимость)	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации	Коэффициент корреляции (значимость)
Котельниково	$y = 0.0016x + 0.0604$	$R^2 = 0.0073$	$r = 0.08$ (незначим)	$y = -0.0006x + 0.0364$	$R^2 = 0.0063$	$r = -0.07$ (незначим)
Волгоград (СХИ)	$y = -0.0034x + 0.2045$	$R^2 = 0.0319$	$r = -0.17$ (незначим)	$y = -0.0017x + 0.0675$	$R^2 = 0.0453$	$r = -0.21$ (незначим)
Суровикинский (Нижний Чир)	$y = -0.0021x + 1.3818$	$R^2 = 0.0025$	$r = -0.05$ (незначим)	$y = -0.0018x + 0.124$	$R^2 = 0.0134$	$r = -0.11$ (незначим)
Иловля	$y = -0.0137x + 1.0701$	$R^2 = 0.1366$	$r = -0.37$ ( $\alpha = 0.01$ )	$y = -0.0017x + 0.0675$	$R^2 = 0.0453$	$r = -0.21$ (незначим)
Камышин	$y = 0.0143x + 1.1117$	$R^2 = 0.1352$	$r = 0.36$ ( $\alpha = 0.01$ )	$y = -0.0131x + 0.8026$	$R^2 = 0.1422$	$r = -0.37$ ( $\alpha = 0.01$ )

В летний период, произошло увеличение числа засух только в двух районах из пяти – Суровикинском и Иловлинском. Выявленная динамика связана с уменьшением количества поступающих осадков летнего периода (табл. 3).

**Таблица 3.** Анализ частоты явлений засушливости и засух в летний период в сухой степи на каштановых почвах.

Метеостанции	Опасные явления					
	Засушливость			Засуха		
	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации	Коэффициент корреляции (значимость)	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации	Коэффициент корреляции (значимость)
Котельниково	$y = -0.001x + 1.0461$	$R^2 = 0.0004$	$r = -0.02$ (незначим)	$y = 0.0025x + 0.5013$	$R^2 = 0.0045$	$r = 0.06$ (незначим)
Волгоград (СХИ)	$y = 0.0063x + 0.9805$	$R^2 = 0.0134$	$r = 0.11$ (незначим)	$y = 0.0039x + 0.3364$	$R^2 = 0.0138$	$r = 0.11$ (незначим)
Суровикинский (Нижний Чир)	$y = -0.0076x + 1.6994$	$R^2 = 0.0236$	$r = -0.15$ (незначим)	$y = 0.0112x + 0.9474$	$R^2 = 0.0686$	$r = 0.26$ ( $\alpha = 0.10$ )
Иловля	$y = -0.0045x + 1.9143$	$R^2 = 0.0109$	$r = -0.10$ (незначим)	$y = 0.0106x + 0.3955$	$R^2 = 0.0822$	$r = 0.28$ ( $\alpha = 0.05$ )
Камышин	$y = -0.0025x + 0.9798$	$R^2 = 0.0029$	$r = -0.08$ (незначим)	$y = 0.0044x + 1.9448$	$R^2 = 0.0091$	$r = 0.09$ (незначим)

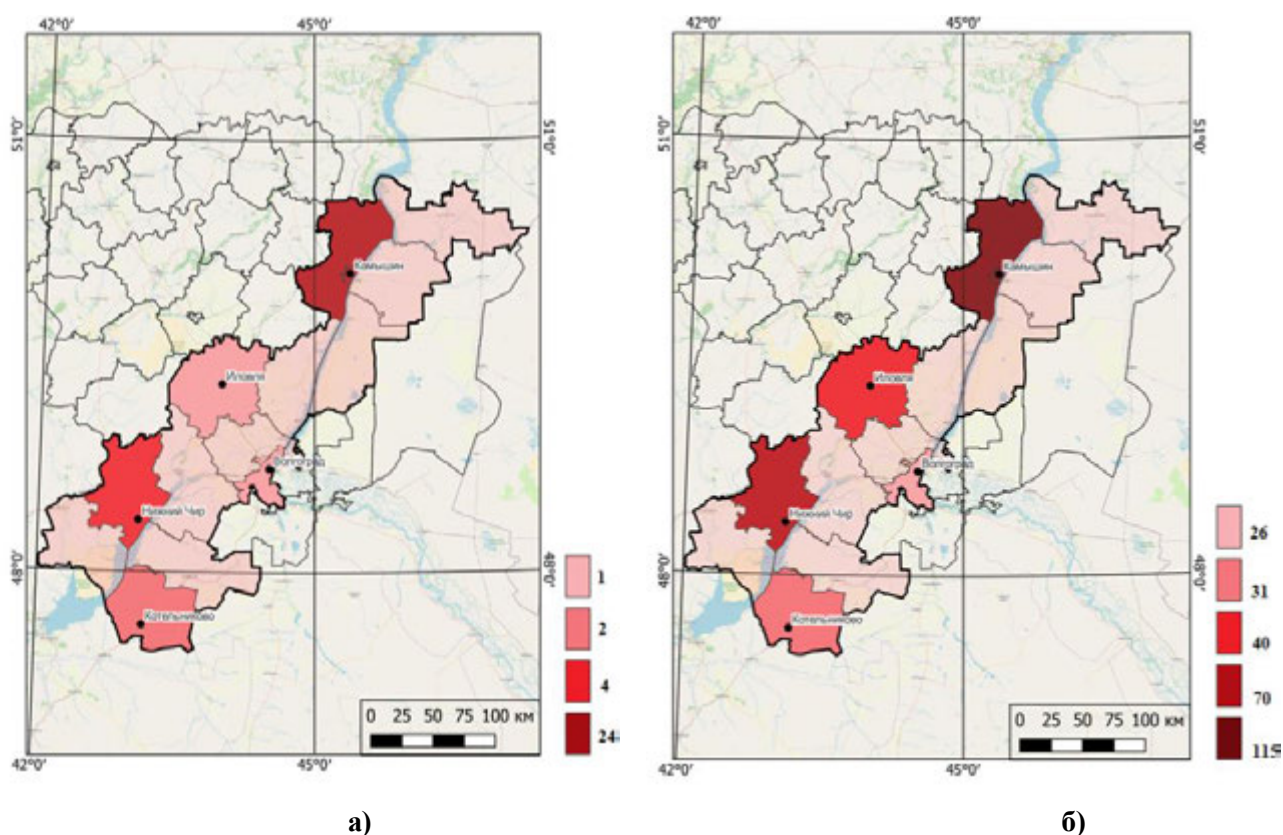
Рассчитанная корреляционная связь между количеством поступающих осадков и числом засушливых явлений и засух в динамике представлена в таблице 4. Согласно полученным данным, достоверная обратная связь наблюдается для засух в летний период во всех исследуемых районах кроме Котельниково. При этом выявленные корреляционные зависимости являются незначительными по своей силе.

По засушливостям в весенний период выявлена незначительная обратная связь числа явлений и количества поступающих осадков в Суровикинском и Иловлинском районах и прямая незначительная связь в летний период по Суровикинскому району. В Камышинском районе установлена умеренная прямая связь между рассматриваемыми явлениями в летний период.

**Таблица 4.** Корреляционная связь (с ее значимостью  $\alpha$ ) между количеством поступающих осадков и числом явлений (засухи, засушливость).

Метеостанции	Засушливость		Засуха	
	Весна	Лето	Весна	Лето
Котельниково	-0.12 (незначим)	-0.18 (незначим)	-0.06 (незначим)	-0.19 (незначим)
Волгоград (СХИ)	-0.17 (незначим)	-0.05 (незначим)	-0.13 (незначим)	<b>-0.39 (<math>\alpha = 0.01</math>)</b>
Суровикинский (Нижний Чир)	<b>-0.28 (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	<b>0.24 (<math>\alpha = 0.10</math>)</b>	-0.11 (незначим)	<b>-0.39 (<math>\alpha = 0.01</math>)</b>
Иловля	<b>-0.29 (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	0.09 (незначим)	<b>0.23 (<math>\alpha = 0.10</math>)</b>	<b>-0.34 (<math>\alpha = 0.01</math>)</b>
Камышин	0.15 (незначим)	<b>0.42 (<math>\alpha = 0.01</math>)</b>	-0.21 (незначим)	<b>-0.35 (<math>\alpha = 0.01</math>)</b>

Представленные на рисунке 3 засухи по общему числу явлений показывают их распределение по изучаемым объектам. Максимальное число засух за исследуемые периоды, как весной, так и летом, наблюдалось в Камышинском районе, на втором месте оказался Суровикинский район.



**Рис. 3.** Число засух на территории каштановых почвах в сухих степях по изучаемым объектам: *а* – весна (апрель, май); *б* – лето (июнь, июль, август).

### Выводы

На основе анализа длительного временного ряда (56 лет) выявлены изменения климата по административным районам Волгоградской области сухих степей на каштановых почвах в части поступления осадков в сезоны активной вегетации: весна и лето.

Проведенный регрессионный анализ частоты явлений позволил показать снижение за изучаемый период числа случаев с засухами в весенний период по одному району, где они наблюдались – Камышинскому при увеличении засушливости в нем же. Уменьшение числа случаев с засушливостью наблюдалось в Иловлинском районе. Анализ частоты засух в летний период показал их увеличение по двум изучаемым объектам (Суровикинский, Иловлинский районы).

Установлена незначительная обратная корреляционная связь между числом засух и количеством поступающих осадков в летний период в Волгограде, Суровикинском, Иловлинском и Камышинском районах. С уменьшением числа поступающих осадков увеличивается число засух. По засушливостям в весенний период выявлена незначительная обратная связь числа явлений и количества поступающих осадков в Суровикинском и Иловлинском районах и умеренная прямая связь в летний период по Камышинскому району.

Анализ числа явлений методом картографии наглядно показал районы с наибольшим числом опасных явлений – Камышинский и Суровикинский, что предполагает необходимость смены существующей системы земледелия на данных территориях. Рискованным является возделывание яровых зерновых культур, а также поздних пропашных, которые попадают как под весенние, так и под летние опасные явления.

Исследования региональных климатов является обязательным условием ведения эффективной сельскохозяйственной деятельности, т.к. позволяет объективно оценивать ситуацию с изменением климата на уровне административных районов. Для аграрных регионов полученная информация является необходимой с целью принятия безрисковых управленческих решений для сельскохозяйственного производства.

*Благодарности.* Авторы благодарят инженера-исследователя лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН А.А. Васильченко за картографический материал, подготовленный к статье.

*Финансирование.* Работа выполнена в рамках Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архив климатических данных ВНИИГМИ-МЦЦ: официальный сайт. 1997 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/it/178-aisog1> (дата обращения 13.10.2021)].
- Берестнева И.А.* 2006. Климаты аридной зоны. Биологические ресурсы и природные условия Монголии // Труды совместной Российской-монгольской компл. биологической экспедиции. М: Наука. Т. 46. 287 с.
- Голицын Г.С., Васильев А.А.* 2019. Изменение климата и его влияние на частоту экстремальных гидрометеорологических явлений // Метеорология и гидрология. № 11. С. 9-12.
- Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б.* 2020а. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // Известия РАН. Серия Географическая Т. 84. № 2. С. 207-217.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А.* 2020б. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге европейской России // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 (85). С. 76-83. [*Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A.* 2020. Characteristics of Spring–Summer Drought in Dry and Wet Periods in the South of European Russia // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 4. P. 322-328.]
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидации последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». 2021 / Ред. Р.С.-Х. Эдельгериев. М.: Издательство МБА. Т. 3. 700 с.
- Овчинников А.С., Балашова Н.Н., Иванова Н.В.* 2014. Стратегия комплексного развития сельских территорий и эффективного функционирования АПК Волгоградской области в условиях ВТО // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. № 1. С. 16-20.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н.* 1995. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. № 1. С. 21-32.
- Педь Д.А.* 1975. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 156. С. 19-38.
- Пугачёва А.М.* 2016. Восстановление экосистем на залежах на комплексных каштановых почвах сухих степей // Вестник АПК Ставрополя. № 1 (21). С. 234-240.
- Пугачёва А.М.* 2018. Агролесомелиоративные системы — основа развития земледелия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. № 1 (49). С. 227-237.
- Пугачёва А.М.* 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутиации // Аридные

- экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22. [*Pugacheva A.M.* 2020. Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 3. P. 181-187.]
- Руководящий документ 52.04.563-2013. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. Взамен РД 52.04.563-2002; введен 07.04.2014 [Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/1200109275> (дата обращения 10.08.2021)].
- Рябинина Н.О.* 2011. Сохранение эталонных степных экосистем и ландшафтов Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. № 1 (18). С. 231-238.
- Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И.* 2017. Погода и климат Волгоградской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 334 с.
- Сафронова И.Н.* 1975. О зональном разделении растительного покрова междуречья Волга – Урал // Ботанический журнал. № 6. С. 823-831.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В.* 2020. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 15.12.2020)].
- Патент RU № 2021622059. 2021. Влагообеспеченность сухих степей Волгоградской области / Ред. А.М. Пугачёва, А.И. Беляев, К.Ю. Трубакова, О.Д. Ромадина. 2021621952. Заяв. 22.09.2021; опуб. 01.10.2021. Бюллетень № 10.
- Патент RU № 2021622058. 2021. Засухи и засушливые явления сухих степей Волгоградской области / Ред. А.М. Пугачёва, А.И. Беляев, К.Ю. Трубакова, О.Д. Ромадина. 2021621953. Заяв. 22.09.2021; опуб. 01.10.2021 Бюллетень № 10.
- Ткаченко Н.А.* 2018. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. № 4 (52). С. 171-178.
- Easdale M.H., Fariña C., Haraa S., Pérez Leóna N.F.* 2019. Trend-cycles of Vegetation Dynamics as a Tool for Land Degradation Assessment and Monitoring // *Ecological Indicators*. Vol. 107. 105545 p.
- Huang J., Ji M., Xie Y.* 2016. Global Semi-arid Climate Change over Last 60 Years // *Clim Dyn*. Vol. 46. P. 1131-1150.
- Palmquist K.A., Schlaepfer D.R., Bradford J.B., Lauenroth W.K.* 2016. Mid Latitude Shrub Steppe Plant Communities: Climate Change Consequences for Soil Water Resources // *Ecology*. Vol. 97. No. 9. P. 2342-2354.
- Yifan Song, Yajing Lu, Tiejun Liu, Heping Li, Zhengwen Yue, Huiwen Liu, Tianming Gao.* 2020. Variation of Vegetation Fractional Coverage and its Relationship with Climate in a Desert Steppe: Optimization of Farmland Layout in a Farming–Pastoral Ecotone Using the Ecological Suitability Index // *Ecological Engineering*. Vol. 150. 105834 p.

УДК 631.671

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА, КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СОСТОЯНИЕ ПОЙМЕННЫХ И ДЕЛЬТОВЫХ ЭКОСИСТЕМ НИЖНЕГО ДОНА**

© 2022 г. Ж.В. Кузьмина\*, С.С. Шинкаренко\*\*, Д.А. Солодовников\*\*\*\*, М.Л. Марков \*\*\*\*\*

\*Институт водных проблем РАН

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

\*\*Институт космических исследований РАН

Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32; E-mail: shinkarenkos@yfacn.ru

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

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97

\*\*\*\*Волгоградский государственный университет

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 100. E-mail: solodovnikov@volsu.ru

\*\*\*\*\*Государственный гидрологический институт

Россия, 199004, г. Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23. E-mail: m.markov@hydrology.ru

Поступила в редакцию 08.03.2022. После доработки 12.05.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

В настоящее время наземные пойменные экосистемы Нижнего Дона остаются малоизученными, несмотря на то что практически все нижнее течение Дона зарегулировано водохранилищами и низконапорными гидроузлами, которые существенно изменяют экосистемы и ландшафты. Исследования выполнялись по разработанной собственной методике. Полевые исследования проводились на 5-и модельных экологических профилях с подробным изучением растительности и положения поверхностных грунтовых вод по модельным точкам. Камеральные исследования включали анализ статистических гидрологических материалов и спутниковых изображений Landsat 2, 3, 5 и Sentinel-2, а также выявления состояния экосистем и ландшафтов по двухэтапной методике оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах при изменении обводненности территорий. Было установлено, что основным фактором, влияющим на изменение биотических компонентов экосистем в Низовьях Дона, является сокращение амплитуды колебания расходов (и уровней) воды в годовом цикле в результате зарегулирования стока и климатических изменений. Сокращение частоты заливаемости пойменных и дельтовых территорий почти в 4 раза наряду со снижением расходов весеннего половодья в 3.5 раза и повышением межженных расходов (как зимних, так и летне-осенних) в 2.2-2.3 раза привело не только к подъему уровня воды в русле Дона более чем на 2.5 м, но и к подъему и стабилизации УГВ в пойме и дельте Нижнего Дона, что привело к смене сообществ верхней и средней поймы на нетипичные из видов- вселенцев. На верхней пойме естественные леса из дуба и вяза почти полностью заместились на леса из ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*) и клена американского (*Acer negundo*). Типичные ивняки (*Salix alba*) средней поймы замещаются на кустарниковые аморфовые (*Amorpha fruticosa*) в прирусловой пойме и лоховые (*Elaeagnus angustifolia*) – в центральных частях поймы. Разнотравные луга средней поймы замещаются на почти монодоминантные вейниковые (*Calamagrostis epigeios*) с участием колючего сорнотравья из видов бодяка (*Cirsium*) и дурнишника (*Xanthium*). Вновь образованные нетипичные пойменные сообщества лучше выдерживают круглогодично стабильно повышенный УГВ. Оценка нарушения обводненности экосистем и ландшафтов по пятибалльной шкале собственной методики показала, что наименее нарушенными (2 балла из 5-и возможных) являются территории, наиболее удаленные от гидротехнических сооружений – в современной и старой дельте Дона. Остальные профили (3-5), находящиеся в зоне влияния гидротехнических сооружений, имеют средний уровень нарушенности (3 балла), который пока не требует изменения гидрологического режима реки, а только лишь локальные гидро- и лесотехнические мероприятия по осушению территорий.



*Ключевые слова:* Нижний Дон, изменение расходов воды, меженный период, половодье, подтопление, пойма, уровень грунтовых вод, пойменные экосистемы и ландшафты, оценка нарушенности экосистем.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-22-36**

**EDN: QDMSBH**

Климатические изменения последних десятилетий приводят к гидрологическим изменениям в бассейнах рек. Ситуация усугубляется зарегулированием стока каскадами плотин гидроэлектростанций и водохранилищ. При этом при разработке режимов попусков в первую очередь учитываются интересы энергетического комплекса, водного транспорта, сельского хозяйства и водоснабжения, а не экологические требования. В результате гидрологических изменений снижается длительность и высота половодий, ухудшается обводнение пойменных земель, сокращается амплитуда колебания грунтовых вод, что ведет к деградации экосистем (Кузьмина, 2017; Кузьмина, Трешкин, 2017а).

Так на Нижней Волге за последние 30 лет было потеряно до 30% площади западных подступных ильменей из-за уменьшения длительности и уровней половодья, а также понижения уровня Каспия, наблюдающегося в последнее десятилетие (Шинкаренко и др., 2021а). Рост аридизации климата в летний период и сокращение расходов половодья привели к обсыханию верхней и средней поймы, соленакоплению в верхних почвенных горизонтах в Волго-Ахтубинской пойме (Кузьмина и др., 2015; Kuzmina et al., 2018). В низовьях Сырдарьи гидрологические и климатические изменения приводят к ранее не характерному здесь гидроморфному солончакообразованию на низких и средних уровнях поймы и постепенному понижению уровня грунтовых вод (Kuzmina et al., 2019) на верхней пойме и надпойменных террасах. В поймах притоков Дона в его среднем течении отмечена тенденция понижения УГВ на третьем высотном уровне поймы вплоть до выхода его из поёмного режима (Solodovnikov, Shinkarenko, 2020). Засухи могут приводить к катастрофической ситуации с наполнением водохранилищ, как это было в 2020 г., когда уровень в Цимлянском водохранилище был всего на метр выше уровня полной сработки (УМО), отметка уровня Краснодарского водохранилища достигла УМО, а в Крыму водохранилища естественного стока были наполнены не более чем на 40% проектной емкости (Шинкаренко и др., 2021б).

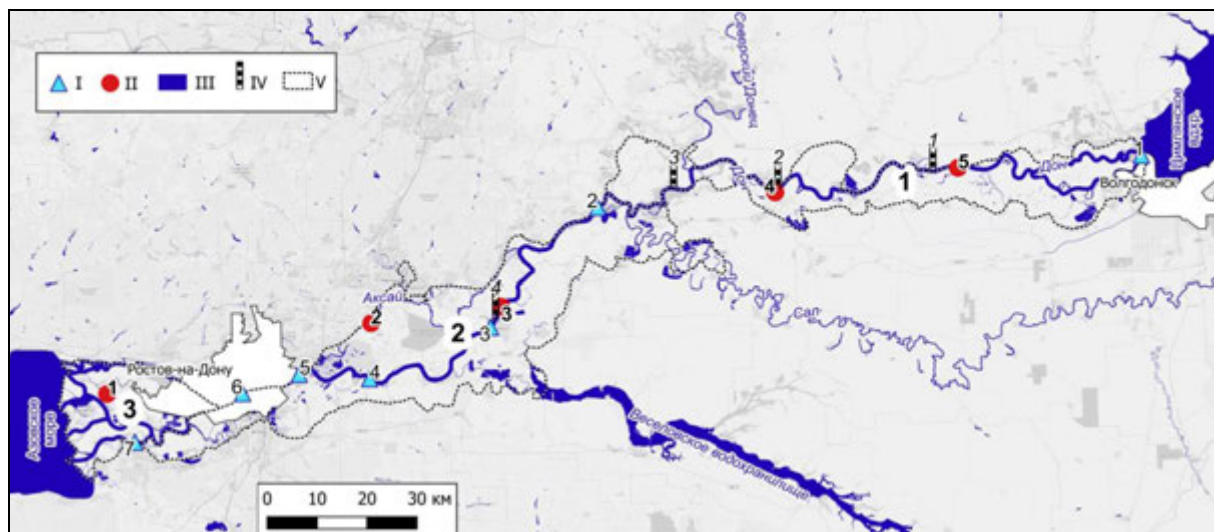
Несмотря на хорошую изученность гидрологических и климатических процессов в бассейне Дона (Киреева, Фролова, 2013; Barabanov et al., 2018; Bolgov et al., 2020; Dzhamalov et al., 2010, 2013; Georgiadi et al., 2020; Научно-прикладной ..., 2020) анализу состояния пойменных ландшафтов посвящено мало исследований. Работы, затрагивающие состояние пойменных ландшафтов Нижнего Дона, практически отсутствуют, несмотря на огромную ценность этой территории для воспроизводства проходных и полупроходных рыб Азово-Донского бассейна (Белоусов, 2016; Дубинина, 2019; Жукова, 2020). Строительство Багаевского гидроузла приведет к доолнительным гидрологическим изменениям в пойме Нижнего Дона (Дубинина, Жукова, 2016; Живоглядова и др., 2020), поэтому оценка современного состояния ландшафтов в зоне влияния низконапорных гидротехнических сооружений Нижнего Дона является актуальной задачей. Кроме Цимлянского гидроузла здесь расположены Кочетовский, Константиновский и Николаевский низконапорные гидроузлы, созданные для обеспечения судоходных уровней.

Существующие исследования по экологии Нижнего Дона посвящены либо исключительно гидробиологии и аквальному комплексам (Живоглядова и др., 2020; Matishov et al., 2016), либо вопросам загрязнения водных объектов (Решетняк и др., 2019) и почв (Алексеев и др., 2018). Целью данного исследования является оценка современного состояния растительного покрова поймы Нижнего Дона и анализ влияния на него гидрологических изменений.

### **Объекты и методы исследований**

Полевые исследования выполнялись на пяти модельных участках в первой декаде октября 2019 г. (рис. 1). Сроки работ были вызваны необходимостью исследований в летне-осеннюю межень, т.е. в период с наиболее глубоким залеганием уровня грунтовых вод (УГВ). Ранее (до зарегулирования стока реки) межень в низовьях Дона наступала, в основном, в октябре. Период полевых работ 2019 г. пришелся на окончание летне-осенней межени. Всего заложено пять ландшафтно-экологических профилей длиной от 200 до 2000 м в разных частях поймы: в зоне влияния Константиновского и

Николаевского гидроузлов, строящегося Багаевского г/у, в пойме р. Аксай и в дельте р. Дон. Работы заключались в инструментальном профилировании с помощью нивелира, установлении УГВ путем бурения ручным почвенным пробоотборником и с помощью георадара ОКО-2 по разработанной авторами методике (Солодовников и др., 2017). На профилях выполнялись геоботанические описания, обилие видов растений определялось по шкале Друде. Предварительное обследование территории выполнялось на основе анализа спутниковых изображений Landsat 2, 3, 5 и Sentinel-2, по которым определялись площади заливания в половодья 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Такой подход уже использовался авторами в Волго-Ахтубинской пойме (Рулев и др., 2017; Kuzmina et al., 2018) и дельте Сырдарьи (Шинкаренко, Солодовников, 2018; Kuzmina et al., 2019).



**Рис. 1.** Расположение модельных экологических профилей в Низовьях Дона. *Условные обозначения.* I – гидропосты: 1) Цимлянская ГЭС, 2) Раздорская, 3) Багаевская, 4) Старочеркасская, 5) Аксай, 6) Ростов-на-Дону, 7) Азов; II – модельные профили: 1) современная дельта Дона, 2) старая дельта р. Дон – р. Аксай, 3) р. Дон – Багаевский, 4) р. Дон – Константиновский, 5) р. Дон – Николаевский; III – водные объекты; IV – низконапорные гидроузлы: 1 – Николаевский, 2 – Константиновский, 3 – Кочетовский; 4 – Багаевский (строящийся), V – границы геоморфологических районов.

Анализ полевых и статистических фондовых материалов для оценки состояния экосистем проводился по уже опробованной двухэтапной методике «Оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах при изменении обводненности территорий» (Кузьмина, 2017, Кузьмина, Тешкин, 2017а; Кузьмина и др., 2015), которая не раз была опробована нами на практике и очень подробно представлена в нашей ранней работе (Kuzmina et al., 2018), поэтому здесь она не рассматривается.

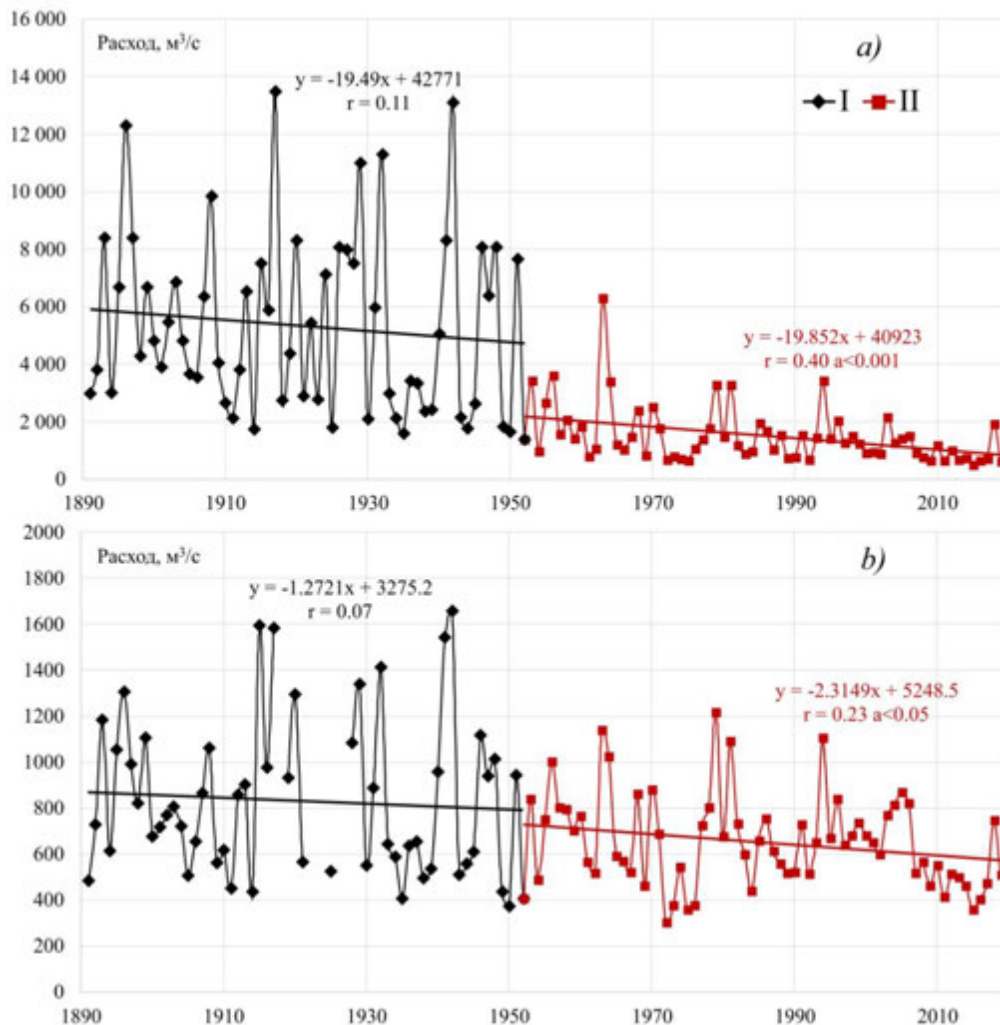
Пойму Нижнего Дона разделяют на три геоморфологических района (рис. 1): речной (повышенной) поймы, старой дельтовой части и современную дельту (Иванов и др., 2013). К геоморфологическому району повышенной поймы, т.н. речной поймы, относятся территории с отметками 4-5 м н.у.м. БС простирающиеся от Цимлянского водохранилища до устья р. Сал. К старому дельтовому геоморфологическому району относится территория от устья р. Сал до отделения рукава Мертвый Донец. Эта территория имеет высоту 1.5-4 м н.у.м. БС. Молодой дельтовый геоморфологический район простирается ниже по течению до уровня моря и имеет высотные отметки 0.2-1.0 м н.у.м. БС, считаясь современной дельтой Дона (Иванов и др., 2013).

### Результаты и их обсуждение

После строительства Цимлянского водохранилища в 1952 г. резко сократились максимальные расходы в бассейне Нижнего Дона (рис. 2). Оба периода до и после зарегулирования стока Цимлянским г/у характеризуются отрицательными трендами максимальных расходов с угловыми коэффициентами – 19.5 и -19.9 м<sup>3</sup>/с в год, при этом значимым является только тренд после 1952 г. ( $r = 0.4$  при  $a < 0.001$ ).

Половодье, сопровождающееся выходом воды на пойму, отмечается при расходах, превышающих  $1800 \text{ м}^3/\text{с}$  в створе ст. Раздорская (Дубинина, 2019; Жукова, 2020). В период условно-естественного стока повторяемость лет с расходами более этой величины составляла 91.5% (среднеголетний максимальный расход  $5342 \text{ м}^3/\text{с}$ ). После 1952 г. число таких лет снизилось до 23.5% (среднеголетний максимальный расход стал  $1508 \text{ м}^3/\text{с}$ ). При этом только четыре года из 66 лет после зарегулирования стока р. Дон обводнение пойменных земель соответствовало экологическим требованиям воспроизводства полупроходных и проходных рыб: в 1963, 1979, 1981 и 1994 гг. В XXI веке расходы в  $1800 \text{ м}^3/\text{с}$  были превышены всего дважды – в 2003 и 2018 гг.

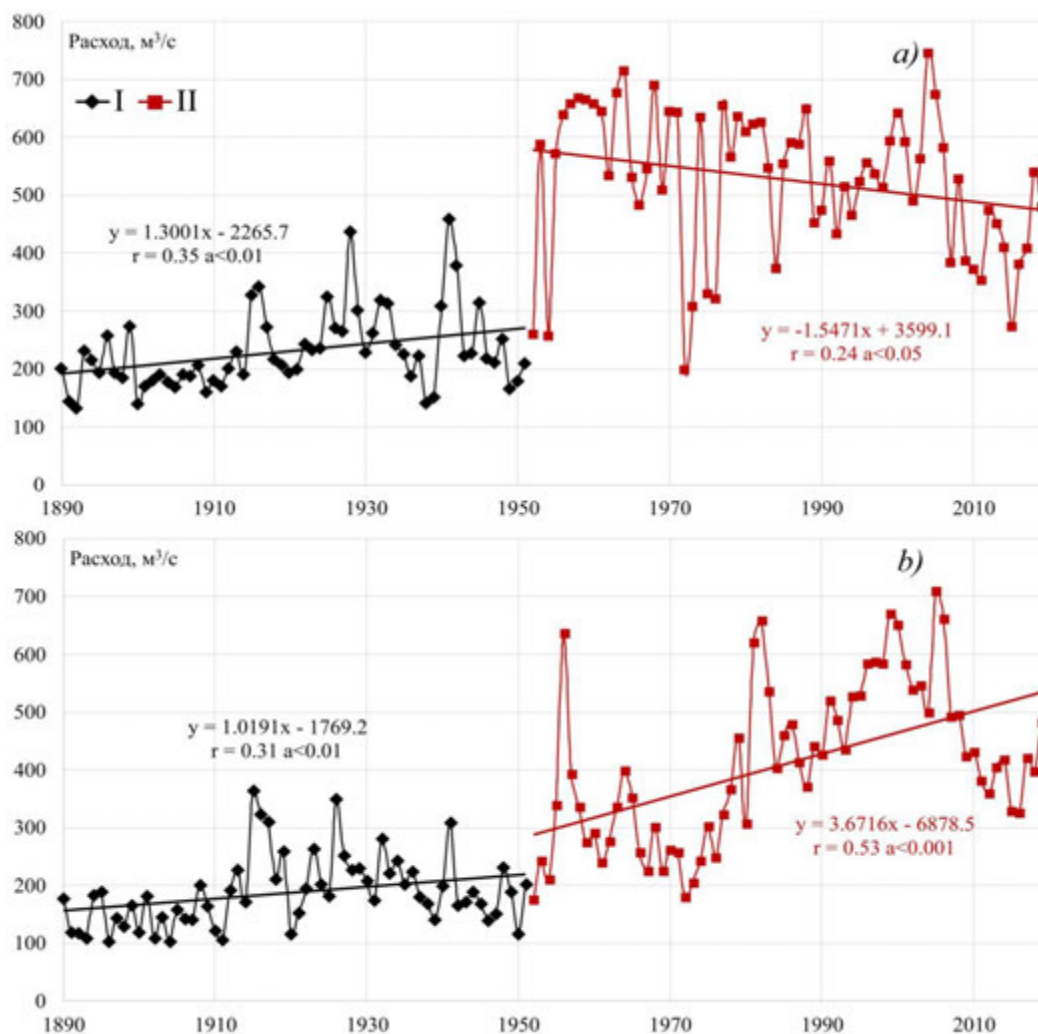
Одновременно с сокращением максимальных расходов половодья после 1952 г. резко выросли расходы как летне-осенней, так и зимней межени (рис. 3). Для экосистем это выразилось в значительном повышении УГВ в эти меженные периоды и в подтоплении низкого и среднего уровня поймы, особенно в понижениях, где образовались мелкие практически не пересыхающие водоемы.



**Рис. 2.** Динамика максимальных среднемесячных (а) и среднегодовых (б) расходов в створе ст. Раздорской (I, II – периоды до и после ввода Цимлянского г/у).

До постройки Цимлянского г/у среднеголетние минимальные среднемесячные расходы составляли 230 и  $190 \text{ м}^3/\text{с}$  в период летне-осенней и зимней межени соответственно. После 1952 г. они увеличились более чем в двое и стали равны 527 и  $411 \text{ м}^3/\text{с}$  соответственно. При этом в период 1890-1952 г. также отмечался значимый рост расходов летне-осенней межени с угловым коэффициентом линейного тренда  $1.3 \text{ м}^3/\text{с}$  в год ( $r = 0.35$  при  $a < 0.01$ ). В период после 1952 г. наблюдается значимый отрицательный тренд минимальных расходов летне-осенней межени –  $-1.5 \text{ м}^3/\text{с}$  в год ( $r = 0.24$  при  $a < 0.05$ ) и рост расходов зимней межени на  $3.7 \text{ м}^3/\text{с}$  в год ( $r = 0.53$  при  $a < 0.001$ ). Однако необходимо заметить, что отрицательный тренд минимальных расходов летне-

осенней межени после строительства гидроузла в 1952 г. наблюдается на фоне увеличенных более чем в два раза меженных расходов после зарегулирования стока, что абсолютно не влияет на ослабление, возникшего в результате этого стабильного постоянного подтопления пойменных территорий. Минимальные расходы по данным (Дандара, Немыкина, 2018) наблюдались в 1944 г. ( $44.1 \text{ м}^3/\text{с}$ ), в период наполнения Цимлянского водохранилища в 1952 г. ( $89.2 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и в 1962 г. ( $101 \text{ м}^3/\text{с}$ ).



**Рис. 3.** Динамика минимальных среднемесячных расходов летне-осенней (а) и зимней (б) межени в створе ст. Раздорской (I, II – периоды до и после ввода Цимлянского г/у)

В дальнейшем минимальные расходы увеличивались вплоть до периода маловодья, начавшегося в 2007 г. Анализ максимальных годовых уровней по данным Государственного водного реестра за 2010-2019 гг. показал, что только около 40% наблюдений максимальных уровней приходятся на весенние месяцы, примерно по 30% наблюдений относятся к осенним месяцам и еще столько же на зимние и летние месяцы вместе взятые. Также после зарегулирования стока проявилось явление несовпадения периодов максимальных суточных и среднемесячных расходов. Максимальные среднемесячные расходы в 80% случаев после 1952 г. приходятся на май (до 1952 г. – в 98.6% случаев), в то же время максимальные суточные расходы в этом месяце составляют только 19.4% против 67.65% до постройки плотины Цимлянской ГЭС. До зарегулирования максимальные суточные расходы отмечались исключительно в период с марта по май, в то время как после почти 30% наблюдений максимальных суточных расходов приходится на июнь-февраль. Это может свидетельствовать о кратковременных повышенных сбросах через Цимлянский г/у в период межени

для поддержания судоходных уровней.

В период до зарегулирования в 93% случаев летне-осенняя межень наблюдалась в сентябре (38%) или октябре (55%), после зарегулирования на эти месяцы минимальные расходы летней межени приходятся лишь в 31% случаев, еще 46% – на август. В 2018-2019 гг. летняя межень отмечалась в сентябре. До 1952 г. зимняя межень в 69% случаев отмечалась либо в декабре (38%), либо в январе (31%). На февраль и ноябрь приходилось 12.7% и 17% наблюдений. После зарегулирования стока существенно увеличилось количество лет с зимней меженью в феврале (34.3% случаев), доля январских месяцев не изменилась (30%).

Подобные тенденции обусловлены не только регулированием попусков из Цимлянского водохранилища в интересах судоходства, гидроэнергетики и сельского хозяйства, но и климатическими изменениями, происходящими в бассейне. Из-за частых зимних оттепелей, недостаточного промерзания почвы увеличивается сток в зимний период и фильтрация талых вод весной, приводящая к росту подземной составляющей стока (Barabanov et al., 2018; Bolgov et al., 2020; Dzhamalov et al., 2010; 2013; Georgiadi et al., 2020; Научно-прикладной ..., 2020). Снижение частоты и высоты половодий характерно не только для Дона, но и для его основных притоков: Хопра и Медведицы (Solodovnikov, Shinkarenko, 2020), также как и для большинства рек Европейской России (Kouzmina, 2004; Водные ресурсы ..., 2008) на которых присутствуют или отсутствуют крупные гидротехнические сооружения, способные регулировать сток. Такое положение связано с одной стороны с повсеместным зарегулированием стока водохранилищами, а с другой – с климатическими изменениями, которые приводят к перераспределению выпадения атмосферных осадков в годовом цикле в сторону увеличения их выпадения в зимний период и большей долей потепления приходящегося также на зиму (Кузьмина, Трешкин, 2017б).

Таким образом, рассмотрев многолетнюю динамику гидрологической ситуации в бассейне Нижнего Дона было установлено, что в настоящее время основными факторами, влияющими на пойменные наземные экосистемы будет с одной стороны – недостаток естественного ежегодного весеннего заливания пойменных территорий, сократившегося очень сильно и значительно затрагивающего верхние и средние уровни поймы, а с другой стороны – подтопление и подъем УГВ во всей пойме за счёт повышения меженных летних и зимних расходов и уровней, что в большей степени отражается на нижних уровнях поймы и в понижения на средней пойме.

Рассмотрим состояние наземных экосистем в заложенных пяти экологических профилях.

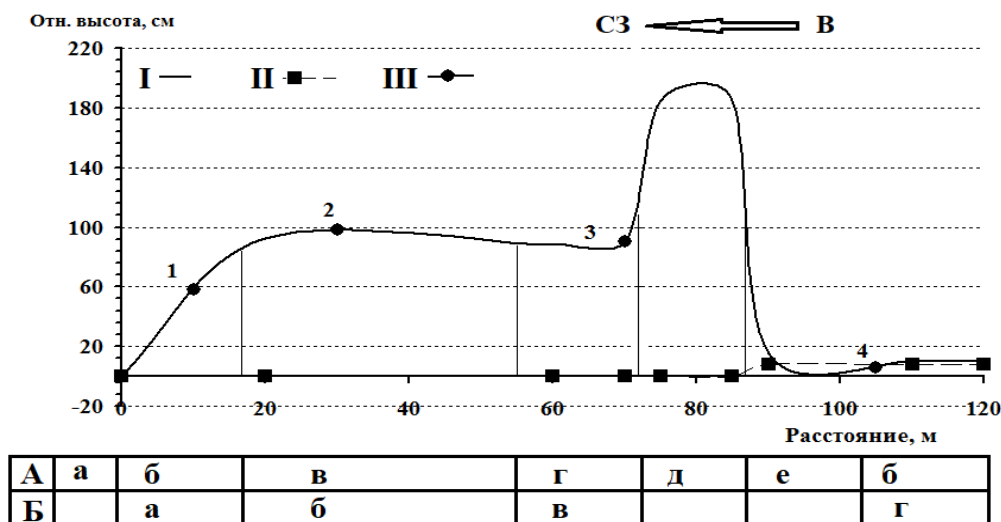
*Первый экологический профиль* (начало 47° 11' 56" с.ш., 39° 20' 11" в.д. – конец 47° 11' 56" с.ш., 39° 20' 15" в.д.; рис. 4) расположен в самом низменном геоморфологическом районе – в современной пониженной части дельты Дона, расстояние до морского края дельты по прямой составляет от него около 8 км. Это самый молодой, позднеголоценовый участок дельты Дона. Основная масса территории имеет отметки поверхности, примерно соответствующие уровню воды в дельтовых протоках или на 10-20 см ниже, что приводит к постоянному подтоплению и сплошному зарастанию монодоминантными сообществами тростника южного (*Phragmites australis*<sup>1</sup>; рис. 4). Над уровнем воды возвышаются лишь прирусловые валы с относительными отметками около 1 м над урезом воды и дамбы, по которым проходят дороги, с отметками 1.8-2 м над урезом воды. Установленный УГВ имеет неявновыраженный уклон в сторону основного русла Дона (рис. 4). Сильно на уровень воды в протоках влияют сгонно-нагонные явления. При западных ветрах наблюдается подъем уровня воды в пределах нескольких десятков сантиметров, обратный ток воды в руслах и затопление тростниковых крепей. Периодически наблюдаются катастрофические нагоны, приводящие к затоплению значительной части дельты. В частности, в марте 2013 г. в результате штормового нагона воды было подтоплено 2.4 тыс. домовладений в двадцати населенных пунктах (Матишов, Бердииков, 2015).

*Второй экологический профиль* (начало 47° 20' 01" с.ш., 40° 02' 32" в.д. – конец 47° 20' 16" с.ш., 40° 02' 39" в.д.; рис. 5) расположен в старом дельтовом геоморфологическом районе, в зоне низкой и средней поймы междуречья Дона и его рукава Аксая с отметками поверхности +0.8-1.3 м над меженным урезом воды. Аксай являлся основным руслом Дона во время максимума джеметинской трансгрессии (Иванов и др., 2013). Рельеф района монотонный, без выраженных прирусловых валов и крутых берегов. Участок частично заливался в половодья 2003 и 2018 гг., летом используется как сенокос. Древесно-кустарниковая растительность встречается только вдоль русел Аксая и ериков,

<sup>1</sup> Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).



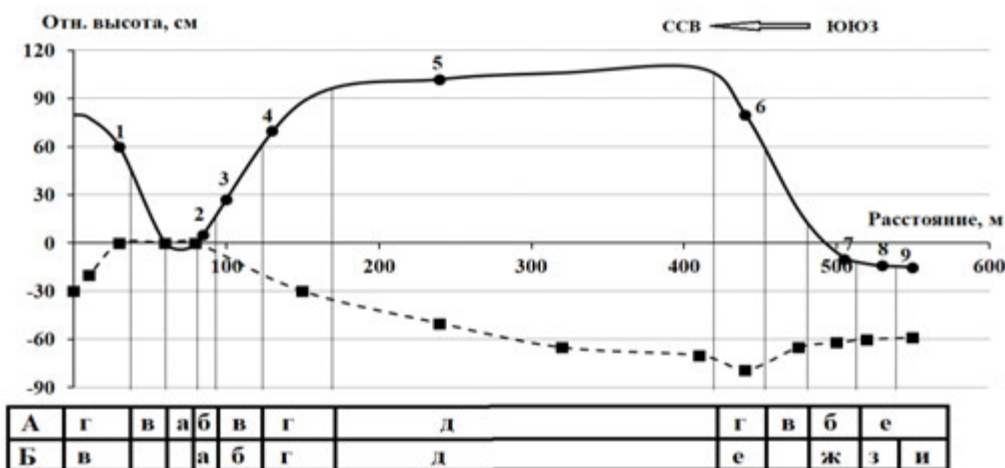
представлена разреженными насаждениями ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*), иногда ив (*Salix alba*) и черного тополя (*Populus nigra*). Зеркало грунтовых вод имеет слабый обратный уклон от русел вглубь поймы. На основной части территории УГВ расположен на 40-60 см ниже уреза поверхностных вод. Аксай имеет постоянную гидравлическую связь с грунтовыми водами, круглый год питая горизонты подрусловых грунтовых вод и грунтовых вод прибрежной полосы. Такое положение зеркала УГВ характерно также для Волго-Ахтубинской поймы и рек южнее Волгограда (Solodovnikov, Shinkarenko, 2020).



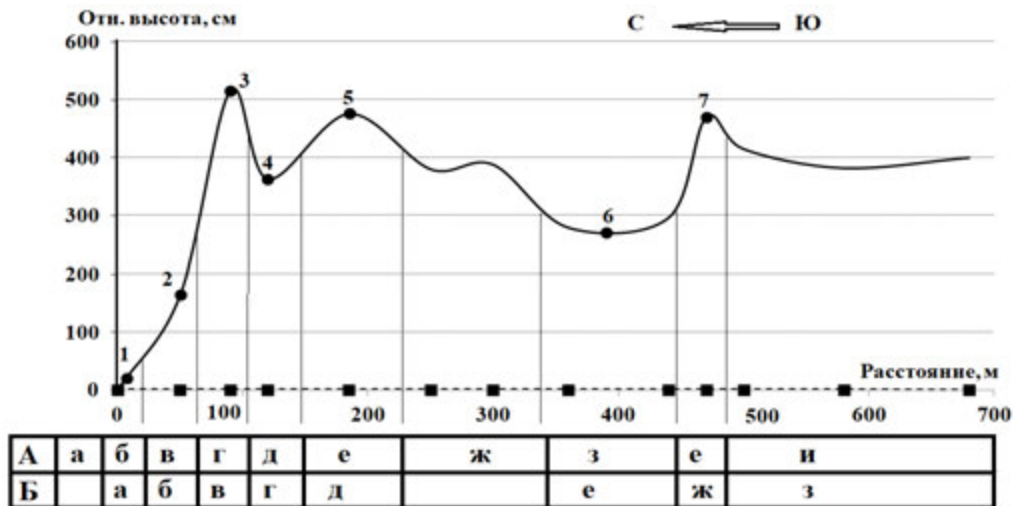
**Рис. 4.** Первый ландшафтно-экологический профиль дельты р. Дон. Условные обозначения для рисунков 4-8: I – отnivelированная дневная поверхность, II – измеренный уровень грунтовых вод, III – положение модельных геоботанических площадок на профиле. Обозначения в таблице для рисунка 4. А – рельеф: а – естественное русло р. Дон – дельтовая протока, б – современный низкий уровень поймы, в – средний уровень поймы (подтопленный), г – понижение перед искусственной дамбой, д – дамба – аналог естественного прируслового вала, е – залитое понижение на нижнем уровне поймы – старичное озеро; Б – растительность: а – аморфовая осоково-тростниковая (Ass. *Amorpha fruticosa*+*Phragmites australis*-*Carex acutiformis*), б – разнотравно-пырейная ивовая с единичным участком лоха (Ass. *Salix alba*-(*Elaeagnus angustifolia*)-*Elytrigia repens*+*Mixtheherbosa*); в – разнотравно-осоковая с погибающей ивой (Ass. (*Salix alba*)-*Carex acutiformis*+*Mixtheherbosa*), г – осоково-тростниковая (Ass. *Phragmites australis*-*Carex acutiformis*).

Прибрежная полоса р. Аксай и его ериков состоит из зарослей тростника с отдельными деревьями ивы белой, тополя черного и ясеня пенсильванского высотой 5-7 м. На отметках 60-90 см растительный покров состоит из сообщества с высоким обилием *Cirsium arvense*, что говорит о достаточно близком к поверхности и стабильном УГВ. Далее по профилю наблюдаются сообщества с преобладанием полыни (*Artemisia abrotanum*) и мятлика (*Poa angustifolia*) с небольшой долей разнотравья и отдельными экземплярами солодки (*Glycyrrhiza echinata*) высотой 80-90 см. Интерес представляет участок профиля, залитый в 2018 г., где растительность не скашивалась. Здесь доминирует *G. echinata* высотой около 2 м (рис. 5, Б-в).

Третий экологический профиль (начало 47° 22' 07" с.ш., 40° 23' 52" в.д. – конец 47° 21' 51" с.ш., 40° 23' 54" в.д.; рис. 6) также расположен в старом дельтовом геоморфологическом районе и находится в западной части Сусатско-Подпольненского займища в окрестностях ст. Багаевской. Профиль пересекает массив левобережной поймы Дона в зоне влияния строящегося Багаевского гидроузла. Рельеф участка по линии профиля контрастный, вершины прирусловых валов имеют отметки +5.5-5.7 м над меженным урезом воды в р. Дон. Прибрежная полоса шириной 500-600 м занята пойменным лесом имеет преобладающие высоты 2.7-4.2 м над урезом воды в реке. Основная часть поймы представляет собой пахотные угодья с отметками 3.7-4 м над меженным урезом. УГВ практически не имеет уклона и расположен на глубине 2.7-5.2 м от поверхности поймы. Полученные полевые данные хорошо согласуются с материалами других авторов (Зубков и др., 2019).



**Рис. 5.** Второй комбинированный ландшафтно-экологический профиль в старой дельте р. Дон близ ерика Аксай. Условные обозначения в таблице. А – рельеф: а – естественное русло ерика Аксай, б – низкий уровень поймы, в – нижняя часть склона среднего уровня поймы, г – верхняя часть склона среднего уровня поймы, д – выположенная поверхность среднего уровня поймы, е – периодически заливаемое понижение нижнего уровня поймы; Б – растительность: а – ясенево-тростниковая (Ass. *Fraxinus pennsylvanica*-*Phragmites australis*), б – вейниково-мятликовая (Ass. *Calamagrostis epigeios*-*Poa angustifolia*), в – мятликово-солодковая (Ass. *Glyzyrrhiza echinata*-*P. angustifolia*), г – бодяково-мятликовая (Ass. *P. angustifolia*-*Cirsium arvense*), д – солодково-полынно-мятликовая (Ass. *P. angustifolia*-*Artemisia abrotanum*+*G. echinata*), е – разнотравно-полынно-мятликовая (Ass. *P. angustifolia*-*A. abrotanum*+*Mixtheherbosa*), ж – молочайно-повоево-камышевая (Ass. *Schoenoplectus lacustris*+*Calystegia sepium*-*Euphorbia* sp.), з – камышево-рогозовая (Ass. *Thypha angustifolia*-*Schoenoplectus lacustris*), и – тростниковая (Ass. *Phragmites australis*).



**Рис. 6.** Третий ландшафтно-экологический профиль Багаевский. Условные обозначения в таблице. А – рельеф: а – естественное русло р. Дон, б – низкий уровень поймы, в – нижняя часть склона прируслового вала (соответствует среднему уровню поймы), г – прирусловой вал, д – понижение за прирусловым валом (соответствует нижней части верхнего уровня поймы), е – верхний уровень поймы, ж – средний уровень поймы, з – понижение на среднем уровне поймы, и – искусственно выровненная поверхность верхнего уровня поймы – с/х поле; Б – растительность: а – разнотравно-аморфово-тростниковая (Ass. *Phragmites australis*+*Amorpha fruticosa*-*Mixtheherbosa*), б – ясенево-ивовая кострово-вейниково-маревая (Ass. *Salix alba*+*Fraxinus pennsylvanica*-*Chenopodium alba*+*Calamagrostis epigeus*+*Bromus inermis*), в – шелковицево-крушиново-ясеневая (Ass. *Fraxinus pennsylvanica*-*Frangula alnus*+*Morus nigra*), г – разнотравно-кленово-вязово-ясеневая (Ass. *Fraxinus pennsylvanica*+*Ulmus laevis*+*Acer negundo*-*Mixtheherbosa*), д – разнотравно-кленово-вязово-тополево-

дубовая (Ass. *Quercus robur*+*Populus alba*-*Ulmus laevis*+*Acer negundo*-*Mixtheherbosa*), е – ежевиково-тростниково-кленовая (Ass. *Acer tataricum*-*Phragmites australis*-*Rubus caesius*), ж – разнотравно-кленово-крушиново-вязово-тополево-дубовый (Ass. *Quercus robur*+*Populus nigra*-*Ulmus laevis*+*Frangula alnus*+*Acer negundo*-*Mixtheherbosa*), з – вспаханное с/х поле лишенное растительности.

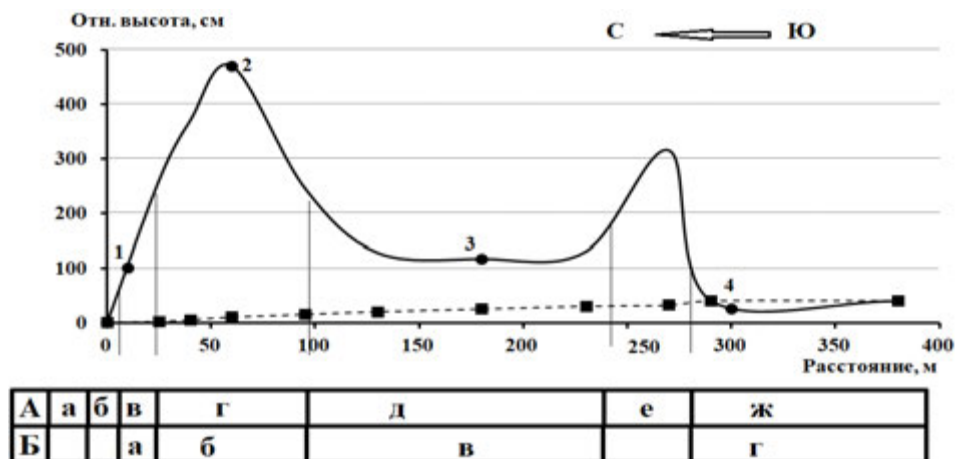
Прибрежная часть поймы занята сообществами тростника южного с зарослями кустарника *Amorpha fruticosa*. На склоне прируслового вала расположены разнотравные ясенево-ивовые леса (рис. 6). Непосредственно на прирусловом валу встречаются молодые деревья шелковицы (*Morus nigra*) диаметром до 10 см с подростом ясеня и крушина. Травяной покров разреженный. Большая часть профиля занята лесом из ясеня и вяза высотой 10-12 метров и средним диаметром 40 см с участием клена ясенелистного, отдельными деревьями дуба черешчатого, тополей черного и белого высотой 8-9 м и диаметром 20 см без явно выраженного второго яруса, либо с ясеневым подростом и с разреженным травостоем типичным для пойменных лесов (гравилат – *Geum urbanum*, будра плющевидная – *Glechoma hederacea*, чистец – *Stachys sylvatica*, чистотел – *Chelidonium majus*).

Четвертый экологический профиль (начало 47° 35' 10" с.ш., 41° 37' 13" в.д. – конец 47° 35' 42" с.ш., 41° 37' 10" в.д.; рис. 7) расположен в самом повышенном из трех геоморфологических районов Нижнего Дона – в речной пойме и находится в Задоно-Кагальницком займище на левом берегу реки Дон напротив г. Константиновск. Участок располагается в нижнем бьефе Константиновского гидроузла (примерно в 0.5 км ниже), а также в зоне влияния подпора Кочетовского гидроузла (построен в 1919 г., усовершенствован в 1960, расширен и модернизирован в 2008 г., расчетный подпорный уровень – 3.4 м), примерно в 30 км выше по течению от последнего. Ввиду значительной удаленности от Кочетовского гидроузла его влияние выражено не так ярко, как на пятом экологическом профиле. На положение зеркала грунтовых вод оказывает влияние именно Константиновский гидроузел (введен в 1982 г., расчетный подпорный уровень – 3.1 м), который обеспечивает повышение УГВ на участке наблюдений на 0.4-0.45 м выше, чем урез воды в нижнем бьефе гидроузла. Это вызывает постоянное подтопление низин, которые в естественных условиях должны в межень быть сухими. Несмотря на это, уклон грунтовых вод на этом профиле имеет правильный прямой характер – от бортов долины к речному руслу, который характерен для меженного периода, правда при этом уклон УГВ остается слабым и практически незаметным (рис. 7), что является следствием полного зарегулирования участка, находящегося между двумя плотинами.

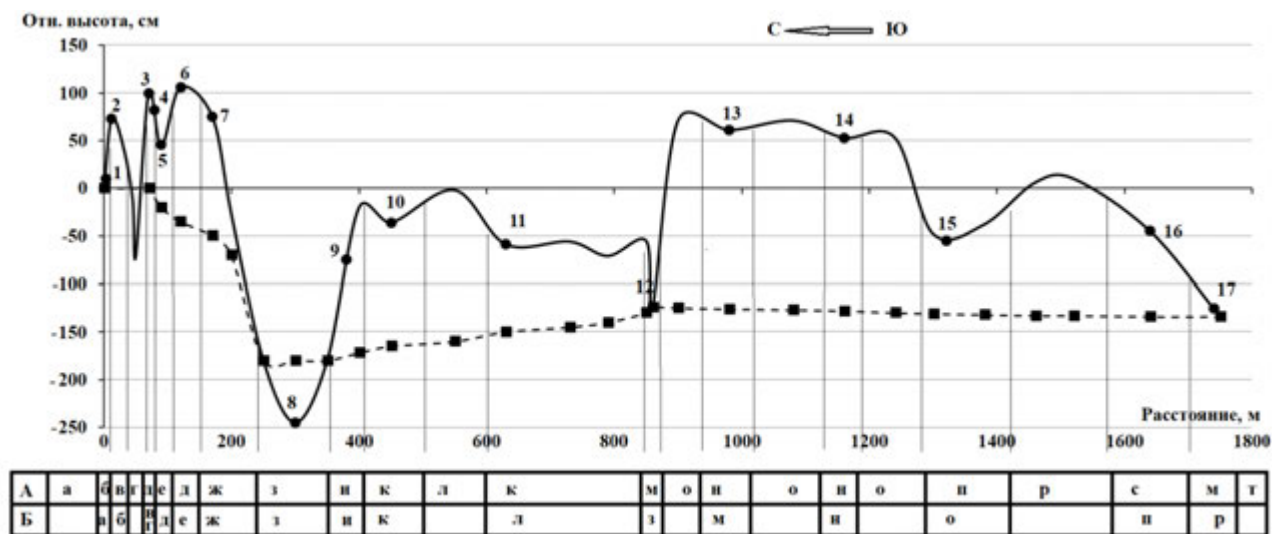
Прибрежная часть четвертого профиля занята в основном сообществами мятлика (*Poa angustifolia*) с отдельными деревьями ивы белой, а также аморфа (*Amorpha fruticosa*), которая распространена вдоль уреза воды полосой шириной около 5 м. Далее по линии профиля на самых высоких отметках расположены искусственные насаждения робинии псевдоакация (15 рядов, средняя высота деревьев 15 м с диаметром стволов 15 см). В понижении на бывшем среднем уровне поймы (которое ныне перешло по УГВ в разряд нижней поймы) распространены бодяково-вейниковые растительные сообщества (рис. 7, Б-в), что свидетельствует о постоянном стабильном подтоплении (глубина грунтовых вод не превышает метра) и периодическом просачивании и стоянии воды на поверхности поймы. Кроме подпора реки высокий УГВ поддерживается также близостью оросительного канала.

Пятый экологический профиль (начало 47° 33' 02" с.ш., 41° 07' 31" в.д. – конец 47° 33' 11" с.ш., 41° 07' 30" в.д.; рис. 8) также расположен в самом высоком геоморфологическом районе – речной повышенной поймы и находится в верхнем бьефе гидроузла Николаевский в Дубенцовском займище, на левом берегу Дона в 8 км выше от ст. Николаевская, в 7 км к северу от ст. Большеовская. Профиль расположен примерно в 5 км выше по течению от введенного в эксплуатацию в 1975 г. гидроузла с расчетным подпорным уровнем 4.2 м. Рельеф участка по линии профиля довольно расчлененный, амплитуда высотных отметок превышает 3.5 метра. Наличие подпора воды в русле Дона хорошо видно на профиле. Урезы воды внутренних водоемов поймы на 1.3-1.7 м ниже уровня воды в реке. Обычно в подобных условиях картина обратная – поверхность воды пойменных озер, заполняемых в половодье, выше уровня воды в реке. К меженному уровню озер привязан и уровень грунтовых вод. Базисом зеркала грунтовых вод служит меженный уровень внутренних водоемов поймы. Грунтовые воды в межень залегают на средней глубине 2.0-2.2 м от основной поверхности бывшей верхней поймы.





**Рис. 7.** Четвертый ландшафтно-экологический профиль Константиновский. Условные обозначения в таблице. А – рельеф: а – нерестовый канал Дона, б – низкий уровень поймы, в – нижняя часть склона среднего уровня поймы (подтопленный), г – верхний уровень поймы, д – понижение на среднем уровне поймы (подтопленное), е – искусственный прирусловой вал оросительного канала (уровень средней поймы), ж – уровень низкой поймы и днище оросительного канала; Б – растительность: а – мятликово-аморфовая ясенево-ивовая (Ass. *Salix alba*+*Fraxinus pennsylvanica*-*Amorpha fruticosa*+*Poa angustifolia*), б – разнотравно-акациевая с подростом шелковицы и дуба (Ass. *Robinia pseudoacacia*-*Morus nigra*+*Quercus robur*+*Mixtheherbosa*), в – разнотравно-бодяково-вейниковая (Ass. *Calamagrostis epigeios*+*Cirsium canum*-*Mixtheherbosa*), г – крупнотравная тростниковая (Ass. *Phragmites australis*).



**Рис. 8.** Пятый ландшафтно-экологический профиль Николаевский. Условные обозначения в таблице. А – рельеф: а – основное русло р. Дон (с поднятым уровнем на более чем 2.5 м от естественного), б – современный низкий уровень поймы (бывший уровень средней поймы) на склоне естественного прируслового вала, в – вершина прируслового вала (бывший уровень верхней поймы, а после зарегулирования – уровень нижней поймы), г – понижение на прирусловом валу (бывший уровень средней поймы, ныне – озеро в результате подтопления), д – вершина прируслового вала (бывший верхний уровень поймы, ныне – средняя подтопленная пойма), е – понижение на прирусловом валу (бывший уровень верхней поймы, ныне – низкая пойма), ж – склон прируслового вала (бывший верхний уровень поймы, ныне – средняя пойма), з – старичное озеро (бывший уровень нижней поймы), и – склон бывшей средней поймы (ныне подтопленный до уровня нижней поймы), к – понижение на бывшей средней пойме (ныне подтопленное до низкой поймы), л – уровень средней поймы (ныне подтопленный), м – понижение на средней пойме (ныне подтопленное и залитое водой),

н – микропонижение на уровне бывшей верхней поймы (ныне подтопленное до уровня средней поймы), о – бывшая верхняя пойма (ныне средний пойменный уровень), п – понижение на бывшем верхнем уровне поймы (ныне – низкий уровень), р – нижняя часть бывшей верхней поймы (ныне – средняя пойма), с – склон бывшей верхней поймы (ныне подтопленной средней поймы), т – русло современного ерика. Б – растительность: а – рогозово-тростниковая (Ass. *Phragmites australis*+*Thypha angustifolia*), б – ежевикový боярышничково-аморфово-шелковицевый погибающий вязовник (*Ulmus laevis*-*Morus nigra*+*Amorpha fruticosa*+*Crataegus monogina*-*Rubus caesius*), в – разнотравно-мятликовая с погибающим единичным подростом терна и вяза (Ass. (*Ulmus laevis*+*Prunus spinosa*)-*Poa angustifolia*+*Mixtheherbosa*), г – мятликово-осоковый терново-боярышниковый осокорник с единичным подростом вяза и дуба (Ass. *Populus nigra*-(*Ulmus laevis*+*Quercus robur*+*Crataegus monogina*+*Prunus spinosa*)-*Carex sp.*+*Poa angustifolia*), д – вейниковое с участием единичной погибающей груши (Ass. (*Prunus domestica*)-*Calamagrostis epigeios*), е – осоково-мятликовая (Ass. *Poa angustifolia*+*Carex sp.*), ж – осоково-лохово-шелковицевая (Ass. *Morus nigra*+*Elaeagnus angustifolia*-*Carex sp.*), з – рогозовая (Ass. *Thypha angustifolia*), и – вязовник осоково-мятликовый с участием боярышника и шиповника (Ass. *Ulmus laevis*-(*Crataegus monogina*+*Rosa canina*)-*Poa angustifolia*+*Carex sp.*), к – мятликово-костровый с участием шиповника (Ass. (*Rosa canina*)-*Bromus inermis*+*Poa angustifolia*), л – вейниковая с участием единичного лоха (Ass. (*Elaeagnus angustifolia*)-*Calamagrostis epigeios*), м – разнотравно-мятликовая с участием единичного лоха (Ass. (*Elaeagnus angustifolia*)-*Poa angustifolia*+*Ambrosia artemisifolia*+*Daucus carota*), н – мятликовая с участием единичного подростка вяза, лоха и шиповника (Ass. *Ulmus laevis*+*Elaeagnus angustifolia*+*Rosa canina*)-*Poa angustifolia*), о – болотницевая с редким участием болотного крупнотравья (Ass. *Eleocharis palustris*), п – лоховник мятликовый (Ass. *Elaeagnus angustifolia*-*Poa angustifolia*), р – тростниковая (Ass. *Phragmites australis*).

Вдоль уреза воды размещаются заросли тростника южного (*Phragmites australis*) и рогоза узколистного (*Thypha angustifolia*). Из-за подпора гидроузлом бывший естественный прирусловой вал в рельефе стал представлять собой среднюю подтопленную пойму, которая занята сейчас погибающим вязовником (*Ulmus laevis*) средней высотой 9-10 м и диаметром 20 см, скорее всего, искусственного происхождения. Встречаются одиночные деревья тополя черного (*Populus nigra*), ивы белой (*Salix alba*), ясеня пенсильванского (*Fraxinus prnsylvanica*), груши (*Pyrus communis*). Второй ярус представлен аморфой (*Amorpha fruticosa*), боярышником (*Crataegus monogyna*) и шелковицей (*Morus nigra*) высотой 2.5-3 м. Далее по профилю расположен луг с доминированием мятлика (*Poa angustifolia*), отдельными кустарниками тёрна (*Prunus spinosa*) и разнотравьем (рис. 8, Б-г). Растительность соответствует трансформированным (подтопленным) участкам бывшей высокой поймы. Большая часть площади поймы занята луговыми сообществами (*P. Angustifolia*) с участием амброзии (*Ambrosia artemisifolia*) и используется как сенокос. В отличие от лугов поймы р. Аксай, на данном профиле доминирует мятлик и практически отсутствует солодка (рис. 8, Б-к, м, н), что говорит о большей нарушенности этого профиля.

Таким образом, в результате анализа гидрологической ситуации в Низовьях Дона были выявлены несколько основных факторов, влияющих на изменение абиотических компонентов экосистем и ландшафтов, приводящих к их трансформации.

В первую очередь – это сокращение амплитуды колебания расходов (и уровней) воды годового цикла в многолетнем аспекте, что связано с изменением объемов весенне-летних половодий и меженных периодов. После зарегулирования стока в Низовьях Дона Цимлянским гидроузлом (1952 г.), среднемноголетние максимальные расходы воды снизились в 3.5 раза, а среднемноголетние минимальные расходы зимней и летне-осенней межени увеличились в 2.2-2.3 раза. Строительство дополнительных 3-х современных низконапорных сооружений в Низовьях Дона (Николаевского в 1974 г., Константиновского в 1982 г. и Кочетовского в 2008 г.) привело не только к подъему уровней воды в основном русле Дона (более чем на 2.5 м), но и к сокращению колебания УГВ в речной пойме Нижнего Дона, подъему и стабилизации грунтовых вод в годовом цикле, что абсолютно противоестественно для естественных пойменных и дельтовых экосистем, приспособленных для выживания в условиях резких и частых подъемов и спадов уровней поверхностных и грунтовых вод.

Сокращение расходов и уровней воды в бассейне Нижнего Дона в связи с зарегулированием Цимлянским водохранилищем и каскадами низконапорных гидроузлов происходило на фоне

естественного перераспределения выпадения атмосферных осадков в годовом цикле (в сторону их увеличения в зимний период и сокращения весной) и потепления (особенно в зимний период), приводящего к сокращению промерзания почвы и увеличению зимнего сброса воды в реки, что также способствовало снижению весенне-летнего поемного заливания. Таким образом, верхние – самые повышенные части поймы полностью перестали заливаться поверхностно, однако в результате искусственного подъема уровня воды в реке заимели повышенный стабильный УГВ не глубже 2.0-2.5 м круглогодично (рис. 8). Вместо положенной глубины УГВ в 3.5-5.5 м (рис. 6) в межень и периодического поверхностного заливания с подъемом УГВ к поверхности, в настоящее время экосистемы бывших (до зарегулирования) высоких уровней поймы имеют в речном (повышенном) геоморфологическом районе УГВ постоянно поднятый к поверхности на высоту в 1.5-2 раза от бывшего естественного меженного УГВ. В связи с чем, естественные лесные сообщества из дуба и вяза, распространенные ранее (до зарегулирования) повсеместно на верхних уровнях поймы Нижнего Дона практически полностью погибли и заместились на совершенно нетипичные лесные сообщества из видов-вселенцев – ясеня пенсильванского и клена американского, которые хорошо приспособлены к повышенному постоянному УГВ. На бывших средних уровнях поймы естественные леса из ивы белой замещаются сообществами также из вида-вселенца – кустарника аморфы и тем же ясенем пенсильванским по наименее засоленным участкам прилегающим к основному речному руслу (рис. 7, Б-а) или сообществами из лоха узколистного (типичного представителя тугайной растительности Среднеазиатских регионов) – по центральным – внутренним участкам бывшей средней поймы, ныне постоянно подтопленным и имеющим некоторое засоление в почвах.

Подтопленные основные участки бывших (в естественном состоянии) средних уровней поймы занятые ранее разнотравными лугами из солодки, мятликов и пырея (очень ценными и качественными в кормовом отношении сообществами) заместились на почти чистые вейниковые (*Calamagrostis epigeios* – сор2) с бодяком (*Cirsium canum* – сол-сп; рис. 7, Б-в) или вейниковые (*Calamagrostis epigeios* – сор2, *Xanthium albinum* – сол) с редким участием лоха (*Elaeagnus angustifolia* – 1 экз.; рис. 8, Б-л), т.е. сообществами ранее также не характерными для естественных лугов, при этом к тому же, сильно засоренными колючим сорнотравьем, что почти полностью снижает сельскохозяйственную ценность вновь образованных сообществ в качестве кормов.

Оценка нарушений по пятибалльной шкале разработанной ранее методики определения трансформаций в результате изменения обводненности территорий показала, что наименее нарушенными профилями оказались первый – в современной дельте р. Дон (с общим баллом нарушенности для профиля – 2.4, экосистемы с нарушениями от 1.8 до 3.2 баллов) и второй – в старой дельте р. Дон близ ерика Аксай (с общим баллом – 2.3, экосистемы с нарушениями от 1.7 до 3.2 баллов). Т.е. в настоящее время ландшафты этих двух профилей имеют незначительные нарушения от изменений обводненности (2 балла из 5-и возможных) и требуются лишь незначительные локальные мероприятия по осушению территории. Наиболее нарушенными оказались профили третий Багаевский (с общим баллом нарушенности – 3.0, экосистемы с нарушениями от 2.5 до 3.8 баллов), четвертый Константиновский (с общим баллом нарушенности – 2.9, экосистемы с нарушениями от 2.3 до 3.8 баллов) и пятый Николаевский (с общим баллом нарушенности – 3.0, экосистемы с нарушениями от 1.8 до 4.0 баллов). По разработанной ранее шкале экосистемы и ландшафты с 3-м баллом нарушенности имеют уже средние нарушения от изменения обводненности территории. Для их восстановления и улучшения состояния требуются уже довольно значительные локальные и региональные гидро- и лесотехнические мероприятия по осушению территорий. Но все же пока для улучшения состояния экосистем и ландшафтов, находящихся на средней стадии нарушений не требуется изменение гидрологического режима реки. Таким образом, ландшафты с их экосистемами, находящиеся в наибольшем удалении от гидротехнических сооружений (профили 1 и 2) в настоящее время оказались наименее нарушенными (2 балла нарушенности из 5-и возможных) при изменении обводненности территорий. А ландшафты и их экосистемы, находящиеся в непосредственной близости к гидросооружениям (профили 4 и 5), оказались наиболее нарушенными (3 балла для профиля, от 2 до 4 – для экосистем) в результате изменения обводненности. В тоже время, 3-ий профиль – Багаевский также оказался сильно нарушенным (3 балла, 2-4), несмотря на то что Багаевский гидроузел еще не полностью введен в строй и подтопление на этом профиле заметно еще не очень сильно. При этом, можно ожидать, что при вводе в строй Багаевского гидросооружения нагрузка на экосистемы увеличится и нарушенность

в ландшафтах и экосистемах возрастет.

### Выводы

Основным фактором, влияющим на изменение биотических компонентов экосистем в Низовьях Дона, является сокращение амплитуды колебания расходов (и уровней) воды в годовом цикле в результате зарегулирования стока и климатических изменений.

Зарегулирование стока Нижнего Дона сопровождалось сокращением частоты заливаемости пойменных и дельтовых территорий почти в 4 раза наряду со снижением расходов весеннего половодья в 3.5 раза и повышением меженных расходов (как зимних, так и летне-осенних) в 2.2-2.3 раза. Это привело не только к подъему уровня воды в русле Дона более чем на 2.5 м, но и к подъему и стабилизации УГВ в пойме и дельте Нижнего Дона, что нехарактерно для естественных экосистем и ландшафтов.

Антропогенное сокращение частоты и объемов весенне-летнего половодья наряду с основной естественной климатической тенденцией перераспределения увлажнения в годовом цикле (в сторону увеличения его в зимний период и уменьшения весной) и более сильного потепления зимой способствовали полному прекращению заливания верхних – самых высоких уровней поймы.

В то же время зарегулирование стока и естественные климатические изменения привели к подъему и стабилизации УГВ на всех уровнях поймы и дельты. Наиболее сильно эта тенденция проявилась в зонах влияния гидротехнических сооружений – т.е. в геоморфологическом районе речной (повышенной) поймы (рис. 1), где УГВ в пойме постоянно повышен в 1.5-2 раза от естественного меженного уровня и сегодня не заглубляется ниже 2.0-2.5 м для всех уровней поймы.

В результате изменения поемного режима наиболее сильно пострадали экосистемы верхних и средних уровней поймы; особенно сильно – в третьем геоморфологическом районе – в районе речной (повышенной) поймы, где расположены все действующие гидротехнические сооружения. На верхних уровнях поймы абoriginalные естественные пойменные леса из дуба и вяза почти полностью заместились на нетипичные леса из видов-вселенцев – ясеня пенсильванского (*Ffaxinus pennsylvanica*) и клена американского (*Acer negundo*). Типичные ивняки средних уровней поймы замещаются на кустарниковые аморфовые (*Amorpha fruticosa*) в прирусловой пойме и лоховые (*Elaeagnus angustifolia*) – в центральных частях поймы (при наличии некоторого засоления в почвах). Разнотравные луга средних уровней замещаются на почти монодоминантные вейниковые (*Calamagrostis epigeios*) с участием колючего сорнотравья из видов бодяка (*Cirsium*) и дурнишника (*Xanthium*). Вновь образованные нетипичные пойменные сообщества лучше выдерживают круглогодично стабильно повышенный УГВ.

Оценка нарушения обводненности экосистем и ландшафтов по пятибалльной шкале собственной методики показала, что наименее нарушенными (2 балла из 5-и возможных) являются территории, наиболее удаленные от гидротехнических сооружений – т.е. профили 1 и 2 в геоморфологических районах современной и старой дельты Дона. Все остальные профили (3-5), находящиеся в непосредственной зоне влияния гидротехнических сооружений, имеют средний уровень нарушенности, который пока не требует изменения гидрологического режима реки. Для улучшения состояния этих экосистем требуются как локальные, так и региональные гидро- и лесотехнические мероприятия по осушению территорий.

Основными проявлениями нарушения пойменных экосистем в низовьях Дона были: сокращение ярусной структуры сообществ; снижение общего видового разнообразия; формирование маловидовых, практически монодоминантных сообществ на лугах; гибель абoriginalных лесов.

*Благодарности.* Авторы благодарят В.Ю. Георгиевского за содействие в получении гидрологических данных.

*Финансирование.* Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-00018 «Закономерности динамики состояния ландшафтов речных пойм зоны недостаточного увлажнения в условиях гидрологических и климатических изменений») в части разработки и анализа гипсометрических профилей, уровней половодья и картографирования водного зеркала, а также по теме НИР ИВП РАН № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных

воздействий» в части анализа гидрологических изменений и состояния пойменных ландшафтов. Полевые исследования проведены в рамках НИР ФНЦ агроэкологии РАН (№ FNFE-2022-003 «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях»). Гидрологические данные предоставлены в рамках Гражданско-правового Договора от 19 декабря 2018 г. №78/1-НИР/ФЦП-2018 на выполнение научно-исследовательских работ по реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 гг по теме: «Научное обобщение данных гидрологического мониторинга в виде научно-прикладного справочного издания основных гидрологических характеристик водных объектов бассейна реки Дон».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А., Минкина Т.М., Швыдкая Н.В., Невидомская Д.Г. 2018. Почвы геохимических ландшафтов Нижнего Дона и их экологическая характеристика. Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета. 158 с.
- Белоусов В.Н. 2016. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. № 4. С. 14-19.
- Болгов М.В., Филиппова И.А., Коробкина Е.А., Зайцева А.В., Харламов М.А. 2019. Водные ресурсы бассейна р. Дон в условиях климатических изменений. Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления») (г. Ростов-на-Дону, 13-23 июня 2019 г.). Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, С. 364-366.
- Водные ресурсы России и их использование /Ред. А.И. Шикломанов. С.-П.: Государственный гидрологический Институт. 2008. 600 с.
- Дандара Н.Т., Немыкина Д.Е. 2018. Гидрологический анализ реки Дон на участке ниже Кочетовского гидроузла: гидрографическая сеть, расходы, уровни и уклоны воды // Вестник современных исследований. № 5.3 (20). С. 88-99.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. 2017. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 205 с.
- Дубинина В.Г. 2019. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: экология и динамика. Т. 3. № 1. С. 67-97.
- Дубинина В.Г., Жукова С.В. 2016. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы Нижнего Дона // Рыбное хозяйство. № 4. С. 20-30.
- Живоглядова Л.А., Сафронова Л.М., Шляхова Н.А., Бондарев С.В., Налётова Л.Ю., Афанасьев Д.Ф. 2020. Гидробиологическая характеристика реки Дон в районе строительства Багаевского гидроузла // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. Т. 23. № 2. С. 131-138.
- Жукова С.В. 2020. Обеспеченность водными ресурсами рыбного хозяйства Нижнего Дона // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 3. № 1. С. 7-19.
- Зубков Е.А., Гарькуша Д.Н., Барцев О.Б., Никаноров А.М. 2019. Грунтовые воды юга Ростовской области и их влияние на подтопление территорий населенных пунктов. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ. 197 с.
- Иванов В.В., Кортаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Чернов А.В. 2013. Строение поймы и динамика русла Нижнего Дона // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. № 5. С. 60-66.
- Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. 2020 / Ред. В.Ю. Георгиевский. СПб.: Свое издательство. 262 с.
- Кузьмина Ж.В. 2017. Динамические изменения экосистем и вопросы их оценки // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 10-25. [Электронный ресурс <http://www.ecosystemsdynamic.ru> (дата обращения 12.01.2022)].
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2017а. Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 3. С. 146-188 [Электронный ресурс <http://www.ecosystemsdynamic.ru/stati/> (дата обращения 12.01.2022)].
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2017б. Многолетние изменения основных метеорологических характеристик в зоне южной тайги Европейской части России (бассейн верхней Волги) // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 4 (152). С. 50-61.

- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2015. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций // Аридные экосистемы. Т. 21. №4(65). С. 39-53. [Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Karimova T.Yu. 2015. Effects of River Flow Regulation and Climate Fluctuations on Dynamic Changes in the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Delta and Floodplain // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 4. P. 230-242.]
- Матишов Г.Г., Бердников С.В. 2015. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // Известия РАН. Сер. Географическая. № 1. С. 111-118.
- Решетняк, О.С., Решетняк Н.В., Решетняк В.Н. 2019. Состояние экосистемы Нижнего Дона в современных условиях антропогенного воздействия // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. № 4. С. 234-240.
- Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. 2017 Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. Т. 159. Кн. 1. С. 139-152.
- Солодовников Д.А., Хаванская Н.М., Вишняков Н.В., Иванцова Е.А. 2017. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм // Юг России: экология, развитие. № 12 (3). С. 106-114.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгадиева А.Н., Выприцкий А.А. 2021а. Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бугрового района дельты Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 18. № 4. С. 285-290.
- Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. 2018. Формирование новой дельты Сырдарьи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 15. № 2. С. 193-196.
- Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А., Барталев С.А. 2021б. Гидрологическая ситуация на водохранилищах юга европейской части России в 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 18. № 1. С. 248-254.
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 992 с.
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. 2018. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain, *Eurasian Soil Science*. Vol. 51. No. 1. P. 66-72.
- Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V., Shul'gin M.V. 2020. Azov–Don water problem // *Water resources*. Vol. 47. No. 6. P. 1065-1076.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. 2013. Current changes in river water regime in the Don river basin // *Water resources*. Vol. 40., No. 6. P. 573-584.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. 2010. Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin // *Water Resources*. Vol. 37. No. 5. P. 733-742.
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Kashutina E.A. 2020. Contemporary and scenario changes in river runoff in the Don basin // *Water resources*. Vol. 47. No. 6. P. 913-923.
- Kouzmina J.V. The impact of natural and human-induced changes in the river flow and the climate on flood plain ecosystems in the middle Elbe river basin // *Ecological Engineering and Environment Protection*. №2. 2004. P. 5-15.
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. 2018. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region // *Arid Ecosystems*. Vol. 8. No. 4. P. 231-244. [Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Шинкаренко С.С. 2018. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // Аридные экосистемы. № 4 (77). Т. 24. С. 5-20.]
- Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. 2019. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions // *Arid Ecosystems*. Vol. 9. No. 4. P. 226-236. [Кузьмина Ж.В., Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. 2019. Основные тенденции в динамике пойменных экосистем и ландшафтов Низовьев Сырдарьи в современных изменяющихся условиях // Аридные экосистемы. № 4 (81). Т. 25. С. 16-29.]
- Matishov G.G., Stepan'yan O.V., Khar'kovskii V.M., Startsev A.V., Bulysheva N.I., Semin V.V., Soier V.G., Kreneva K.V., Glushchenko G.Yu., Svistunova L.D. 2016. Characteristic of Lower Don aquatic ecosystem in late autumn // *Water resources*. Vol. 43. No. 6. P. 873-884.
- Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. 2020. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin // *Water Resources*. Vol. 47. No. 6. P. 719-728. [Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С. 2020. Гидрологические и гидрогеологические закономерности формирования речных пойм в бассейне среднего Дона в современных условиях // Водные ресурсы. № 6. Т. 47. С. 719-728].

**ТИПЫ ВОДНОГО РЕЖИМА ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ РЕКИ ДОН**

© 2022 г. А.К. Кулик, Р.Н. Балкушкин

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

*Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97*

*E-mail: kulika@yfanc.ru, balkushkin\_r@yfanc.ru*

Поступила в редакцию 01.04.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

В условиях засушливого климата и недостаточного количества влаги для растений актуальность приобретают вопросы, связанные с изучением почвенно-гидрологических особенностей песчаных массивов. Цель исследований – изучение типов водного режима песчаных массивов реки Дон. В период с 2003 по 2021 гг. на территории песчаных массивов реки и ее притоков были проведены маршрутные и стационарные (закладка водно-режимных площадок) исследования. Лабораторные работы проводились на гидрологическом комплексе ФНЦ агроэкологии РАН, включающем 8 крупногабаритных лизиметров и 18 вегетационных площадок. За год инфильтрация на открытых песках составляет в среднем 70% от общей суммы выпавших осадков. Наибольший сток к грунтовым водам отмечается на песчаных массивах Верхнего Дона. По данным лизиметрических исследований, среднегодовая интенсивность внутripочвенного стока в условиях чистого пара максимальна на песчаных почвогрунтах и составляет в среднем 0.73 мм/сут., на супеси – 0.65 мм/сут., на легком суглинке – 0.37 мм/сут. При этом во второй половине года супесчаные почвы способны сбрасывать в грунтовые воды большее количество воды, чем песчаные и суглинистые почвы. Непромывной тип водного режима в большинстве случаев наблюдается на третьей террасе песчаных массивов с глубоким залеганием грунтовых вод (> 8 м) и более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами. На участках с корнедоступной для древостоя грунтовой водой наблюдается суточная пульсация с общим снижением уровня, поскольку ночное поступление воды не компенсирует транспирационный расход. Сезонные колебания уровня грунтовых вод на Придонских песках в среднем составляют 40-60 см, но могут достигать 90 см.

*Ключевые слова:* песчаные массивы, водный режим, почвенно-гидрологические константы, внутripочвенный сток, лизиметры.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-37-45**

**EDN: VVRFAS**

В условиях засушливого климата и недостаточного увлажнения территории наиболее актуальными становятся вопросы изучения водного режима почв, формирующегося под влиянием ряда факторов: рельефа, климата, гидрофизических свойств почв, хозяйственной деятельности человека и других. Совокупность процессов поступления, передвижения и расходования влаги является важным аспектом в жизнедеятельности растений, почвенной фауны и микроорганизмов. Интенсивность химических, биологических и физических процессов напрямую зависит от содержания влаги в почве, влияющей на формирование различных почвенных структур, водно-воздушного, питательного, теплового режимов почвы, что в итоге сказывается на ее плодородии и продуктивности фитоценозов.

Песчаные массивы реки Дон и его притоков представляют собой приречные террасовые азональные образования со специфическим рельефом и почвенно-растительным покровом. На территории России они занимают площадь свыше 1 млн. га. Почвы песчаных массивов легко подвержены дефляции, поэтому любая хозяйственная деятельность должна осуществляться с учетом противодефляционной защиты и рационального агролесомелиоративного планирования, которое во многом основывается на почвенно-гидрологических исследованиях. Работы по изучению



гидрологической роли песчаных массивов активно проводились советскими и российскими учеными. Огромный вклад в развитие сельскохозяйственной науки по данному направлению внес А.Г. Гаель (1978; Гаель, Смирнова, 1999), который проводил комплексные экспедиционные исследования на обширных пространствах распространения песков южной и средней полосы Европейской части СССР и Сибири. В.А. Дубянский (1949) и А.Д. Гожев (1929) рассмотрели водные и лесорастительные свойства песчаных почв Среднего Дона, а А.Т. Михеев (1938) – Нижнего Дона. Изучением общих изменений влагозапасов в Придонских песках занимались В.В. Миронов (1970) и А.Е. Иванов с соавторами (1955). Более подробно водный режим и динамику уровня грунтовых вод под лесными массивами изучали А.А. Молчанов (1952) и Н.С. Зюзь (1990). Работы Н.А. Воронкова (1963) и П.М. Светлицева (1964) посвящены водному режиму и балансу влаги песчаных почв степной зоны Европейской территории бывшего Советского Союза. Фундаментальные исследования в области водного режима песков аридной зоны и изучения механизма пространственной миграции влаги под действием разности температур были осуществлены Н.Ф. Куликом (1979, 1999). Проведенные исследования во многом опираются на теоретические основы движения почвенной влаги, которые были рассмотрены в других работах (Глобус, 1969; Долгов, 1948; Качинский, 1970; Нерпин, Чудновский, 1975; Роде, 1965; Судницин, 1964; Edlefsen, Anderson, 1943; Richards, 1931). На современном этапе изучаются вопросы комплексного освоения песчаных земель, закрепления песков, гидрологии почв и генезиса песчаных массивов (Кулик и др., 2012, 2015; Манаенков, 2018; Салугин, Кулик, 2017; Галанин, 2021; Huang, Hartemink, 2020; Luo et al., 2020). Особые природные условия Донских песков создают необходимость более подробного изучения почвенно-гидрологических особенностей. Основная цель исследований – изучение типов водного режима песчаных массивов реки Дон.

### Материалы и методы

Полевые исследования проводились на территории песчаных массивов реки Дон и ее притоков с 2003 по 2021 гг. Были проведены маршрутные исследования с описанием природных условий и закладкой водно-режимных площадок (ВРП), которые располагались на различных типах песков. Морфологическое описание почвенных разрезов проводилось согласно «Полевому определителю почв России» (2008).

Лабораторные исследования проводились на гидрологическом комплексе ФНЦ агроэкологии РАН, включающем 8 крупногабаритных лизиметров (площадь – 6.3 м<sup>2</sup>, мощность почвогрунта – 240 см, дренаж – около 100 см) и 18 вегетационных площадок. В подземной галерее осуществлялось ежедневное измерение объема внутрипочвенного стока. Лизиметры насыпные, заполненные однородным по гранулометрическому составу почвенным субстратом. Лизиметры имеют песчаный, супесчаный и легко суглинистый гранулометрический состав.

### Результаты и обсуждение

На формирование того или иного типа водного режима влияют гранулометрический состав почвы, количество атмосферных осадков, состояние растительного покрова, глубина залегания грунтовых вод, деятельность человека (Кулик и др., 2021). В условиях песчаных массивов реки Дон сочетание этих факторов обуславливает формирование промывного, периодически непромывного и промывного, непромывного, выпотного, десуктивно-выпотного типов водного режима.

Для подробного изучения водного режима песчаных массивов необходимо иметь представление об основных гидрофизических свойствах почв. Гранулометрический состав, являющийся базовой почвенной характеристикой, напрямую влияет на механизмы удержания и передвижения воды. Почвы песчаных массивов реки Дон в основном песчаные мелко-тонкозернистые: в них преобладает фракция 0.05-0.25 мм (50-70%). Местами по отдельным массивам и террасам могут наблюдаться некоторые различия в соотношении фракций почвенных частиц или утяжеление гранулометрического состава до супесчаного или суглинистого. Рельеф, подстилающие породы, растительность, режим увлажнения, антропогенное воздействие являются факторами, влияющими на формирование различных типов и подтипов почв песчаных массивов, на которых наблюдаются свои особенности передвижения почвенной влаги. Наибольшее содержание физической глины отмечается в почвах на высоких террасах при их переходе в приводосборный склон, а также в почвах древних



водотоков и в гидроморфных почвах микропонижений и заливных лугов. На непереветренных или древнепереветренных участках надпойменных террас встречаются почвы супесчаные. Современный эоловый нанос имеет, как правило, песчаный состав, однако может изменяться в зависимости от почв, подвергшихся дефляции.

Количественные и качественные изменения содержания и передвижения почвенной влаги можно свести к основным почвенно-гидрологическим константам: максимальной гигроскопичности (МГ), влажности завядания (ВЗ), влажности разрыва капилляров (ВРК), наименьшей влагоемкости (НВ), полной влагоемкости (ПВ). В отношении почвенно-гидрологических констант наблюдается одна и та же закономерность: увеличение значений при переходе от легких к тяжелым по гранулометрическому составу почвам. МГ безгумусного переветренного песка не превышает 0.2-0.3%. В супесчаных почвах эта величина достигает 2-2.5%, в суглинистых – 4-4.5%. ВЗ в гумусовых горизонтах изменяется от 1.4% на песчаных почвах до 6% в суглинистых, в материнской песчаной породе – от 0.7 до 1.8%. Из-за слабого капиллярного переноса в песчаных почвах в указанном диапазоне ВРК приближается к значениям НВ (Кулик, 1979). В среднем НВ в гумусовом горизонте песчаных почв составляет 5-6% и снижается в песчаной материнской породе до 3.5-4%. В почвенных горизонтах, содержащих псевдофибры, НВ увеличивается на 1-1.5%.

Меридиональная протяженность Донских песков составляет свыше 450 км. Это обуславливает разность климатических условий, в том числе количество выпадающих осадков (рис. 1). Среднегодовое количество осадков района исследований колеблется в пределах 390-600 мм. Наибольшее количество наблюдается в самой северной точке, в г. Воронеж (594 мм), наименьшее – в восточной части, в г. Калаче-на-Дону (398 мм; Специализированные ..., 2022). Вследствие уменьшения количества осадков все статьи водного баланса пропорционально сокращаются.

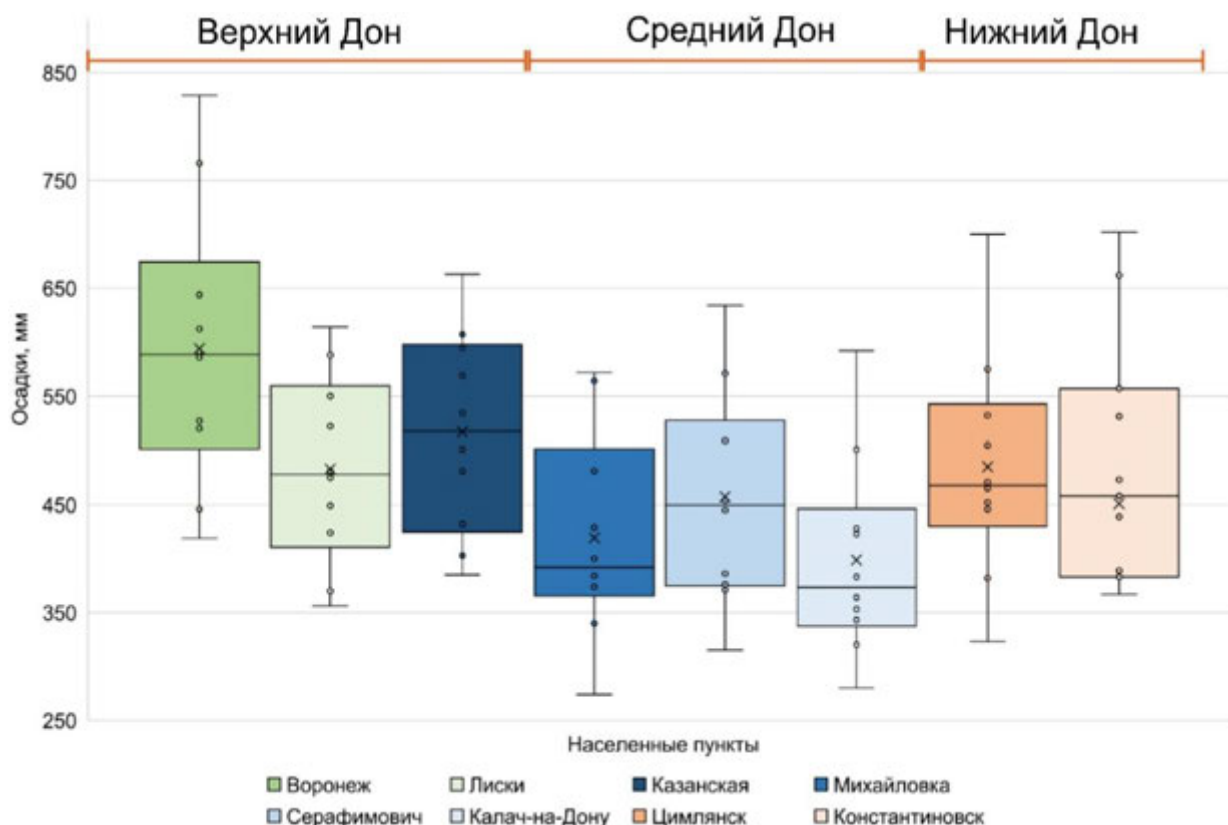


Рис. 1. Атмосферные осадки за 2012-2021 гг.

Горизонтальные осадки (туман и изморозь) и конденсация атмосферной влаги в виде росы в регионе исследования в общем годовом водном балансе почв играют незначительную роль. Их суммарная величина в отдельные годы не превышает 15 мм (Кулик, 1979).

При условии ежегодного сквозного промачивания почвенного профиля формируется промывной тип водного режима. Такие условия, как правило, создаются на открытых песках и песчаных почвах (светлогумусовых, псаммоземах гумусовых и др.). Наибольший транзит атмосферных осадков к грунтовым водам отмечается на открытых и слабозаросших песках, которые присутствуют на всех песчаных массивах реки Дон. За год на открытых песках инфильтрация составляет в среднем 70% (50-85%) от общей суммы выпавших осадков (Манаенков, 2018). При этом из-за разной обеспеченности влагой максимальный сток в грунтовые воды отмечается на песчаных массивах Верхнего Дона. При сравнительно низком количестве атмосферных осадков на песках Среднего Дона также фиксируется значительный внутрпочвенный сток. Так, согласно проведенным в 2018-2019 гг. на территории Калачевско-Голубинского песчаного массива водно-балансовым исследованиям, на бугристых открытых и слабозаросших песках, занимающих площадь около 4200 га, к грунтовым водам поступило свыше 6.5 млн. м<sup>3</sup> воды (Кулик и др., 2020). Открытые пески способны поддерживать круглогодичное пополнение грунтовых вод, хотя интенсивность и объем стока значительно сокращаются по сравнению с весенними показателями.

Интенсивность внутрпочвенного стока имеет ярко выраженную сезонность. Она максимальна в марте-апреле, что совпадает с периодом снеготаяния. В отдельные годы может фиксироваться еще один максимум, связанный с интенсивным выпадением атмосферных осадков в мае-июне. В следующие месяцы наблюдается постепенное уменьшение скорости стока, что подтверждается лабораторными лизиметрическими исследованиями и снижением дебета родникового стока.

На лизиметрах среднегодовая интенсивность внутрпочвенного стока в условиях чистого пара максимальна на песчаных почвогрунтах и составляет в среднем 0.73 мм/сут., на супеси – 0.65 мм/сут., на легком суглинке – 0.37 мм/сут. (рис. 2). В весеннее или раннелетнее время сток на песчаных почвогрунтах составляет в среднем 5.8 мм/сут., в отдельные годы превышает 10 мм/сут., на супеси и суглинке – около 3.2 мм/сут. По мере иссушения почвогрунта и наступления периода гидротермической напряженности скорость внутрпочвенного стока сокращается, достигая минимальных значений на суглинистых почвах, где сток может и вовсе прекратиться из-за больших потерь на испарение. На песках, не обладающих такой капиллярной сплошностью, как суглинки, минимальная скорость стока в течение года несколько выше. Супесчаные почвы имеют влагопроводность больше, чем суглинистые, и влагоемкость больше, чем песчаные (Роде, 1965). После весеннего снеготаяния скорость внутрпочвенного стока на супесчаном почвогрунте меньше, чем на песке. Однако к маю или к июлю, в случае выпадения в начале лета большого количества атмосферных осадков, наибольший сток отмечается на супеси. В среднем в течение года на супеси скорость внутрпочвенного стока снижается до 0.14 мм/сут. (на песке – 0.075 мм/сут., на суглинке – 0.026 мм/сут.). При такой интенсивности стока за сутки с 1 га к грунтовым водам стечет 1.4 м<sup>3</sup> воды. Таким образом, во второй половине года в условиях пара супесчаные почвы способны сбрасывать в грунтовые воды большее количество воды, чем песчаные и суглинистые почвы. Такая влага доступна для растений, имеющих высокое проективное покрытие на супесчаных почвах, что вносит значительные изменения в структуру водного баланса территории.

Проективное покрытие слабозаросших песков составляет около 10%, на заросших достигает и превышает 80%. При этом продуктивность травянистых фитоценозов варьирует в широких пределах. На равнинных и склоновых, слабоувалистых песчаных и супесчаных отложениях продуктивность в среднем находится в пределах 2.3-2.7 т/га, на заросших бугристо-холмистых песках – 2-2.3 т/га, на среднезаросших бугристых песках – 0.9-1.6 т/га, на слабозаросших – около 0.6 т/га, в луговом биотопе – до 5 т/га.

По мере зарастания песков объем стока сокращается за счет расхода воды на транспирацию. Однако промывной тип водного режима возможен также на заросших песках и сосновых насаждениях (десуктивно-промывной режим; рис. 3). Относительно легкий гранулометрический состав создает условия для полного промачивания почвенного профиля. Итоговый сток с участков с промывным типом водного режима обеспечивает стабильное межливневое водопитание речных систем (Бородычев и др., 2018).

Вариабельность количества выпавших осадков создает условие для формирования периодически промывного и периодически непромывного типов водного режима. В отдельные годы количество осадков на территории, где наблюдается преимущественно промывной тип водного режима, может

быть недостаточным для промачивания всей зоны аэрации, и наоборот, осадков может выпасть значительно больше среднегодовой нормы, в результате чего атмосферная влага достигает грунтовых вод (рис. 4).

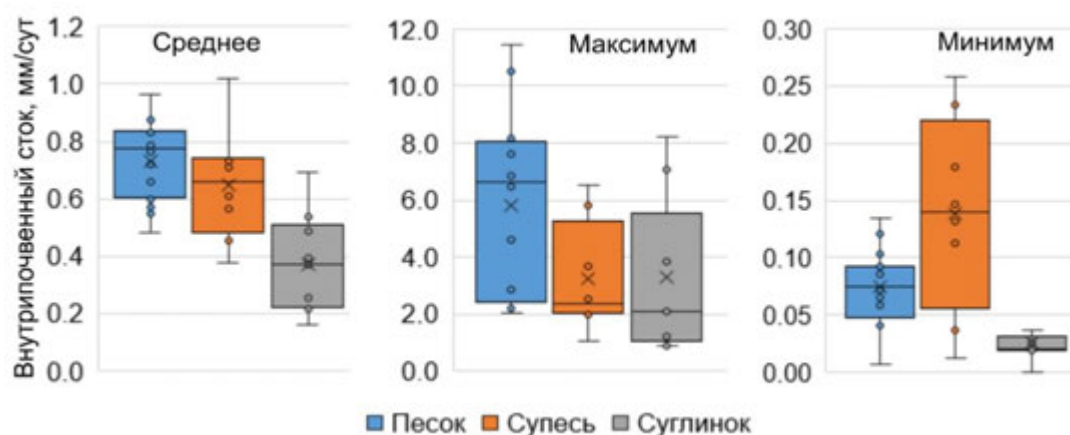


Рис. 2. Внутрипочвенный сток на лизиметрах.

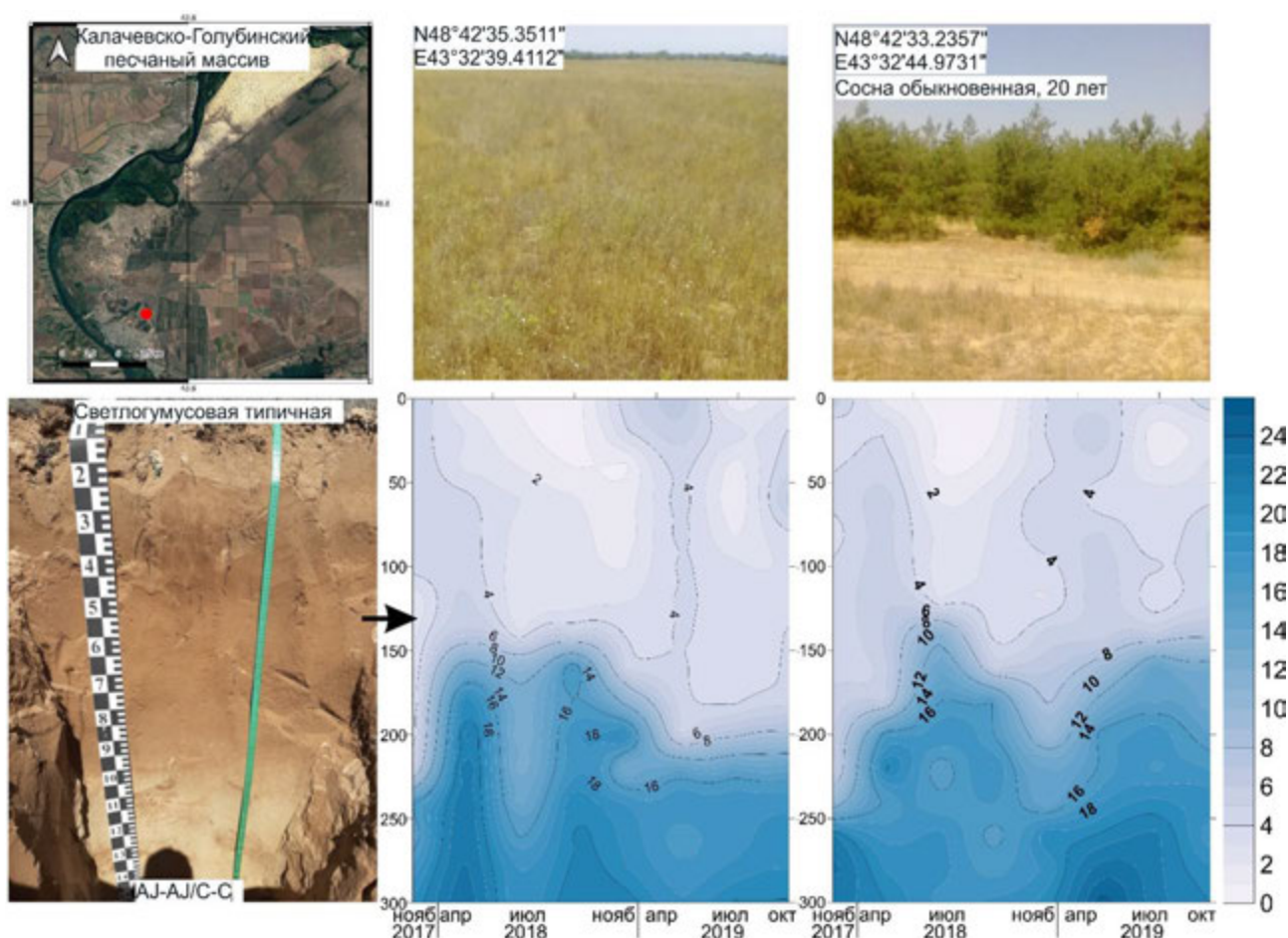


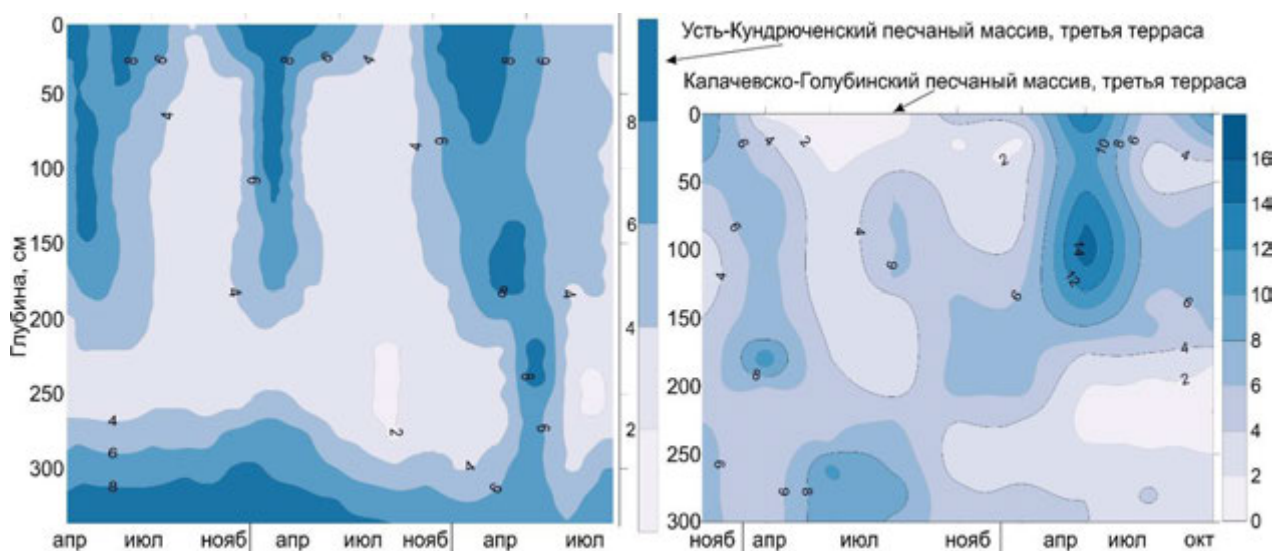
Рис. 3. Промывной тип водного режима на Калачевско-Голубинском песчаном массиве.

При непромывном водном режиме влага атмосферных осадков не достигает уровня грунтовых вод. Таким образом, на некоторой глубине мы обнаруживали импермацидный (сухой)

горизонт, с влажностью близкой к ВЗ. В большинстве случаев непромывной режим наблюдается на третьей террасе песчаных массивов с глубоким залеганием грунтовых вод и более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами. Третья терраса возвышается над уровнем Дона в среднем на 40-50 м, а грунтовые воды залегают на глубине свыше 8 м.

Выпотной тип водного режима характерен для участков с близким залеганием грунтовых вод. При этом капиллярная кайма выходит на дневную поверхность, на испарение расходуется влага осадков и части грунтовых вод. Если вода минерализована, то к поверхности подтягиваются водорастворимые соли. Зачастую весь почвенный профиль пропитан солями углекислого кальция, в результате чего начиная с поверхности почвы наблюдается бурное вскипание от  $\text{HCl}$ .

При десуктивно-выпотном типе водного режима капиллярная кайма не выходит на дневную поверхность, но в ее пределах находится корневая система растений. Таким образом, на физическое испарение расходуется только влага атмосферных осадков, а на транспирацию еще и грунтовые воды. Для участков, занятых древостоем, подразделение типов водного режима на десуктивно-промывной (атмосферная влага достигает грунтовых вод, которые используются деревьями) и десуктивно-непромывной (атмосферная влага не достигает грунтовых вод, но они являются дополнительным источником водопитания древостоя) вносит уточнение в условия увлажнения территории (Кулик, 1999).



**Рис. 4.** Периодически промывной (слева) и периодически непромывной (справа) типы водного режима.

Грунтовые воды, используемые древостоем, имеют особую сезонную и суточную динамику. В течение вегетационного периода на таких участках наблюдается так называемая суточная пульсация грунтовых вод. Данное явление мы фиксировали с помощью недельных самописцев. На песчаных почвах Усть-Кундрюченского песчаного массива в насаждениях сосны обыкновенной (50 лет) в августе суточная амплитуда уровня грунтовых вод составила 23 мм. В 9-10 часов начиналось снижение уровня грунтовых вод в результате транспирации, которое сменялось водоподъемом в 18-19 часов. Наблюдалось общее снижение уровня грунтовых вод, поскольку ночное поступление воды не компенсировало транспирационный расход (Кулик, 2005). На участках, где корневая система растений не достигает капиллярной каймы, также фиксируется снижение уровня грунтовых вод, однако пульсация отсутствует.

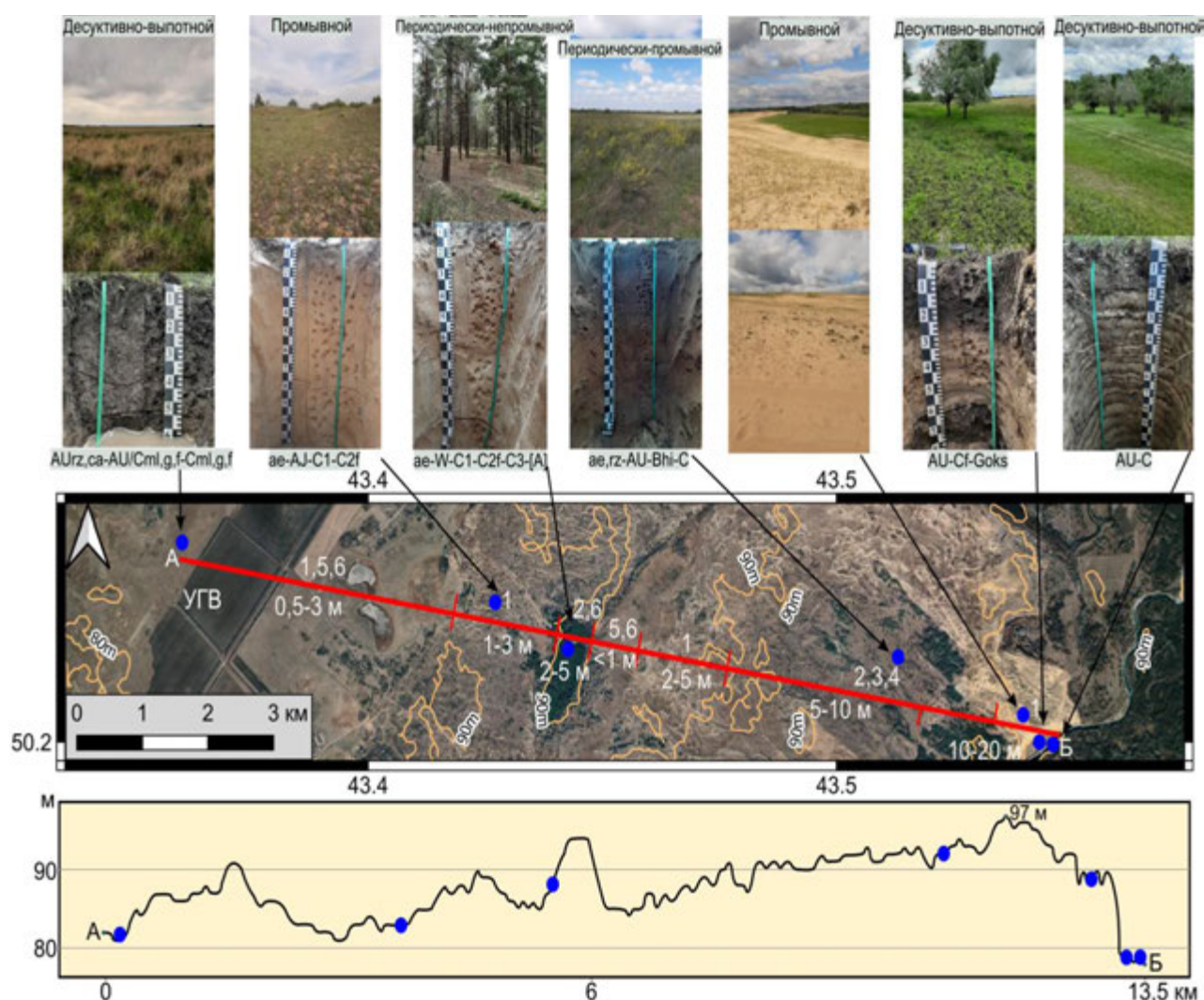
Сезонные колебания уровня грунтовых вод связаны с биологическими и климатическими факторами. На Придонских песках в высоко бонитетных хвойных древостоях амплитуда в среднем составляет 40-60 см, но может достигать 90 см в ольшаниках и дубняках.

На песчаных массивах Дона встречаются все рассмотренные типы водного режима. Их смену можно проследить, рассмотрев конкретный пример (рис. 5). Етеревский песчаный массив располагается в междуречье рек Медведицы и Тишанки (Средний Дон). Ввиду такого «островного»



положения внутригрунтовый подток со стороны водосбора почти отсутствует, поэтому главным источником питания грунтовых вод является инфильтрация атмосферных осадков. Стабильный приток воды с участков с промывным типом водного режима обеспечивает относительное постоянство уровня грунтовых вод.

В пределах древних ложбин стока, окаймляющих и прорезающих песчаный массив, формируются промывной, выпотной и десуктивно-выпотной типы водного режима. Уровень грунтовых вод по большей части составляет менее 1 м. Почвы – аллювиальные темногумусовые, как правило, тяжелого гранулометрического состава, в которых высота капиллярного поднятия превышает 1 м. Поэтому часть влаги на физическое испарение расходуется из грунтовых вод. Легкие почвы заросших полого-бугристых песков также имеют промывной тип водного режима. При этом сосновые насаждения используют грунтовые воды на транспирацию. На более возвышенных участках с глубиной залегания грунтовых вод 5-10 и 10-20 м наблюдается варьирование типа водного режима от периодически непромывной до непромывной в зависимости от состояния растительности и гранулометрического состава почв. Открытые и слабозаросшие пески, примыкающие к пойме, имеют промывной тип водного режима. Водный режим высокой и нижней поймы тесно связан с гидрологическим режимом реки Медведица.



**Рис. 5.** Ландшафтный профиль Етеревского песчаного массива. Условные обозначения. Типы водного режима: 1 – промывной, 2 – периодически непромывной, 3 – периодически промывной, 4 – непромывной, 5 – выпотной, 6 – десуктивно-выпотной.

### Выводы

Песчаные массивы реки Дон занимают площадь свыше 1 млн. га. На открытых песках и песчаных почвах создаются условия для полного промачивания почвенного профиля и формирования промывного типа водного режима. За год инфильтрация на открытых песках составляет в среднем 70% от общей суммы выпавших осадков. При этом из-за большей обеспеченности влагой атмосферных осадков максимальный сток к грунтовым водам отмечается на песчаных массивах Верхнего Дона.

По данным лизиметрических исследований, среднегодовая интенсивность внутрипочвенного стока в условиях чистого пара максимальна на песчаных почвогрунтах и составляет в среднем 0.73 мм/сут., на супеси – 0.65 мм/сут., на легком суглинке – 0.37 мм/сут. При этом во второй половине года супесчаные почвы способны сбрасывать в грунтовые воды большее количество воды, чем песчаные и суглинистые почвы

Вариабельность количества выпавших осадков создает условие для формирования периодически промывного и периодически непромывного типов водного режима. Непромывной тип в большинстве случаев наблюдается на третьей террасе песчаных массивов с глубоким залеганием грунтовых вод (> 8 м) и более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами.

Выпотной и десуктивно-выпотной типы водного режима характерны для участков с близким залеганием грунтовых вод. Капиллярная кайма выходит на дневную поверхность или достигает корневой зоны, на испарение и транспирацию расходуется влага осадков и части грунтовых вод. В течение вегетационного периода на таких участках наблюдается суточная пульсация грунтовых вод с общим снижением уровня, поскольку ночное поступление воды не компенсирует транспирационный расход. Сезонные колебания уровня грунтовых вод на Придонских песках в среднем составляют 40-60 см, но могут достигать 90 см.

*Финансирование.* Работа выполнена в рамках государственного задания FNFE-2022-0011 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бородычев В.В., Кулик А.К., Кулик Н.Ф.* 2018. Неистощительное водопитание и опреснение речных вод донского региона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. № 3 (51). С. 26-34.
- Воронков Н.А.* 1963. Водный режим и некоторые особенности биологии сосновых насаждений на песках Среднего Дона. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 25 с.
- Гаель А.Г.* 1978. «Извечно» развеваемые пески в Донских степях // Геоморфология. № 1. С. 36-46.
- Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф.* 1999. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС. 252 с.
- Галанин А.А.* 2021. Позднечетвертичные песчаные покровы Центральной Якутии (Восточная Сибирь): строение, фациальный состав и палеоэкологическое значение // Криосфера Земли. Т. 25. № 1. С. 3-34.
- Глобус А.М.* 1969. Экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеиздат. 350 с.
- Гожев А.Д.* 1929. Типы песков области Среднего Дона и их хозяйственное использование // Труды по лесному опытному делу. М.: Сельхозгиз. 178 с.
- Долгов С.И.* 1948. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. М.: АН СССР. 206 с.
- Дубянский В.А.* 1949. Пески Среднего Дона и использование их в сельском и лесном хозяйстве. М.: Сельхозгиз. 232 с.
- Зюзь Н.С.* 1990. Культуры сосны на песках Юго-Востока. М.: Агропромиздат. 155 с.
- Иванов А.Е., Матюк И.С., Миронов В.В.* 1955. Пески и их освоение. М.: Сельхозгиз. 254 с.
- Качинский Н.А.* 1970. Физика почвы. М.: Высшая школа. 358 с.
- Кулик А.К.* 2005. Водный режим и баланс влаги песчаных земель Нижнего Дона (на примере Усть-Кундрюченского песчаного массива). Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: ВНИАЛМИ. 25 с.
- Кулик А.К., Кулик К.Н., Балкушкин Р.Н.* 2020. Террасовые пески и их роль в водопитании рек бассейна Дона // Водные ресурсы. Т. 47. № 6. С. 742-754.
- Кулик А.К., Кулик К.Н., Власенко М.В.* 2021. Формирование водного режима на песках Арчединско-Донского массива в зависимости от распространения растительных формаций // Аридные экосистемы. Т. 27.

- № 4 (89). С. 50-58. [A.K. Kulik, K.N. Kulik, M.V. Vlasenko, Yu.I. Sukhorukikh, S.G. Biganova. 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. Pp. 358-366.]
- Кулик К.Н., Кулик Н.Ф., Кулик А.К. 2012. Водный баланс почв песчаных массивов (на примере Усть-Кундрюченского массива, Ростовская область) // Почвоведение. № 8. С. 846-855.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. 2015. Геоинформационный анализ динамики опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 23-32. [K.N. Kulik, A.S. Rulev, V.G. Yuferev. 2015. Geoinformation Analysis of Desertification Dynamics in the Territory of Astrakhan Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. Pp. 134-141.]
- Кулик Н.Ф. 1999. Водный режим лесных биогеоценозов. Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия. 59 с.
- Кулик Н.Ф. 1979. Водный режим песков аридной зоны. Ленинград: Гидрометеоиздат. 280 с.
- Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 428 с.
- Мионов В.В. 1970. Облесение песков Юго-Востока. М.: Лесная промышленность. 168 с.
- Михеев А.Т. 1938. Пески и супеси Нижнего Дона и пути их освоения. Ростов-на-Дону. 135 с.
- Молчанов А.А. 1952. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М.: АН СССР. 488 с.
- Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. 1975. Энерго- и массообмен в системе растение-почва-воздух. Л.: Гидрометеоиздат. 358 с.
- Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.
- Роде А.А. 1965. Основы учения о почвенной влаге. Том 1. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. Ленинград: Гидрометеоиздат. 664 с.
- Салугин А.Н., Кулик А.К. 2017. Гидрофизические характеристики песчаных почв: моделирование восстановления водоудерживающей способности // Российская сельскохозяйственная наука. № 6. С. 51-55.
- Светлицев Н.М. 1964. Водный и температурный режим почвогрунтов под культурами сосны Етеревского песчаного массива. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: 23 с.
- Судницин И.И. 1964. Закономерности передвижения почвенной влаги. М: Наука. 134 с.
- Специализированные массивы для климатических исследований. 2022 [Электронный ресурс <http://aisorim.meteo.ru> (дата обращения 16.01.2022)].
- Edlefsen N.E., Anderson A.B.C. 1943. Thermodynamics of Soil Moisture // Hilgardia. Vol. 15. No. 2. Pp. 31-298.
- Huang J., Hartemink A.E. 2020. Soil and Environmental Issues in Sandy Soils // Earth-Science Reviews. Vol. 208. Pp. 103-295.
- Luo Y., Ghezzehei T., Zhongbo Yu., Berli M. 2020. Modeling Near - Surface Water Redistribution in a Desert Soil // Vadose Zone Journal. Vol. 19 (1) [Электронный ресурс <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vzj2.20081> (дата обращения 16.01.2022)].
- Richards L.A. 1931. Capillary Conduction of Liquids through Porous Mediums // Journal of Applied Physics. Vol. 1. Pp. 318-333.



## ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО СТАДИЯМ ИХ РАЗВИТИЯ В РЕГИОНАХ ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ПОЯСА

© 2022 г. М.М. Аличаев\*, М.Г. Султанова\*, П.Д. Мусалаева\*\*

\*Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан  
Россия, 367014, г. Махачкала, пр. Акушинского, Научный городок. E-mail: mezluma2017@mail.ru

\*\*Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН  
Россия, 36700, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75  
E-mail: murzaeva.1983@mail.ru

Поступила в редакцию 14.01.2021. После доработки 20.09.2021. Принято к публикации 24.02.2022.

Рассматриваются современные процессы проявления стадий опустынивания и аридной деградации и динамика их развития в зависимости от плодородия почв в засушливых условиях на примере регионов Западного Прикаспия – Терско-Кумской низменности и дельты Терека. Развитие деградационных процессов протекает в двух стадиях, принципиально отличающихся по содержанию и масштабам территориального распространения.

Первая стадия – природная деградация – берет начало со времени развития процессов почвообразования в голоцене в качестве одного из незаменимых элементов функционирования живых организмов на поверхности Земли. Естественная динамика деградационных процессов протекает с формированием равновесного состояния почвообразования с образованием отдельных типов почв полнопрофильного строения. В зависимости от условий почвообразования, характерных для деградационного направления, таких как засоление, загрязнение, солонцеватость почв на разных стадиях их развития, формируются солончаки, солонцы, пустыни песчаные и глинистые. Развитие перечисленных свойств почв в естественных условиях продолжается и в настоящее время, их эволюция протекает, начавшись в голоценовой эпохе (Акаев, 1996).

Во второй стадии динамика развития аридной деградации и опустынивания обусловлена антропогенным воздействием, коренным образом отличающимся от показателей природной деградации. В результате усиления антропогенного воздействия естественное состояние почвенного покрова сменяется неустойчивым вторичным в искусственно созданных условиях. К мероприятиям, способствующим формированию новых направлений почвообразования, относятся: расширение площадей орошаемых земель в дельте Терека, Терско-Кумской низменности и в других регионах, незащищенность освоенных почв от природных явлений засоления, ветровой эрозии и деградации.

*Ключевые слова:* стадии почвообразования, голоценовая дифференциация, антропогенная дифференциация, плодородие, галофиты, аридная деградация, геологические отрезки времени, исторические отрезки времени.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-46-54**

**EDN: XRHRDC**

### Материалы и методы

Объектом исследования являются почвы регионов Западного Прикаспия Терско-Кумской низменности и дельты Терека общей площадью более 1.5 млн. га. Почвы, подверженные опустыниванию, представлены преимущественно светло-каштановыми карбонатными, лугово-каштановыми слабозасоленными солонцеватыми, луговыми почвами, засоленными в разной степени (Акимцев, 1959). Значительную площадь занимают гидроморфные и полугидроморфные солончаки, обладающие признаками природного и антропогенного опустынивания. Комплексный характер распространения и вмешательства человека в почвообразовательные процессы привели аридные деградированные почвы к дифференциации природных и антропогенных признаков опустынивания и

деградации. Изучение основных свойств разновидностей почв по выделенным направлениям в естественном состоянии геологического развития и антропогенно-измененном, используемом в историческом аспекте, осуществлено методом сравнительного анализа. Сравнительный подход дал возможность обосновать значимость используемой части почвенного покрова, подверженного опустыниванию в биосфере (Кулик и др., 2001; Сапанов и др., 2015). Особый интерес представляют формирующиеся комплексы и сочетания контуров почв со вновь приобретенными антропогенными и остаточными признаками природных почвообразовательных процессов.

Большое значение имеет изучение выявленных различий в свойствах почв разных стадий опустынивания и их учет при восстановлении плодородия почв. В качестве исходного материала при сравнении использованы результаты исследований, проведенных в предшествующие периоды, что дало возможность описать эволюционное развитие генетических типов почв в условиях аридизации, опустынивания (Баламирзоев и др., 1995; Стасюк, 2005).

### Результаты и их обсуждение

Стадия антропогенного почвообразования в историческом плане следует за естественной природной стадией. Природное почвообразование является первичным и развивается в процессе выветривания горных пород, формируя основу первичного опустынивания. Начиная с периода антропогенных воздействий, формируются изменения, отражающие динамику определенной части функционирующего почвенного покрова, обладающего плодородием. Дифференциация использования плодородной продуктивной части земель способствует формированию разных категорий по динамике развития и выполняемым функциям, включая природную деградацию с негативными последствиями. При естественной деградации в целинном состоянии сохраняется часть ареалов почв, представленных отрицательными агропроизводственными показателями, формирующая направление природного опустынивания и аридной деградации. Для учета свойств природного почвообразования в качестве генетических признаков приводятся показатели целинных ареалов основных типов почв (табл. 1).

Современные целинные почвы с низким плодородием и отрицательными производственными показателями, функционирующие с начала геологического периода – голоцена, используются в сельском хозяйстве преимущественно в качестве природных кормовых угодий. Они обладают высокой степенью устойчивости к воздействию сухого и пустынного климатического режима. Изменения в почвах с остаточно-генетическими свойствами формируются с сохранением естественного строения профиля и условий почвообразования. Степень изменения отдельных типов почв иллюстрируется усилением процессов аридизации, засоления, солонцеватости, минерализации гумуса, проявлением ветровой эрозии с иссушением профиля. Сюда можно отнести увеличение рН и щелочности почвенного раствора с накоплением соединений натрия и калия (Зонн, 1978; Залибеков, 2000).

Эволюция свойств почв в естественных условиях, без вмешательства человека, протекает стабильно и последовательно, накопление количественных изменений и переход их в качественные осуществляется на протяжении геологических отрезков времени.

В этой связи возникает необходимость дифференциации признаков почв и условий их образования, развитие которых по настоящее время протекает в естественных условиях и в направлении антропогенного развития. Актуальность изучения этого процесса связана с тем, что продолжающиеся климатические изменения, имеющие геологическую историю, приобрели в современных условиях особое значение. Речь идет о влиянии климатического потепления на минерализацию органического вещества почв, способствующего увеличению концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере и изменению биогеохимического круговорота веществ (Ковда, 1978).

Учитывая эти обстоятельства, предпринята попытка дифференцировать в рамках самостоятельной категории, показатели современных целинных почв регионов Прикаспийской низменности, функционирующих в течение всего периода голоценовой эпохи и по настоящее время (Вильямс, 1949). При этом нужно иметь в виду, что роль климатического фактора в миграционных процессах проявляется в изменении содержания химических элементов в пределах отдельных горизонтов почвенного профиля. Эти изменения происходят с сохранением биогеохимического круговорота веществ и установленного баланса между процессами синтеза и минерализации общей

биомассы ландшафтов. Основными свойствами почв, сохранившимися в эволюции ландшафтов голоценовой эпохи, являются: засоление, солонцеватость, эрозия, гумификация и минерализация органического вещества. Проявление их в современных условиях – определяющий фактор формирования генетических типов почв аридных территорий (Ганиева и др. 2019). В сохранившихся целинных почвах природных кормовых угодий развиваются и остаточные признаки: внутрипочвенное оглинивание, образование новых минералов, аридизация и опустынивание. Совокупность трансформированных динамических процессов имеет большое значение и определяет геологическую историю почвенного покрова (Залибеков, 2022).

**Таблица 1.** Изменение целинных почв, подверженных природному опустыниванию в регионах Западного Прикаспия.

№ п.п.	Типы почв	Засоление	Солонцеватость	Эрозия	Загрязнение	Иссушение профиля в 0-100 см
1	Светло-каштановые полнопрофильные	Слабое среднее	Слабое среднее	Сильная	Слабое	Очень сильное
2	Лугово-каштановые	Слабое среднее	Среднее	Слабая	–	Сильное
3	Луговые карбонатные	Среднее сильное	Слабое	–	–	Не определено
4	Солончаки типичные	Очень сильное	–	–	–	Умеренно сильное
5	Солончаки луговые	Очень сильное	Слабое	–	–	Не определено
6	Солончаки пухлые, корковые	Очень сильное	–	–	Слабое среднее	Умеренно сильное
7	Солонцы	Слабое	Сильное	–	–	Сильное
8	Пески движущиеся	–	–	Очень сильная	–	Сильное
9	Выходы на поверхность глинисто-суглинистых отложений	Диапазон всех градаций	–	Среднее	Среднее сильное	Среднее сильное

Разрабатываемый подход нуждается в интерпретации и описании стадий развития указанных процессов в современных вариантах функционирования:

- а) в естественном (целинном) состоянии геологического развития;
- б) в антропогенно-измененном состоянии, используемом в историческом аспекте.

Выделенные варианты возникли в голоцене, причем антропогенно-измененный тип формировался позже, по мере появления и развития потребностей человека в пищевых продуктах, трансформирующая определенную часть Земли геологическую стадию в антропогенную (Виноградов и др., 1995).

Генетические свойства двух направлений и их различия, формирующиеся во времени и пространстве, обуславливают экологическое равновесное состояние, сохранение биосферных и хозяйственных функций. Функциональная их роль и влияние на природные и антропогенные свойства почвенного покрова приводятся на примере регионов Западного Прикаспия (табл. 2).

**Таблица 2.** Дифференциация свойств природного и антропогенно-измененного вариантов почв Западного Прикаспия.

№ п.п.	Основные показатели		Дифференцирующие свойства
	Функционирующие в условиях геологического развития	Антропогенно-измененные в историческом аспекте	
1	Дефицит влаги, иссушение почвенного профиля	Орошаемые, пахотные земли	Содержание влаги в почве ниже влажности завядания растений
2	Засоление, солонцеватость, ветровая эрозия	Отсутствие мелиораций, технологий обработки почв	Содержание солей выше ПДК, разрушение пахотного горизонта
3	Минерализация гумуса, низкая величина биомассы почв	Фитомелиорации, наличие пастбищных экосистем, выпас скота	Высокие среднесуточные температуры
4	Стабильный биогеохимический круговорот веществ под естественной растительностью	Наличие условно-орошаемых земель, низкопродуктивных сельскохозяйственных угодий	Фоновый уровень низкой продуктивности растений
5	Низкое плодородие	Широкий диапазон колебаний уровня агротехники	Применение органоминеральных удобрений
6	Сохранение разнообразия почв и ландшафтов	Увеличение запасов и содержание органического вещества почв	Фоновый режим использования почв
7	Защищенность почв от технических, мелиоративных воздействий	Морфологическое строение профиля и круговорот веществ	Формирование нового почвенного профиля
8	Признаки деградационной стадии эволюции почв	Гумусонакопление, дифференциация генетических признаков по горизонтам	Перераспределение гумуса и гранулометрического состава по горизонтам
9	Песчаные, глинистые пустыни, солончаки пухлые корковые	Залужение межбугровых пространств	Этапы развития растительности
10	Солончаки типичные луговые, остаточные бессточные равнины	–	Отсутствуют

Установлено, что дефицит влаги, иссушение профиля, свойственные почвам всей геологической истории светло-каштановых карбонатных почв, лугово-каштановых солонцеватых почв и солончаков типичных, сохраняются в эволюционном развитии. При этом формируется стабильный почвообразовательный процесс, характерный для условий аридизации и опустынивания. При наличии запасов подземных пресных и поверхностных вод применяется орошение разными способами, развивается новое антропогенное направление почвообразования. Почвы, развивающиеся

в естественных условиях, переходят в антропогенно-измененное направление, создавая ареалы новой для этого периода категории пахотных почв (Мирзоев и др., 1978; Залибеков, 1979).

Возможности орошения определяют величину площадей антропогенно-измененных вариантов почв. Чем ниже обеспеченность территории водными ресурсами, тем меньше вовлекаются почвы аридных территорий в сферу освоения человеком (Власенко и др., 2019). Отсутствие водных ресурсов и низкая степень обеспеченности влагой способствуют сохранению почвенного покрова в состоянии геологического развития. Это означает, что аридные почвы засушливого климатического пояса, обладающие высокой потенциальной продуктивностью, вовлекаются в сферу использования отраслей сельского и лесного хозяйства в минимальных размерах, а разнообразие, ресурсы сохраняются в максимальной степени (Керимханов, 1965). Свидетельством этому являются минимальные площади освоенных сильнозасоленных, солонцеватых, эродированных почв в регионах Западного Прикаспия, Приаральской низменности, Центральной Азии, Монголии и в других регионах.

Влияние засоления, солонцеватости в условиях естественного развития почвенного покрова определяется стабильностью, основной причиной которой является отсутствие воздействия со стороны внешних факторов из-за высокого содержания токсичных солей. Такая защищенность сильнозасоленных почв и солончаков объясняется комплексом воздействующих факторов, где ведущим является острый недостаток атмосферных осадков.

В таких условиях формируются почвы с низким плодородием и со свойствами, близкими протекающим при литогенезе. Динамика естественного развития почв в рассматриваемых регионах обусловлена ветровой эрозией, засухой и аномально высокими суточными температурами (Меркушева и др., 2014). Степень их проявления и преобразовательные изменения очень разнообразны и протекают в геологическом отрезке времени – голоцене. Для интерпретации их влияния на дифференциацию почв, сформированных в разных типах, необходимы дополнительные исследования.

В направлении антропогенно-измененного почвообразования минерализация гумуса и уменьшение общей биомассы растений способствуют созданию фонового уровня функций, оказывая положительное влияние на сохранение сложившегося природного разнообразия почв. Устойчивое функционирование естественных природных вариантов низкопродуктивных почв на больших площадях, независимо от производственных показателей, выполняет защитную роль биосферных условий. Формируется разнообразие почв низкого плодородия, обеспечивающее комбинации, сочетания в почвенных свойствах во времени (сезонные, годовые, многолетние, вековые) и способствующие адаптации растительности. Кроме того, функциональная роль низкоплодородных почв (солончаков, солонцов, сильноэродированных почв разных типов) направлена на поддержание целостности, единства локального, регионального биогеохимического потока веществ. Следовательно, сохранение фонового разнообразия почв выступает в качестве неучтенного фактора показателей плодородия почв местного и регионального уровня.

В эволюции аридных почв природной стадии развития особое значение имеет естественная защищенность почв от внешних воздействий. Природным вариантам функционирующих почв на протяжении геологической эпохи свойственны показатели, принципиально отличающиеся от показателей почв, сформированных в антропогенной стадии развития. При определении признаков аридных почв современной стадии нужно отметить, что развитие почвенного покрова и его вариантов в целом протекает параллельно, при ведущей роли климатического фактора (Керимханов, 1965). Вместе с тем, антропогенное воздействие, как прогрессирующий фактор почвообразования, проявляется повсеместно, способствуя развитию признаков аридизации. Формирование генетических свойств почв первичной природной стадии начинается с переходом процессов литогенеза к начальному, основному этапу почвообразовательного процесса. Продолжается оно и в настоящее время.

Антропогенная стадия изменения берет начало со времени дифференциации от естественного направления в рамках воздействий, направленных на удовлетворение потребностей человека в биологической продукции. Время появления и продолжительность отдельных свойств трудно определить, но направление изменений и их влияние на морфологические, физико-химические, биологические свойства дают возможность охарактеризовать новые признаки. При этом можно

использовать метод сравнительной оценки признаков природной – первичной и антропогенной – вторичной стадии развития почвенного покрова. Поэтому выявление и оценка происходящих изменений в современных почвах имеет большое значение в сохранении их биосферных функций (Добровольский и др., 2009). Интерпретация собранного материала в нашей работе осуществлена на примере почв Западного Прикаспия, с привлечением результатов исследований, проведенных в Египте, Сирии, Иордании и других странах аридного климатического режима.

Общей особенностью эволюции стадий развития засоленных почв является прогрессирующее усиление процессов иссушения, аридизации и опустынивания на локальном и региональном уровнях (табл. 3).

**Таблица 3.** Природная и антропогенная стадии опустынивания засоленных почв дельты Терека и Терско-Кумской низменности.

Показатели стадий опустынивания				
№ п.п.	Природная – первичная		Антропогенная – вторичная	
	Устойчивость	Динамика	Устойчивость	Динамика
1	Типы накопления и содержания солей	Стабильная	Вторичное засоление, смена типов накопления солей	Нестабильная
2	Естественное морфологическое строение профиля	Стабильная, по видимым признакам профиля	Образование пахотного слоя 0-20 см	Стабильная условно
3	Низкий уровень обеспеченности элементами питания	Стабильная	Широкий диапазон степени обеспечения элементами питания	Стабильность годовая
4	Внутрипочвенное оглинивание	Стабильность климатическая	Прерываемая техническими приемами обработки почв	Нестабильная
5	Увеличение плотности сложения слоя 0-50 см	Стабильная, в зависимости от термического фактора	Неустойчивая система, создаваемая обработкой почвы	Стабильно увеличивается плотность пахотного слоя
6	Глыбистая структура слоя 20-40 см	Стабильная условно	Формирование плотного пахотного слоя 0-20 см	Стабильная условно
7	Типы естественной растительности	Стабильная	Монокультура севооборота с чередованием культур	Нестабильная
8	Видовое разнообразие растений	Стабильная, в рамках типового уровня естественной растительности	Монокультура севооборота с чередованием культур	Периодически сменяется
9	Рассолительные мелиорации	Отсутствует	Оросительные мелиорации	Стабильная условно

Выделенные стадии процессов опустынивания отличаются способностью выполнять биосферные функции, обладая разной степенью устойчивости. Для аридных условий наиболее важным является определение площадей и состояния сильнозасоленных почв и солончаков, формирующихся под галофитной растительностью. Засоленные почвы занимают более 5 млн. га земель в пределах западного и северо-западного регионов Прикаспийской низменности. Относительно эродированных почв следует отметить их распространение на породах, представленных легким гранулометрическим

составом. Поэтому приводимые в нашей работе данные относятся к засоленным почвам, где солончаковый процесс развивается с прогрессирующей скоростью. В морфологическом строении профиля засоленных почв (особенно в сильной степени) формируются существенные изменения в верхней полуметровой (0-50 см) толще профиля.

Природная – первичная стадия, развивающаяся в течение голоценовой эпохи, характеризуется радикальными изменениями в морфологических, химических, физических свойствах: окраске плотности сложения, структуре, содержании гумуса, питательных элементов и мощности генетических горизонтов. Изменения в показателях структуры отмечаются при резкой смене условий увлажнения и способов использования почв. Различия, формирующиеся в круговороте веществ, также связаны с климатическим потеплением и уменьшением атмосферных потоков, насыщенных влагой в результате падения уровня Каспийского моря. Основная роль в сохранении структуры в рассматриваемых почвах принадлежит растительному покрову. Растительность уплотняет почву, разделяет ее на отдельные участки, участвует в накоплении гумуса. В течение геологической истории Земли природная (первичная) стадия засоленных почв и солончаков испытывала увеличение плотности и сложения и ухудшение физико-технологических свойств почв. Несмотря на то, что основные факторы, необходимые для естественного почвообразования: состав породы, солнечная энергия, сумма активных температур, способствовали развитию почвенного покрова, создание плодородия, позволяющего выращивать сельскохозяйственные и лесные культуры, было исключено. Главная причина – высокая степень засоления почв и почвообразующей породы, участие токсичных солей в почвообразовании, содержание которых постепенно увеличивается под влиянием сухого, пустынного климатического режима. По мере развития почвообразовательного процесса и изменения свойств почв и формирования генетических горизонтов стабилизируется уровень низкого плодородия, и почва функционально переходит в категорию биосферных объектов с ограниченной долей использования природной энергии. Развитие почвенного покрова, включая первичную (природную) степень аридизации и опустынивания способствует увеличению вторичных минералов и постепенному накоплению глинистых частиц. Эти изменения приводят к формированию количественных различий в структуре сформированного и развивающегося типа почвообразования (Фридланд, 1965).

Роль растительного покрова в природной (первичной) стадии опустынивания определяется формированием биологического круговорота веществ со стабильным балансом величин энергии, создаваемых процессами минерализации и синтеза общей биомассы. Высвобождающиеся при минерализации элементы органического вещества становятся доступными для галофитов при высокой концентрации легкорастворимых солей: хлоридов, сульфатов, биокарбонатов натрия, калия и др. Определяющая роль в биологическом круговороте принадлежит галофитной растительности и ее лидирующей роли в условиях продолжающегося недостаточного увлажнения.

Естественная растительность первичной стадии опустынивания синтезирует биомассу с высокой зольностью и содержанием минеральных элементов – 70-80% от общей величины синтезируемой массы аридными экосистемами. Создаваемая биомасса растений и ее возврат в почву в виде отмерших остатков стабильно поддерживают режим засоления и экологическое равновесие. Функционирование сложившейся структуры и ее участие в почвообразовании с низкой продуктивностью растений осуществляется в течение всей голоценовой эпохи. Формирование солевых растворов и устойчивость запасов солей в толще активного солеобмена оказывало влияние не только в пределах отдельного массива, но и в региональном масштабе. Существенные изменения в солевом составе почв происходят в сезонном аспекте в зависимости от влияния метеорологических условий. Максимальное количество солей и их запасов в слое 0-50 см накапливается в летний период, когда в почвенном растворе преобладают хлориды, сернокислые соли натрия и калия (Добровольский и др., 1975; Стасюк, 2005).

Высокая температура летнего периода, достигающая 25-30°C, приводит к активизации миграционных процессов восходящего направления, сопровождаемая подтяжкой легкорастворимых солей за счет испарения грунтовых вод и подъемом из почвообразующей породы. Летний приток солей за счет испарения в Терско-Кумской низменности достигает 400-500 т на 1 га (Мирзоев, 1988). Большое значение в стабильном содержании солей и сохранении природных качеств имеет галофильная растительность, представленная солянковыми группировками. Важной особенностью



является также высокая зольность биомассы галофитов, достигающая до 40-45%. Высокая зольность и стабильное видовое разнообразие растительности с низкими кормовыми качествами выступают в качестве факторов охраны биосферных их показателей.

### Выводы

Развитие почвенного покрова в современных условиях протекает под влиянием природных и антропогенных факторов с дифференциацией стадий развития в геологических отрезках времени голоцена – целинные, в историческом аспекте – антропогенные, освоенные. Дифференциация стадий и динамическое развитие почвообразования обуславливают принципиальные различия в свойствах почв и характере их использования.

1. Механизм формирования стадийно различающихся направлений действием антропогенного фактора способствует сохранению в целинном состоянии значительной части ареалов используемых почв, солончаков, солонцов, имеющих низкое плодородие. Процессы засоления и солонцеватости почв проявляются здесь в качестве основных факторов защиты почв и их разнообразия.

2. Эволюция свойств сильнозасоленных почв, солончаков, солонцов в естественных условиях протекает стабильно и последовательно, накопление количественных изменений и переход их в качественные осуществляется на протяжении геологических отрезков времени. Возникает необходимость дифференциации признаков почв, развитие которых протекает в естественных условиях и в направлении антропогенного почвообразования, имеющего особое значение. Актуальность изучения закономерностей антропогенного почвообразования связана с выявлением содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере и гумусовом состоянии почв.

3. Физико-географические условия свойственные выявленным направлениям почвообразования, сохраняются в эволюционном развитии. Дефицит влаги, иссушение профиля и другие деградационные признаки остаются стабильными. Антропогенное направление получает развитие, при условии наличия ограниченных запасов поверхностных и подземных вод. Определенная часть почвенного покрова, при этом развивающаяся в голоценовой эпохе переходит в антропогенное направление, создавая разновидности, новые для этого периода, категорию освоенных пахотных почв.

4. Влияние токсичных солей в стадии естественного (целинного) состояния почв определяется стабильностью, основным фактором которой является отсутствие воздействия человека и возможности эффективного использования. Засоленные почвы на больших площадях в условиях пустынь и полупустынь защищены и функционируют в равновесном состоянии. Функционирование их свойств протекает в состоянии геологического развития, где динамика генетических свойств характеризуется показателями, близкими к процессам, протекающим в литогенезе.

5. Почвам природного направления развития на протяжении геологической эпохи голоцена свойственны показатели, существенно отличающиеся от разновидностей, развивающихся по параллельному направлению антропогенного почвообразования. Выявление и оценка происходящих изменений в отмеченных направлениях может быть достигнута при сравнительном анализе природной (первичной) и антропогенной (вторичной) стадии развития почвенного покрова, где общей особенностью их развития является прогрессирующее усиление процессов иссушения, аридизации и опустынивания.

*Финансирование.* Работа выполнена по теме Государственного задания № 122021800247-5 (FNMN-2022-0010) «Совершенствование адаптивно-ландшафтной системы земледелия на основе разработки новых ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур и агроэкологической оценки земель, совершенствование организационно-экономического механизма повышения эффективности сельскохозяйственного производства Республики Дагестан».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акаев Б.А. 1996. Геологическое строение Дагестана // Физическая география. М. С. 32-68.  
Акимцев В.В. 1959. Почвы Прикаспийской низменности Кавказа. Ростов-на-Дону. 282 с.  
Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.М.-Р. 1995. О современном состоянии почвенных ресурсов Дагестана и способах мелиоративного улучшения // Биологические проблемы и перспективы их изучения в регионах

- Прикаспийской низменности. Махачкала. С. 226-275.
- Вильямс В.Р. 1949. Степной период почвообразовательного процесса // Почвоведение. М.: С. 226-275.
- Виноградов Б.В., Сорокин А.Д., Федотов П.Б. 1995. Картографирование климатической аридности территории Калмыкии // Биота и природная Калмыкия. ТОО Коркис. С. 253-258.
- Власенко М.В., Кулик А.К., Салутин А.Н. 2019. Оценка эволюционного состояния и потерь продуктивности аридных пастбищных экосистем Сарпинской низменности // Аридные экосистемы. Т. 25. № 4. С. 71-81. [Vlasenko M.V., Kulik A.K., Salugin A.N. 2019. Evaluation of the Ecological Status and Loss of Productivity of Arid Pasture Ecosystems of the Sarpa Lowland // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 4. Pp. 273-281.]
- Ганиева С.А., Дюнамамаева Н.Я., Рамазанова Ф.М. 2019. Влияние выпаса на свойства почв в условиях сухих субтропических степей Азербайджана // Аридные экосистемы. Т. 25. № 3. С. 39-44. [Ganieva S.A., Dyunyamatlieva N.Ya., Ramazanova F.M. 2019. Grazing Effect on Soil Properties in Dry Subtropic Steppes of Azerbaijan // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 3. Pp. 174-178.]
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. 2001. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука. 261 с.
- Добровольский Г.В., Федоров К.Н., Стасюк Н.В. 1975. Геохимия, мелиорация и генезис почв дельты Терека. Изд. МГУ. 248 с.
- Залибеков З.Г. 1979. Анализ антропогенного использования почвенные ресурсы Дагестана // Почвоведение. № 5. С. 34-48.
- Залибеков З.Г. 2000. Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров. Прикаспийский институт биоресурсов ДФИЦ РАН. М.: 220 с.
- Залибеков З.Г. 2022. Почвы аридных регионов юга России в базовой классификации почв мира // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1. С. 42-52. [Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Biarslanov A.B., Kurbanismailova A.S. 2022. Soils of Arid Regions of Southern Russia in the Basic Classification of Soils of the World // Arid Ecosystems. Vol. 12. No. 1. Pp. 34-42.]
- Зонн С.В. 1978. Вопросы преобразования почв Дагестана в связи с интенсификацией их освоения // Биологическая продуктивность дельтовых экосистем. Махачкала. С. 68-74.
- Керимханов С.У. 1965. Эрозия почв в лесостепной полосе южного Дагестана // Почвоведение. № 5. С. 98-104.
- Ковда В.А. 1978. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука. 127 с.
- Кулик К.Н. 2001. Разработка субрегиональной национальной программы действий борьбы с опустыниванием для юго-востока Европейской части РФ // Биологическое и почвенное разнообразие аридных экосистем южных регионов России. Махачкала. Вып. I. С. 12-20.
- Меркушева М.Г., Аненхонов О.А., Базмаева Н.К., Сосорова С.Б. 2014. Степные сообщества на каштановых почвах Западного Забайкалья: разнообразие и биопродуктивность // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3. С. 59-69. [Merkusheva M.G., Anenkhnov O.A., Badmaeva N.K., Sosorova S.B. 2014. Steppe plant communities on the chestnut soils of Western Transbaikalia: Biological diversity and productivity // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 3. Pp. 178-186.]
- Мирзоев Э.М.-Р., Газиева Т.М. 1978. Мелиорация засоленных почв равнинной зоны Дагестана. Махачкала. Вып. II. С. 78-84.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Ахмедов. 2015. Этапы освоения и современное использование засушливых земель Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3. С. 84-91. [Sapanov M.K., Sizemskaya M.L., Akhmedenov K.M. 2015. Reclamation stages and modern use of arid lands in the northern Caspian region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. Pp. 188-193.]
- Стасюк Н.В. 2005. Динамика почвенного покрова дельты Терека. Махачкала. 194 с.
- Фридланд В.М. 1965. О структуре (строении) почвенного покрова // Почвоведение. № 4. С. 4-19.

УДК 631.4

**О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАЗВИТИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
ПОДГОРНО-ПРИМОРСКИХ РАВНИН ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ**

© 2022 г. М.Е. Котенко\*, Д.Б. Асгерова\*\*, У.М. Галимова\*\*\*

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

*\*\*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН  
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: asdi7408@mail.ru*

*\*\*\*Дагестанский государственный университет  
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Джержинского, д. 12  
E-mail: uma-71@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.04.2022. После доработки 01.07.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Подгорно-приморские равнины широко распространены в аридных регионах мира. Они формируются в прибрежной полосе, где горы близко подходят к морскому побережью. В отличие от других равнин они состоят из трех специфических элементов подгорной равнины: педимент, приморская равнина, или побережье, и континентальная часть региона. В этих компонентах ландшафта почвы и растительный покров существенно различаются, изменяя структуру почвенного покрова.

*Ключевые слова:* морское побережье, аридные почвы, педимент, опустынивание, миграция солей, засоление почв, индикатор.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-55-60**

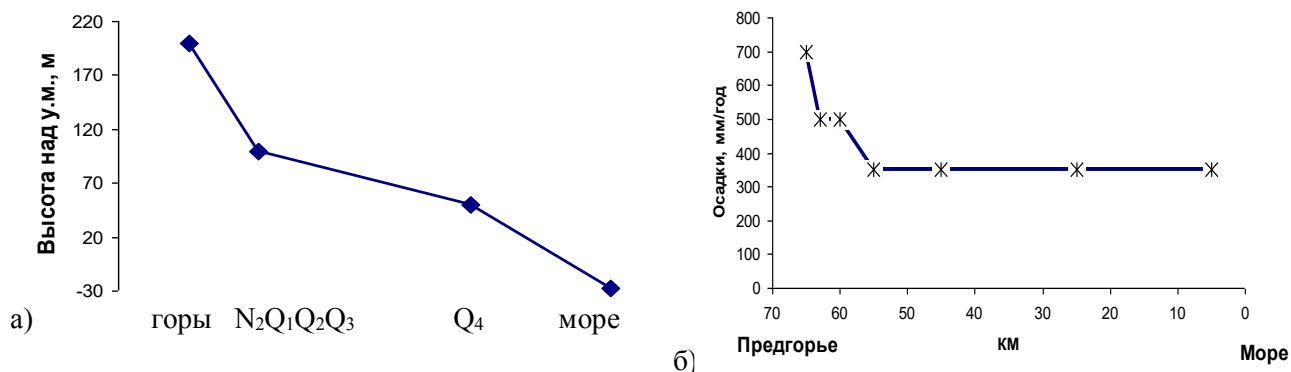
**EDN: XUWQOR**

Подгорная равнина представлена конусами выноса горных рек, временных потоков и осыпями фандов. Фанды, как наиболее устойчивые элементы горных склонов, зарастают лесом, кустарниками и скорее накапливают мелкозем и тонкие фракции.

Приморская равнина сложена морскими отложениями, они часто засолены и обладают разнообразием гранулометрического состава. Уникальность объекта исследований заключается в формировании почв аридного режима в условиях контакта с акваторией Каспия и постоянно движущихся с востока влажных атмосферных потоков. При формировании почв центральной части могут участвовать оба типа отложений – морские и континентальные, где формируются существенные различия в составе и структуре почвенного покрова.

По мере приближения к береговой линии происходит смена геологических отложений от более древних – плиоцена N – до современных четвертичных отложений Q<sub>4</sub>, которые представлены морскими наносами, в том числе песками. В результате меняется гранулометрический состав отложений – происходит их утяжеление. При продвижении от моря к горам засоленность уменьшается, как следствие увеличения степени дренированности, способствующей аридизации территории. Конусы выноса в подгорной равнине постоянно обновляются, как и отложения побережья. Климатическая неоднородность равнины проявляется с тенденцией нарастания засушливости, под воздействием сухого климатического режима в первую очередь. По распределению осадков (рис. 1) при увеличении расстояния от береговой линии их количество возрастает от 300 до 700 мм/год. В горах и предгорьях сумма годовых осадков заметно выше, чем на самой равнине, что приводит к формированию более благоприятного водного режима в предгорных почвах.

В зависимости от удаленности моря и увеличения высотных отметок изменяется распределение почв и их разнообразие. Наиболее контрастные почвы образуются внутри континентальной части региона там, где море относительно близко подходит к отрогам Кавказских гор. Максимальное разнообразие почв отмечается в переходной полосе, прилегающей к морской акватории.



**Рис. 1.** Генетические типы и возраст отложений и распределение осадков по геоморфологическому профилю море – горы. Условные обозначения: а – четвертичные отложения, Q<sub>4</sub> – современные, Q<sub>3</sub> – верхние, Q<sub>2</sub> – средние, Q<sub>1</sub> – нижние, N<sub>2</sub> – Плиоцен, б – распределение осадков в континентальной части равнины.

Каспийское море оказывает заметное влияние на отдельные факторы формирования вертикальной зональности почв предгорий Восточного Кавказа. Почвенные типы располагаются по высотным поясам не сплошной линией, а прерывисто, с формированием различных вариантов предгорной зональности: гумидно-предгорной и аридно-теневой (Залибеков и др., 1964; Баламирзоев, 1986). Такое различие почвенного покрова связано с нарастанием континентальности климата и уменьшением атмосферных осадков в направлении с юга на север.

Подгорно-приморские равнины Прикаспия относятся к аридным экосистемам, где проявляется влияние почвообразующих факторов и моря, грунтовых вод и горной системы. Море, влажный атмосферный поток, включая грунтовые воды, являются факторами, способствующими засолению почв равнины. Центральная часть подгорно-приморской равнины представляет собой экотонную зону, как по почвам, так и по растительным ассоциациям. Полынно-типчакково-петросимониевая ассоциация в сообществе с кермеком, костром и солянками приурочена к светло-каштановым солончаковым почвам. Полынно-разнотравные, ромашниково-полынно-разнотравные ассоциации распространены на каштановых слабосолонцеватых почвах. Ажреково-бескильницевые луга характерны для луговых солончаков приморской и центральной части региона, солянковы ассоциации – на типичных солончаках гидроморфного режима (Баламирзоев, 2008).

Прибрежная приморская равнина представлена маршами и песчаными дюнами с эфемерово-растительностью. Здесь широко распространены солончаки, засоленные луговые и лугово-болотные почвы (Баламирзоева, 2008). В центральной части равнины почвенный покров представлен каштановыми почвами.

Центральная равнина – это экотон грунтовых вод, подпираемых Каспийским морем, между предгорьем Восточного Кавказа и побережьем, где проявляется влияние дельтовой системы речных потоков с опресненной водой и засоление почв как результат аэрального засоления и влияния почвообразующих пород (Ильина, 1993).

### Результаты и их обсуждение

Отмечается закономерное изменение содержания солей во всех исследованных почвах подгорно-приморских равнин в направлении от моря к горам: от солончаков луговых, луговых типичных, лугово-каштановых до темно-каштановых почв. По высокому содержанию легкорастворимых солей выделяются только солончаки, плотный остаток которых может достигать до 20%. Перепады высот (20-30 см) оказывают влияние на перераспределение легкорастворимых солей в поверхностных горизонтах, где общее содержание солей достигает до 1.5% сухого остатка (табл.). Происходит постоянный подток солей из западин на микроповышения. Однако свойства твердой фазы почвы (гумус, поглощенные основания) не меняются по элементам микрорельефа. Это объясняется тем, что этим почвам свойственен общий тип водного режима, который определяет одинаковый тип почвообразования и отсутствие существенных различий в свойствах этих почв (Котенко, 2018).

Географическое распространение почв в регионе характеризуется сплошным сочетанием

процессов увлажнения атмосферными осадками, связанными с явлением предвосхождения, обуславливающего гумидно-предгорную зональность. Большое влияние оказывают почвообразующие породы, подверженные изменениям под влиянием высоты местности. Преобладающее значение в закономерном распространении почв имеет гумидно-предгорная зональность, охватывающая нижние предгорья и примыкающую континентальную часть региона. В качестве локальной закономерности развития почвенного покрова выступает смена почвенных процессов, происходящих в контакте с геологическими породами и морской акваторией (Залибеков и др., 2008).

Влияние Каспийского моря сказывается на степени увлажнения, засоления, а также на формировании гумусового слоя материка. Эти факторы – основные причины изменения почвенного покрова подгорно-приморской равнины, расположенной на стыке береговой полосы и предгорий. Основные типы почв и их показатели свидетельствуют об интразональном характере, обусловленном комплексным влиянием факторов для акватории Каспия, высотой местности и составом почвообразующих пород (Танзыбаев, 1993).

**Таблица.** Основные типы почв и их размещение по элементам подгорной равнины.

№	Типы почв	Высота местности, м	Водный режим	Удаленность от морской акватории, км	Глубина грунтовых вод, м	Уровень плодородия
1	каштановые карбонатные	200-300	непромывной	> 30	> 5	выше среднего
2	светло-каштановые солонцеватые	100-200	непромывной	10-30	> 3	средний
3	лугово-каштановые солончаковатые	0-100	периодически промывной	5-10	3-5	средний
4	луговые карбонатные	от -0-10	промывной	3-5	1-3	выше среднего
5	солончаки типичные	минус 10-20	выпотной	0-3	< 1-0	очень низкий
6	солончаки луговые	минус < 20	поверхностно-выпотной	0-3	< 1-0	низкий

Заметные изменения в рассматриваемых почвах наблюдаются в сезонных циклах динамики солей: зимне-весеннее опреснение верхних горизонтов почв, активное подтягивание солей из нижних горизонтов (на глубине 40-50 см) в верхние. В луговых солончаках идет вынос солей по профилю, в солончаке такой активный обмен происходит в поверхностном слое, в контакте с атмосферой. Тип и химизм засоления меняется: по мере движения от подгорных равнин, где тип засоления преимущественно сульфатный, в центральной части региона – смешанный (сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный), а в прибрежной – сульфатно-хлоридный.

В профиле почв центральной части формируются изменения, которые обуславливают смену сульфатно-хлоридного типа засоления на сульфатный, хлоридно-сульфатный.

Для осеннего периода луговых солончаковых почв характерно максимальное увеличение солей в корнеобитаемом слое почвы 0-20 см, где содержание токсичных солей достигает максимума – 4.8-5.5 мг/экв на 100 г для луговых солончаковых, до 30 мг/экв для солончаков типичных. Подтяжка солей из нижнего горизонта в поверхностные при незначительной роли нисходящих токов является одной из главных особенностей осеннего цикла миграции солей (рис. 2).

Для определения динамики и характера распределения солей в почвах равнины был использован метод удельного электрического сопротивления почв – УЭС (рис. 3). Высокое содержание солей заметно снижает электрическое сопротивление почв, что легко обнаруживается методом удельного электрического сопротивления солей

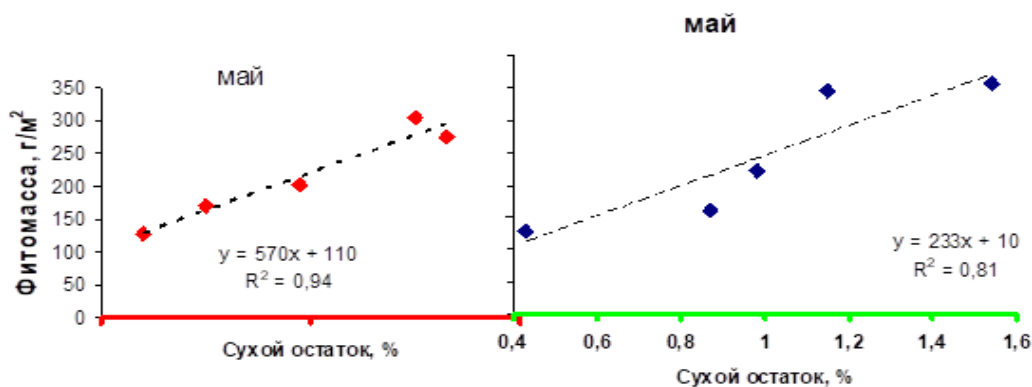


Рис. 2. Зависимость накопления фитомассы от содержания легкорастворимых солей в почвах.

Общая тенденция изменения свойств почвенного покрова изучаемой территории показывает уменьшение электрического сопротивления и возрастание содержания солей по направлению от подгорной части равнины к приморской (рис. 3).

Если в приморской равнине показатель УЭС около нуля, то в подгорной равнине отмечается очень большой разброс значений. Это объясняется большой пестротой почвообразующих пород в пределах педимента, а также различным уровнем атмосферного увлажнения почв (рис. 3). Почвы подгорной равнины промыты от легкорастворимых солей на большую глубину, где мощность бессолевого горизонта уменьшается по мере приближения к береговой линии.

Содержание солей (сухого остатка) в почвах подгорно-приморской равнины, соответственно, увеличивается по направлению от предгорий к морю (рис. 3), что также подтверждается данными УЭС.

Установлено, что качественный состав солей в почвах приморской и подгорной частей равнины различен: в солончаках приморской равнины тип засоления – сульфатно-натриевый, а в каштановых почвах подгорной части равнины – гидрокарбонатно-натриевый и кальциевый. В почвах центральной равнины, как экотонной зоны, тип засоления изменяется не только в зависимости от удаления от морского побережья, но и по профилю почвы в зависимости от глубины: в верхних гумусовых горизонтах тип засоления гидрокарбонатно-натриевый, а ниже 40 см – сульфатный (рис. 4).

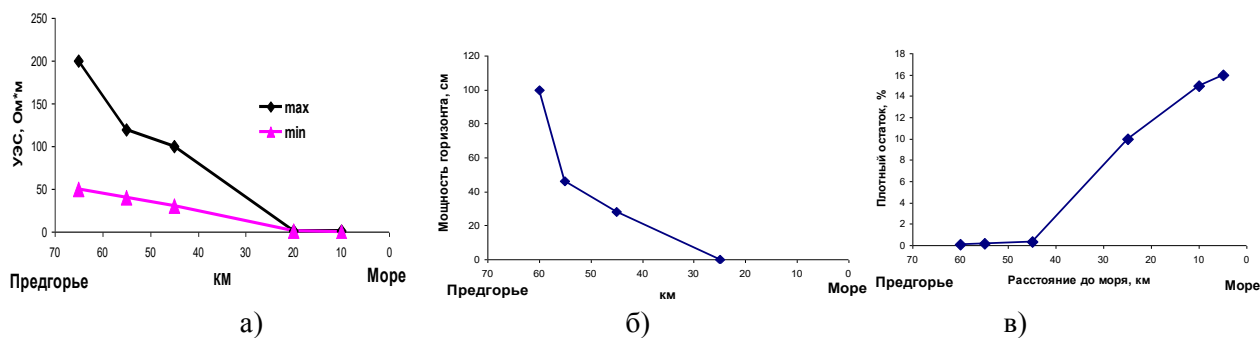
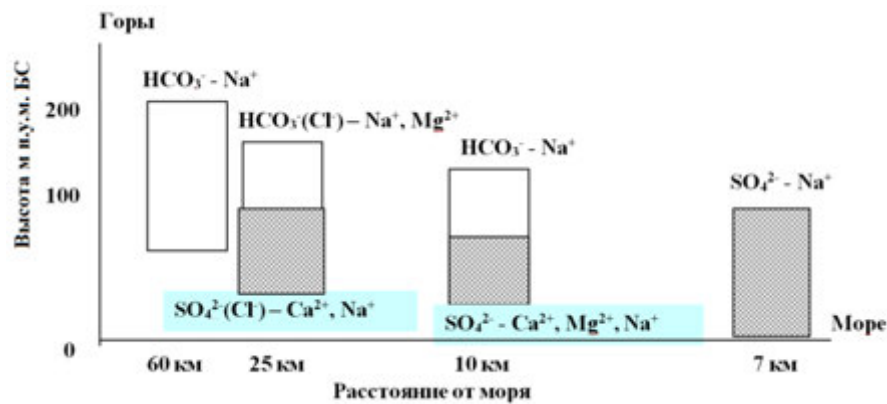


Рис. 3. Изменение удельного электрического сопротивления в верхних горизонтах почв по геоморфологическому профилю береговая полоса – предгорье (а), мощность почвенного бессолевого горизонта в профиле луговых почв в приморской части нижних предгорий (б) и изменение засоления в почвах по геоморфологическому профилю море-предгорье (в).

Сезонная миграция легкорастворимых солей в нисходящем направлении происходит наиболее активно в солончаке луговом. Динамика солей в почвах указывает на отсутствие естественного опустынивания на территории изучаемых равнин. В естественных условиях наблюдаются флуктуации в засолении почв, а признаки опустынивания проявляются в континентальной части региона.

Полученные данные показывают, что гумусовые вещества почв реагируют на внешние воздействия (вытаптывание) как целостная система: при снижении общего органического углерода

соотношение между фракциями ГК:ФК:НО сохраняется. Несмотря на снижение общего органического углерода в почве, гумус как целостная система, сохраняет свою структуру и качественный состав.



**Рис. 4.** Химический состав легкорастворимых солей в почвах подгорно-приморской равнины Дагестана.

Один из важных источников солей в приморских равнинах – поступление с моря при переносе ветром капельножидкой воды. Накопление солей в верхних горизонтах почв возможно также в результате поступления их из атмосферы. Перенос солей с ветром – это специфическая особенность приморских равнин. Он идет достаточно интенсивно и затрагивает все типы почв, распространенных в приморской полосе. Проявляется перенос в повышении содержания солей в верхних горизонтах, способствуя развитию процессов опустынивания. Почвы меняют водный режим и солевой профиль, состав солей и их распределение по профилю.

Для мониторинга засоления почв предложено использовать метод электротзондирования. Измерение удельного электрического сопротивления (УЭС) почв достоверно отмечает изменение содержания солей в разных слоях почвы, и его можно использовать для детального исследования территорий с разным содержанием солей. Удельное электрическое сопротивление  $R$  (УЭС) почвенного покрова и почвенных горизонтов определяли прибором «Автоматический измеритель электрических параметров почв и растений LANDMAPPER-03» и выражали в Ом·м (Поздняков и др., 1996, 2007). УЭС – индикатор содержания сухого остатка: более 4% УЭС (около 1-2 Ом·м) в незасоленных каштановых луговых почвах УЭС = 30-200 Ом·м. Рекомендуется использовать медианные значения УЭС как наиболее информативные. Для фитоценозов луговых почв выявлены следующие зависимости от свойств почв и условий их образования: обновление почвенных процессов, формирование профиля, горизонтов, формирование продуктивности.

Общая фитомасса лугов и пастбищ нарастает по мере удаления от берега Каспийского моря, максимальная продуктивность которых отмечена на лугах, расположенных на удалении в 40-60 км от морского берега (Залибеков, 1989).

Применение мультисубстратного тестирования позволило оценить состояние микробного сообщества в почвах как показателя оценки их разнообразия.

В луговых солончаках микробное сообщество чувствует себя угнетенным. Интегральный показатель витальности микробного сообщества в солончаках равен  $G = 0 - 5$ . В карбонатных луговых почвах, включая и лугово-каштановые, и слабосолонцеватые, витальность микробных сообществ исчисляется высокими единицами параметра  $G = 160 - 230$ . Это благоприятная среда в ряде исследуемых почв региона. Угнетенное состояние микробного сообщества выявлено в темно-каштановых и каштановых почвах, что связано с изменением влияния аридного климата и признаков опустынивания, где  $G = 30 - 80$ .

Аналогичная закономерность выявлена и для луговых фитоценозов: их общая продуктивность возрастает в незасоленных или слабозасоленных почвах (рис. 2).

Функциональное разнообразие микроорганизмов возрастает в ряде почв в следующей



последовательности: солончак луговой – луговая карбонатная тяжелосуглинистая почва – лугово-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая – слабосолонцеватая – темно-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая.

Концентрация солей – один из главных регуляторов микробиологической активности в почве. С удаленностью от берега количество солей в почве резко падает, улучшается «здоровье» микробиологических сообществ, достигая максимума в луговых почвах (35-50 км от моря). В предгорьях микробиологическая активность падает, что связано с иссушением почвенного профиля и дефицитом почвенной влаги.

### Выводы

Подгорно-приморские равнины – это ландшафт со специфическими условиями почвообразования, устойчивый к колебаниям климата и изменениям природной среды. Тем не менее, высокие антропогенные нагрузки на экосистемы приводят континентальную часть региона к деградации почв и аридизации ландшафтов. Это подтверждается тем, что опустынивание началось во второй половине XX в., в период наиболее интенсивного выпаса скота и освоения почв территории. Установлены закономерности изменения свойств почв и структуры почвенного покрова в подгорно-приморских равнинах Западного Прикаспия с высотой местности от 0 до 200 м над уровнем моря, установлены признаки плодородия освоенных земель и особенности их сельскохозяйственного использования.

Разработана общая схема строения биогеоценозов подгорно-приморских равнин Западного Прикаспия, образующихся в местах контакта континентальной части суши и морского побережья. Центральная равнина представляет собой специфический экотон между подгорной (возвышенной) частью и приморской. Для нее характерны разновидности почв с максимальной продуктивностью и почвенные микробные сообщества с самым высоким показателем разнообразия.

Обоснована концепция обратимости пастбищной дигрессии и опустынивания при интенсивном выпасе на территории регионов равнин Западного Прикаспия. Для оценки устойчивости и обратимости процессов деградации в аридных почвах с высокой пастбищной нагрузкой предложено использовать соотношение элементов фракционно-группового состава гумуса (ГК: ФК: НО), равного единице.

*Финансирование.* Работа выполнена по теме *Финансирование.* Работа выполнена в рамках Госзадания НИР №122032200273-6 «Мониторинг и прогноз динамики почвенного покрова и биопродуктивности ландшафтов Северо-Западного Прикаспия и дагестанской части Восточного Кавказа».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баламирзоев М.А.* 1986. Современное состояние почвенного покрова Дагестана и приемы повышения плодородия почв // Пути повышения плодородия почв Дагестана. Новочеркасск. С. 7-9.
- Баламирзоев М.А.* 2008. Почвы Дагестана // Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: Дагестанское книжное издательство. 336 с.
- Залибеков З.Г.* 1989. Пастбищная дигрессия и деградация засоленных почв дельты Терека // Почвоведение. № 9. С. 56-62.
- Залибеков З.Г.* 1964. Некоторые вопросы зональности почв Акташской подгорной равнины Дагестана // Известия ВГО АН СССР. Т. 96. С. 138-140.
- Залибеков З.Г., Баламирзоев М.А., Залибекова М.З., Биарсланов А.Д., Асгерова Д.Б.* 2008. О структуре вертикальной зональности почв Дагестана // Известия высших учебных заведений «Северо-Кавказский регион». Естественные науки. № 3. С. 96-100.
- Ильина Л.С.* 1993. Аэральный привнос минеральных веществ в лесные почвы Сихотэ-Алиня // Почвоведение. № 3. С. 5-14.
- Котенко М.Е.* 2018. Эколого-почвенные особенности биогеоценозов подгорно-приморских равнин Западного Прикаспия и их сельскохозяйственное использование. Дисс. докт. с/х наук: 03.02.13. 375с.
- Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д.* 1996. Стационарные электрические поля в почвах // М.: КМК Scientific Press Ltd., – 358 с.
- Поздняков А.И.* 2007. Электрические свойства почв. Теория и методы физики почв. Под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. // М.: «Гриф и К», – С. 426-463.
- Танзыбаев М.Г.* 1993. Почвы Хакасии. Новосибирск: Наука. 254 с.

УДК 631.4

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ СОЛОНЦОВОГО КОМПЛЕКСА (РЕСПУБЛИКА КАЛМЫКИЯ)**

© 2022 г. К.О. Прокопьева\*, \*\*

*\*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

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

*\*\*Почвенный институт им. В.В. Докучаева*

*Россия, 119017, Москва, Пыжжевский пер., д. 7, стр. 2.*

Поступила в редакцию 17.05.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Дистанционная оценка засоления почв природных солонцовых комплексов, которые характеризуются подповерхностным засолением почв, является сложной задачей. Тем не менее, исследования в этой области являются перспективными, так как засоление является ярким лимитирующим фактором, влияющим на произрастание растительности, и таким образом, оно влияет на спектральные характеристики растительности. В данной работе проведен анализ разновременных космических снимков высокого разрешения, который заключался в сопоставлении с детальными наземными данными по засоленности почв с использованием метода главных компонент и множественной линейной регрессии. В качестве данных дистанционного зондирования были использованы снимки с космических аппаратов QuickBird (2007 года) и SuperView-1 (2021 года) с пространственным разрешением 2 м. Наземные исследования проводились в 2011 и 2021 гг. Засоленность почв оценивалась по удельной электропроводности (ЕС) в водной суспензии 1:5. Выяснено, что за 10-летний период на ключевом участке не произошло значительных изменений в засолении почв, однако произошли изменения в состоянии растительности, которые отражены на картах вегетационного индекса NDVI. На основе разновременных космических снимков высокого разрешения были рассчитаны главные компоненты, и сделан вывод, что первые три компонента объясняют почти 97% всей вариабельности изображения. Модели, построенные с применением множественного линейного регрессионного анализа, хорошо описывают засоление почв ( $R^2$  модели равен 0.68, 0.77, 0.83 для слоев 0-30, 0-50, 0-100 см, соответственно). Построенные модели, основанные на дистанционных данных, при проверке на контрольной выборке показали хорошую сходимость ( $R^2$  между предсказанными и реальными значениями ЕС равен 0.70, 0.87, 0.83 для слоев 0-30, 0-50, 0-100 см, соответственно). Предложенные модели будут полезны для оценки засоления почв солонцового комплекса на юге степной зоны по данным космических снимков высокого разрешения.

*Ключевые слова:* QuickBird, SuperView-1, оценка засоленности почв, солонцовые комплексы, метод главных компонент (МГК), NDVI, Прикаспийская низменность.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-61-74**

**EDN: PTOYDP**

Засоление почв, как природное, так и вторичное, является одним из факторов, усиливающих процесс деградации земель. Оно создает крайне неблагоприятные условия для роста и развития большинства растений. Наибольшие площади распространения засоленных почв на территории России приурочены к Каспийской тектонической впадине (Научные основы ..., 2013). Площадь засоленных и засоленно-солонцовых почв в Республике Калмыкия составляет 6.2 млн. га или 83.3% (Панкова, Горохова, 2020).

В целом картографирование засоленности почвы затруднено из-за ее большой пространственной и временной изменчивости. Так, картографирование территорий с комплексным почвенным покровом с использованием традиционных методов осложнено из-за мелкой контурности почвенных

ареалов и контрастности почвенных свойств.

С появлением спутниковой съемки разрабатываются различные методики и подходы для дистанционного изучения засоленных почв. В целях дистанционной оценки засоления почв могут использоваться разные спутниковые данные. При использовании спутниковой информации для моделирования любого свойства в основе лежат связи между спектральной отражательной способностью почв в различных каналах и анализируемым свойством. Для моделирования засоления почв в исследованиях используют различные спектральные индексы: интенсивности, яркости, засоления, вегетационные индексы. Если поверхность засоленных почв закрыта растительностью, то часто наблюдают высокую корреляцию степени засоления почв с вегетационными индексами, так как такие индексы отражают состояние растительности: плохое в случае более высокого засоления, хорошее в случае низкого засоления (Панкова и др., 2017).

Дистанционная оценка засоления почв достаточно сложная задача, поэтому работы в данном направлении необходимы и важны. Знания о связи спектральных характеристик и засоления почв позволяют использовать космические снимки для картографирования и идентификации засоления.

В работе А. Abbas с соавторами (2013) представлен комплексный подход к характеристике засоления почв с использованием данных дистанционного зондирования в районе Фейсалабад, Пенджаб (Пакистан). Цифровые данные со спутника IRS-1B LISS-II были получены и проанализированы в сочетании с полевыми данными и топографическими картами. Для мониторинга характера распространения засоленных почв были разработаны индексы засоления и подобраны комбинации каналов. Засоленные почвы имели относительно более высокую отражательную способность по сравнению с другими видами землепользования. Корреляционный анализ между каналами съемки и наземными данными удельной электропроводности (ЕСе) и коэффициентом абсорбции натрия SAR показал, что первые три канала (синий, зеленый и красный, представленные как b1, b2, b3, соответственно) имеют хорошую взаимосвязь и подходят для представления информации о засолении почв. Инфракрасный диапазон b4 имел очень низкое значение коэффициента корреляции и не был включен в структуру индексов.

В работе Е. Asfaw с соавторами (2018) были рассчитаны различные спектральные индексы по исходным каналам изображения со спутника Landsat TM. Статистическая корреляция между полевыми измерениями удельной электропроводности (ЕСе) и спектральными показателями показала, что разработанный индекс засоления (SI), в котором используются каналы съемки b3 и b4, имеет самую высокую корреляцию с ЕСе.

В статье А. Allbed с соавторами (2014) утверждается, что наиболее информативными показателями для моделирования засоления почв в оазисе Эль-Хасса, Саудовская Аравия оказались индекс засоления (SI) и красный канал (b3) спутника IKONOS. Они имели самую высокую корреляцию с ЕС и дали лучшие результаты, чем отдельные каналы.

В работе М. Bouaziz с соавторами (2011) со спутниковых данных MODIS Terra на территорию северо-востока Бразилии были извлечены восемнадцать различных индексов и обнаружена умеренная корреляция между удельной электропроводностью и спектральными показателями. Для прогнозирования засоления почвы был проведен множественный линейный регрессионный анализ с индексом засоления SI2 и b4, который дал умеренный коэффициент множественного определения. В большинстве корреляций улучшение результата происходит после применения метода линейного спектрального разделения (LSU). Авторы предполагают, что комбинация спектральных индексов и полевых данных является эффективным способом создания крупномасштабной карты засоления почвы.

В статье А. Sidike с соавторами (2014) проведена оценка засоления почв округа Пинлуо, Китай, с помощью прогностической модели частичной регрессии наименьших квадратов (PLSR) с использованием данных QuickBird и спектров отражения почвы. Результат оценки модели показал, что точный прогноз засоления почвы может быть сделан на основе метода PLSR ( $R^2 = 0.992$ ,  $RMSE = 0.195$ ). Результаты также показали, что при использовании спектральных индексов, таких как интенсивность отражения в спектральных диапазонах (Int1, Int2), индексы засоления почвы (SI1, SI2, SI3), индекс яркости (BI), нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) и относительный коэффициент индекса растительности (RVI) в качестве независимых переменных модели могут помочь повысить точность картографирования засоления почв.

A. Allbed с соавторами (2018) определяли изменения засоленности почвы и растительного покрова в оазисе Эль-Хасса за последние 28 лет. Авторы использовали разновременные снимки Landsat за 1985, 2000 и 2013 годы для создания изображений нормализованного разностного индекса растительности (NDVI) и индекса засоленности почвы (SI). В результате была обнаружена сильная обратная зависимость между значениями NDVI и SI, что указывает на потенциально сильную связь между изменениями растительного покрова и засоления почв. Авторами были сделаны выводы, что спутниковые данные со средним разрешением и методы анализа, использованные в этом исследовании, имеют удовлетворительные результаты. Однако они могут быть улучшены за счет использования изображений с более высоким пространственным разрешением. Исследование показало полезность временных рядов для определения засоленности почвы и обнаружения изменения растительности.

Стоит отметить, что зачастую в публикациях не указано состояние поверхности, занята ли она растительностью, пашня ли это, или, например, после дождя или нет, хотя эта информация может оказывать существенное влияние на интерпретацию результатов.

На основе литературного обзора можно заключить, что поиск информативных показателей для оценки засоления почв является крайне актуальным, и в настоящее время превалирует комплексный подход в исследовании засоления почв, когда наземные данные комбинируют с данными дистанционного зондирования и используют различные методы компьютерной обработки полученных данных.

Данная работа посвящена разработке моделей, которые могут быть использованы для оценки засоления почв природного солонцового комплекса (Республика Калмыкия) с использованием разновременных космических снимков высокого разрешения (2 м) и методов главных компонент и множественной линейной регрессии.

### Материалы и методы

Исследования проводились на ключевом участке, располагающемся на целинной территории на правом берегу Волги в пределах Северной Сарпинской низменной равнины Прикаспийской низменности (Доскач, 1979), в Малодербетовском районе Калмыкии (в 11 км на юго-запад от пос. Ики-Манлан). Географические координаты расположения – 47.965°с.ш., 45.551°в.д., абсолютная высота – 8 м н.у.м. БС (рис. 1).



**Рис. 1.** Расположение района исследований на сайте Google.Earth и трансекты на снимке с КА SuperView-1 (3-канальное цветосинтезированное изображение в натуральных цветах RGB, дата съемки 07.08.2021); географические координаты начала трансекты (точка 1) – 47.96472 с.ш., 45.55139 в.д. и конца трансекты (точка 2) – 47.96524 с.ш., 45.55180 в.д.

В соответствии со Схемой почвенно-географического районирования СССР (Почвенно-географическое ..., 1962) район исследования относится к Прикаспийской провинции светло-каштановых и бурых почв, солонцовых комплексов, песчаных массивов и пятен солончаков. Комплексность почвенного покрова связана с микрорельефом и обуславливает перераспределение влаги на местности. Долевое участие солонцов в комплексах этой территории составляет 25-50% и

более (Хитров и др., 2009).

Растительность представлена сообществами с господством видов, характерных для солонцовых комплексов степной зоны. Деятельность сусликов является ландшафтообразующим фактором для данной территории: вокруг сусликовин формируется нечеткая поясность растительности.

Полевые работы выполнялись в сентябре 2010 года, мае и сентябре 2011 года и в июле 2021 года. В ходе полевых исследований 2010 года из центра одной округлой западины (микронизация) до центра другой была проложена трансекта длиной 64 м. На каждом метре трансекты бурились скважины глубиной 1-2 м и были отобраны образцы. Всего было заложено 64 скважины. Средневзвешенные значения были посчитаны для слоев 0-30, 0-50, 0-100 см. В 2011 году наблюдения были повторены. Координаты начала и конца трансекты регистрировались GPS-приемником.

Летом 2021 года на этой же трансекте через каждые 5 м бурили скважины глубиной до 70 см (кроме двух первых точек, где углублялись до 100 см). Всего было заложено 14 скважин.

В образцах из скважин в трехкратной повторности были проведены измерения удельной электропроводности ( $EC_{1:5}$ ) с помощью портативного кондуктометра Hanna HI98304 DiST 4. Измерение проводилось в водной суспензии 1: 5 после оседания твердого остатка. Химизм засоления устанавливался по составу ионов и их соотношению в водной вытяжке 1: 5.

На исследуемом участке было заложено два почвенных разреза, вскрывших солонец среднестолбчатый (координаты  $47.96513^\circ$  с.ш.,  $45.55174^\circ$  в.д.) и лугово-каштановую солонцеватую почву (координаты  $47.96472^\circ$  с.ш.,  $45.55139^\circ$  в.д.). Разрез на лугово-каштановой почве расположен в центре западины, от которой начинался профиль. Разрез на солонце был заложен примерно на 50-м метре трансекты. Из разрезов отбирались образцы по генетическим горизонтам для определения pH, содержания гумуса, карбонатов, гипса, состава водной вытяжки, обменных оснований.

Содержание гумуса определяли титриметрическим методом по И.В. Тюрину, содержание карбонатов – алкалометрическим методом по Ф.И. Козловскому (Хитров, Позновский, 1990). Содержание кальция и магния в водной вытяжке (1: 5) исследовали комплексометрическим титрованием (ГОСТ 26428-85, 1985), натрия и калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 26427-85, 1985), общую щелочность – титрованием серной кислотой по индикатору метиловому оранжевому (ГОСТ 26424-85, 1985), содержание хлорид-ионов – аргентометрическим методом по Мору (ГОСТ 26425-85, 1985), сульфат-ионов – по разнице. Общее количество сульфат-ионов для оценки содержания гипса определяли гравиметрическим методом согласно способу, предложенному Н.Б. Хитровым и А.А. Позновским (1990).

Точность привязки растров изображения и наземных данных достигалась за счет того, что трансекту проложили из центра одной округлой западины до центра другой, которые хорошо видны на космическом снимке QuickBird.

Для того чтобы оценить изменения засоления почв трансекты за 10 лет использовали программу STATISTICA. Сначала была проведена проверка выборок 0-30 см и 0-50 см за 2011 и 2021 годы на нормальное распределение с помощью тестов Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Вилка. Отклонение от нормального распределения считается существенным при значении  $p < 0.05$ ; в этом случае для соответствующих переменных следует применять непараметрические тесты. Далее сравнение двух независимых выборок проводилось с помощью непараметрического теста Манна и Уитни, при этом нулевая гипотеза гласит, что разницы между группами нет.

Для наглядной иллюстрации распределения засоления на трансекте составлялся профиль засоления почвы на измеренную глубину до 2 метров на основе метода обратных взвешенных расстояний в программе ArcMap по данным 2011 гг.

В исследовании использовали космические снимки с пространственным разрешением мультиспектральной спутниковой съемки QuickBird 2.44 м в надир (дата съемки 21.08.2007) и SuperView-1 с пространственным разрешением 2 м (дата съемки 07.08.2021), отснятые в 4 каналах (синем, зеленом, красном и инфракрасном). Детальный снимок 2007 года съемки был наиболее близким из имеющихся в архивах по сроку ко времени проведения полевых работ 2010-2011 годов. Во время съемки поверхность была занята целинной растительностью. Для обоих снимков был рассчитан нормализованный относительный индекс растительности NDVI. Подробная информация о каналах приведена в таблице 1.

В программе QGIS была осуществлена корректировка пространственной привязки растров по

пяти контрольным точкам (с невязкой не более 3-5 пикселей) с применением модуля географической привязки данных (Georeferencer GDAL).

**Таблица 1.** Характеристики используемых изображений.

Спутник	Канал	Спектральный диапазон (мкм)
QuickBird (США)	Синий b1	0.45-0.52
	Зеленый b2	0.52-0.60
	Красный b3	0.63-0.69
	Ближний ИК b4	0.76-0.90
SuperView-1 (Китай)	Синий b1	0.45-0.52
	Зеленый b2	0.52-0.59
	Красный b3	0.63-0.69
	Ближний ИК b4	0.77-0.89

Анализ разновременных снимков высокого разрешения проводили в программе SAGA GIS с применением модуля Resampling методом B-spline и модуля Principal Component Analysis (PCA) методом, основанным на матрице ковариаций. Перед тем, как провести анализ PCA вокруг трансекты вырезали векторный слой с применением процедуры Clip Grid with Polygon.

Операция Resampling проводилась с целью изменения размера сетки данных для наложения разновременных снимков пиксель в пиксель. Модуль PCA позволяет работать с разновременными снимками и выделить главные компоненты для дальнейшего сопоставления с данными по засолению.

Метод главных компонент является одним из основных методов компьютерной обработки данных дистанционного зондирования. Преобразования спектральных каналов применяют, чтобы извлечь из значений яркости численные данные, дающие наиболее подходящую для изучения конкретного объекта информацию, другими словами – подчеркнуть необходимую и удалить лишнюю информацию. Преобразование методом главных компонент позволяет выделить среди значений отражения в разных спектральных каналах наиболее значимые, уменьшить число анализируемых каналов практически без потери информации. В первой компоненте при этом максимально подчеркнут спектральный контраст, а вторая отражает границы смены контраста (Лурье, 2010; Шовенгердт, 2010).

Количественные значения гридов в определенных точках трансекты были извлечены с применением процедуры Add Grid Values to Points. Математический анализ связи между главными компонентами и засоленностью почв проводился с помощью множественной линейной регрессии в программе STATISTICA, а также с использованием коэффициента детерминации ( $R^2$ ), средней квадратической ошибки (MSE), среднеквадратической ошибки (RMSE) и проведением линии регрессии.

С целью проверки на независимых данных, которые не были использованы для обучения (контрольная выборка,  $n = 14$ ), были подобраны аппроксимирующие модели для разных слоев почвы и на основе уравнений регрессии вычислены предсказанные значения засоленности, построены линейные графики зависимости реальных значений от предсказанных, и посчитаны  $R^2$ , MSE, RMSE предсказания моделей.

### Результаты и обсуждение

*Общая характеристика почв трансекты.* На трансекте были встречены следующие почвы: лугово-каштановые (Кл), светло-каштановые несолонцеватые (К1), светло-каштановые солонцеватые (К1сн), солонцы корковые (СН0 – надсолонцовый горизонт – 0-5 см), солонцы мелкие (СН1 – надсолонцовый 5-10 см), солонцы средние (СН2 – надсолонцовый 10-15 см), солонцы глубокие (СН3 надсолонцовый >15 см). Наиболее широко распространены светло-каштановые солонцеватые почвы, солонцы мелкие и светлокаштановые несолонцеватые почвы.

Химические свойства солонца и лугово-каштановой почвы, вскрытых на трансекте,

представлены на графиках (рис. 2).

Содержание гумуса в солонце составляет 1.4% в горизонте А и 1.6% в горизонте В1, глубже 30 см оно не превышает 1%. Гумусовый профиль лугово-каштановой почвы растянутый: в горизонте А' составляет 2.7%, в горизонте А'' – 1.9%, глубже (30-60 см) – 1.3-1.2% (рис. 2а).

Значения рН водной вытяжки (1: 5) в почвах в целом слабощелочные, кроме поверхностных горизонтов солонца (0-12 см) и лугово-каштановой почвы (0-30 см), где значения рН нейтральные. Повышенная щелочность отмечается в солонцовом горизонте солонца на глубине 12-45 см (рис. 2б).

Вскипание от HCl в солонце начинается с 45 см, в лугово-каштановой почве – с 60 см, т.е. почвы промыты от карбонатов на большую глубину. В солонце максимальное значение карбонатов 7.8% наблюдается в аккумулятивно-карбонатном горизонте на глубине 60-80 см (рис. 2д).

В солонце засоление начинается уже в солонцовом горизонте с 12 см. В этом горизонте содержание солей 0.25% (средняя степень засоления), состав хлоридно-натриевый. Глубже засоление сильное (0.5-0.8% солей), хлоридно-натриевое и сульфатно-хлоридно-натриевое. Только в одном горизонте (горизонте максимального скопления гипса) на глубине 60-80 см засоление хлоридно-сульфатное магниевое-кальциево-натриевое. Сумма солей здесь возрастает до 1.4% (сильная степень засоления), токсичных солей до 0.9%. В лугово-каштановой почве наблюдается остаточное очень слабое засоление до глубины два метра, глубже 2.5 метров засоление среднее хлоридного химизма (рис. 2в-2ж).

Доля обменного натрия в солонцовом горизонте солонца составляет 20%, в подсолонцовом она возрастает до 28%. В лугово-каштановой почве, в которой отмечается морфологическая солонцеватость, содержание обменного натрия в горизонте В ничтожное – 0.2%.

В изученных почвах гипс практически отсутствует, он есть в небольшом количестве (около 1%) только в горизонте Сса (57-90 см) солонца и полностью отсутствует в лугово-каштановой почве.

*Профиль засоления почв.* Удельная электропроводность – показатель, коррелирующий со свойствами почвы, оказывающими влияние на произрастание растений. На основании значений удельной электропроводности был построен профиль засоления почв, представленный на рисунке 3.

По глубине расположения верхней кровли засоленного горизонта различают солончаковые (если граница расположена в пределах верхних 30 см), солончаковатые (30-100 см), глубокосолончаковатые (100-150 см), глубокозасоленные (150-200 см) почвы (Панкова и др., 2006). На рассматриваемой трансекте встречаются все перечисленные варианты. На рисунке 3 также хорошо видна особенность пространственного распределения солей в почве: их концентрация увеличивается с глубиной; в начале и конце трансекты (в западинах) почвы промыты от солей (не засолены) на глубину более 190 см (до 250 см). В центральной части засоление начинается ближе к поверхности.

В соответствии с критериями (Abrol et al., 1988) для засоленных почв суглинистого гранулометрического состава выделяются следующие градации засоления: незасоленные (0) – показания удельной электропроводности менее 0.25 дСм/м, слабозасоленные (1) – 0.25-0.5 дСм/м, средnezасоленные (2) – 0.5-1.0 дСм/м, сильнозасоленные (3) – 1-2 дСм/м, очень сильнозасоленные (4) – более 2 дСм/м. На данной трансекте наблюдаются все градации засоления от незасоленных до очень сильнозасоленных почв.

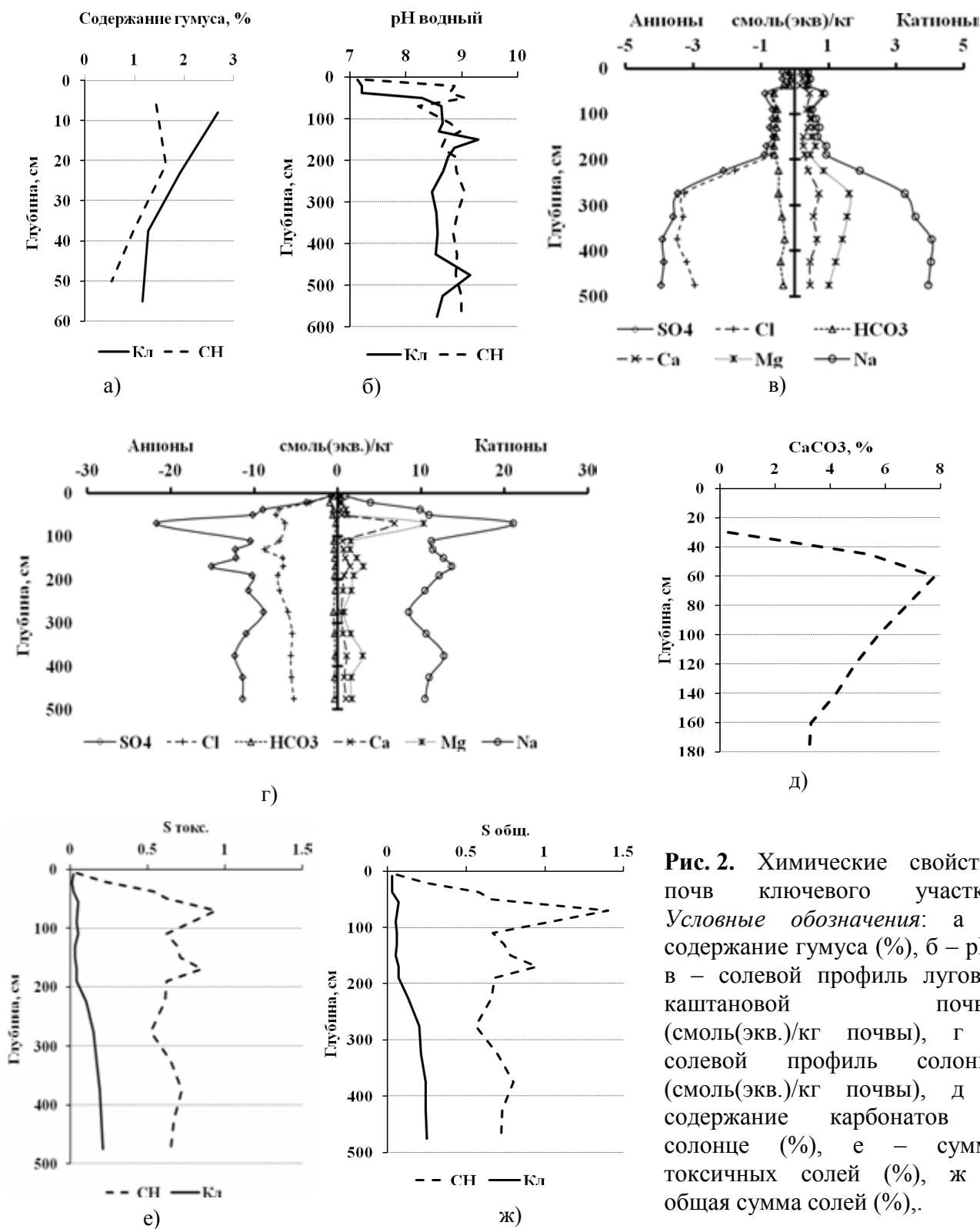
*Изменение засоления почв за 10 лет.* Измерения засоления в слоях 0-30 см и 0-50 см за 2011 и 2021 гг. приведены в таблице 2.

Проверка на нормальность согласно критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Вилка показала, что значения переменной не подчиняются нормальному распределению ( $p < 0.05$ ). По результатам непараметрического теста Манна-Уитни получилось (табл. 3), что разница показателей засоления почв в слое 0-30 см и в слое 0-50 см между 2011 и в 2021 гг. не является статистически значимой ( $p = 0.09$  и  $p = 0.11$  соответственно).

Таким образом, нулевая гипотеза оказалась верной, различий между группами нет с уровнем значимости 0.05. Существенных изменений за 10 лет в засолении почв трансекты не произошло.

*Вегетационный индекс NDVI.* Разновременная динамика растительности отображена на картах NDVI, рассчитанных на основе космических снимков высокого разрешения QuickBird и SuperView-1 (рис. 4). Значения NDVI в летний сезон, рассчитанные по снимку QuickBird, варьируют от 0.092 до 0.120 (рис. 4а), в то время как значения вегетационного индекса, снятые со снимка SuperView-1, в

этот же сезон выше и варьируют от 0.160 до 0.232 (рис. 4б). Чем выше значения индекса NDVI, тем лучше развиты растения и имеют наибольшую фитомассу в период вегетации.

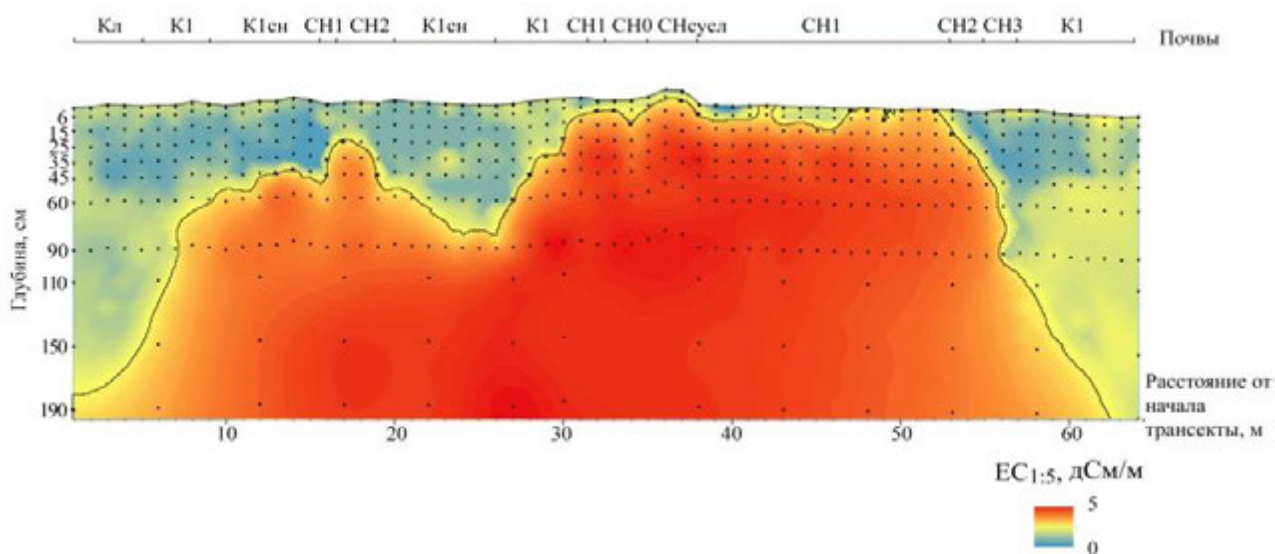


**Рис. 2.** Химические свойства почв ключевого участка. Условные обозначения: а – содержание гумуса (%), б – рН, в – солевой профиль лугово-каштановой почвы (смоль(экв.)/кг почвы), г – солевой профиль солонца (смоль(экв.)/кг почвы), д – содержание карбонатов в солонце (%), е – сумма токсичных солей (%), ж – общая сумма солей (%).

Многолетняя динамика NDVI в большей степени определяется метеорологическими условиями года и в меньшей степени – величиной антропогенных нагрузок (Шинкаренко, 2015). Низкие



значения NDVI в августе 2007 года по сравнению с августом 2021 года связаны с относительно более засушливым летом 2007 года. По данным метеостанции в Яшкуле (Шумова, 2021), где ход климатических параметров коррелирует с ходом данных в Малых Дербетах, в 2007 году за летний период здесь выпало намного меньше осадков по сравнению с 2021 годом. 2021 год можно охарактеризовать как год повышенной увлажненности (Новикова и др., 2022). За лето 2007 года количество выпавших осадков составило всего 9.5 мм и было всего 5 дней с осадками, в то время как за лето 2021 года выпало 137 мм и было 19 дней с осадками. Средняя температура воздуха летнего периода практически не отличалась (в 2007 году +26.7°C, в 2021 году +27.5°C). Если рассматривать вегетационный период (с апреля по октябрь), то в 2007 году сумма осадков составила всего 43 мм, в 2021 году – 234 мм при средней температуре воздуха в 2007 и 2021 гг. +20.1°C. То есть на низкие значения вегетационного индекса в 2007 году повлиял дефицит почвенной влаги. В жаркие засушливые периоды NDVI снижается из-за уменьшения продуктивности фитоценозов и поглощенного растительностью излучения в красной области спектра (Лобанов и др., 2014).



**Рис. 3.** Профиль засоления почвы вдоль 64-метровой трансекты (удельная электропроводность в водной суспензии 1:5). Условные обозначения почв приведены в тексте. Точки показывают расположение образцов почвы (среднее значение глубины взятия пробы). Линия очерчивает границу между засоленным и незасоленным слоем ( $EC_{1:5} = 0.25$  дСм/м).

Рассматривая непосредственно участок, который пересекает трансекта, на карте NDVI, рассчитанного по снимку QuickBird, отчетливо выделяется растительность западин в начале и конце трансекты, где наблюдаются высокие значения NDVI – около 0.120. На карте NDVI со снимка SuperView-1 выделяется растительность середины и конца трансекты, и эти изменения стоит учитывать при анализе (рис. 4). Метод главных компонент позволяет выделить стабильную и динамичную части на разновременных космических снимках, тем самым учитывая разновременную динамику растительного покрова.

*Метод главных компонент и многомерная регрессия.* Метод главных компонент требует построения ковариационной матрицы для определения величины и направления точек данных, и используют собственные значения и собственные векторы.

Собственные значения – это доля от общей дисперсии, соответствующая каждой из компонент. В таблице 4 для каждого собственного значения также представлен процент объясненной дисперсии, кумулятивное собственное значение и кумулятивный процент объясненной дисперсии. Собственные значения представлены в порядке убывания, отражая тем самым степень важности компонент для объяснения вариации исходных данных. Первые два собственных значения больше или близки единице и они объясняют почти 91% общей дисперсии. Первые три собственных значения объясняют почти 97% всей вариабельности.

**Таблица 2.** Данные по удельной электропроводности (дСм/м) в слое 0-30 и 0-50 см за 2011 и 2021 гг.

Слой почвы	ЕС <sub>1:5</sub> (дСм/м)	Степень засоления	ЕС <sub>1:5</sub> (дСм/м)	Степень засоления
	2011 год		2021 год	
0-30 см	0.11	0	0.24	0
	0.09	0	0.22	0
	0.09	0	0.24	0
	0.10	0	0.22	0
	0.06	0	0.22	0
	0.09	0	0.24	0
	0.59	2	0.20	0
	0.51	2	0.30	1
	1.12	3	0.80	2
	0.86	2	0.65	2
	0.63	2	0.71	2
	0.10	0	0.29	1
	0.11	0	0.23	0
	0.11	0	0.24	0
0-50 см	0.09	0	0.24	0
	0.08	0	0.24	0
	0.08	0	0.24	0
	0.14	0	0.24	0
	0.07	0	0.38	1
	0.09	0	0.23	0
	1.33	3	0.21	0
	1.58	3	0.89	2
	1.98	3	1.69	3
	1.73	3	1.42	3
	1.76	3	1.80	3
	0.10	0	0.41	1
	0.12	0	0.25	1
	0.13	0	0.24	0

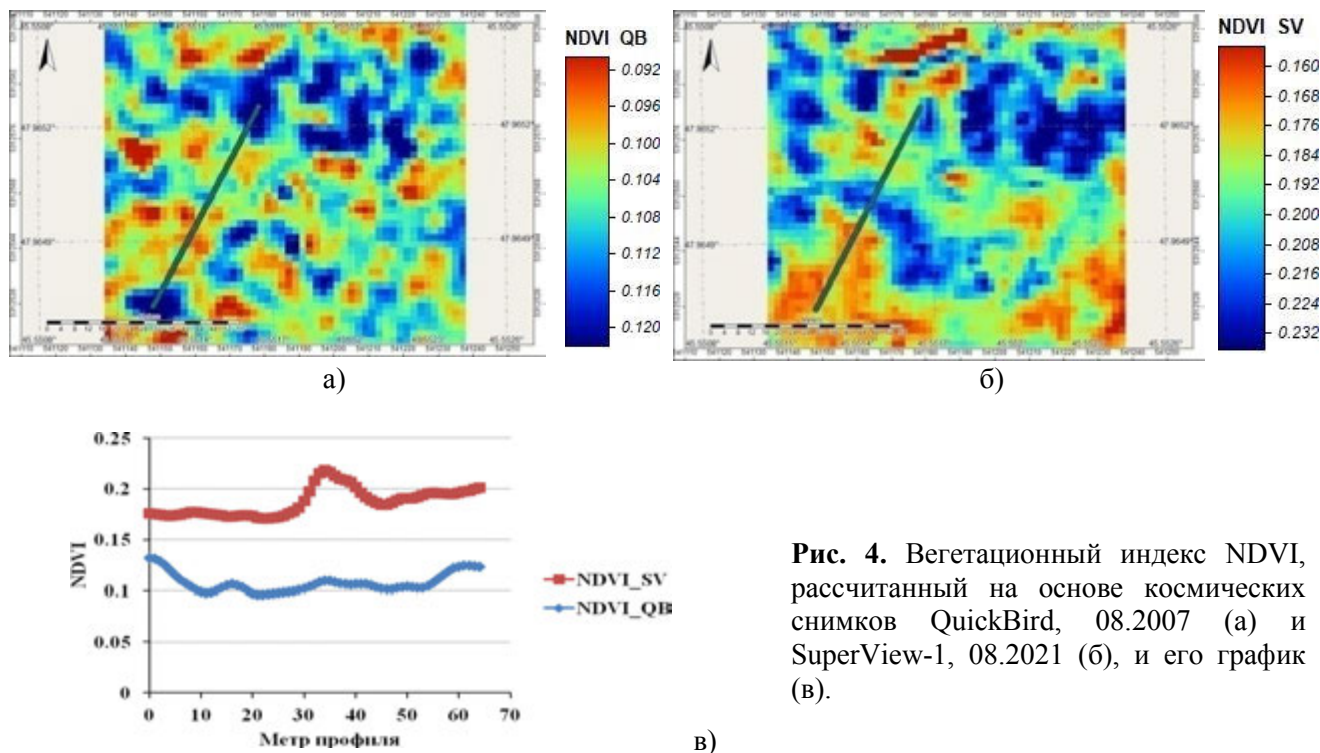
**Таблица 3.** Результаты U-теста по методу Манна и Уитни.

Переменная	Rank Sum Group 1	Rank Sum Group 2	U	Z	p-level	Z-adjusted	p-level <sub>2</sub>	Valid N Group 1	Valid N Group 2	2*1 sided exact p
0-30 см	240	166	61	1.70	0.09	1.70	0.09	14	14	0.09
0-50 см	238	168	63	1.61	0.11	1.61	0.11	14	14	0.11

**Примечания к таблице 3:** Rank Sum Group 1 – сумма рангов выборки группы 1, Rank Sum Group 2 – сумма рангов выборки группы 2, U – статистика Манна-Уитни для малых выборок, Z – нормальная аппроксимация статистики Манна-Уитни для больших выборок, p-level – вероятность принятия гипотезы  $H_0$ , Z-adjusted – скорректированная нормальная аппроксимация статистики Манна-Уитни; p-level<sub>2</sub> – скорректированная вероятность принятия гипотезы  $H_0$ , 2\*1 sided exact p – здесь вероятность p равна 1 минус кумулятивная односторонняя вероятность соответствующей статистики Манна-Уитни.

Полученные компоненты были использованы в множественном линейном регрессионном

анализе для построения моделей предсказания засоления почв. Результаты анализа данных показывают, что во всех трех слоях почвы между определенными компонентами и засоленностью присутствуют связи, так как коэффициенты регрессии (B) и в целом множественные коэффициенты корреляции (r) значимы ( $p \leq 0.05$ ; табл. 5).



**Рис. 4.** Вегетационный индекс NDVI, рассчитанный на основе космических снимков QuickBird, 08.2007 (а) и SuperView-1, 08.2021 (б), и его график (в).

**Таблица 4.** Собственные значения матрицы корреляции.

Номер значения	Собственное значение	% общей дисперсии	Кумулятивное собственное значение	Кумулятивный %
1	4.76	59.44	4.76	59.44
2	2.52	31.50	7.28	90.94
3	0.47	5.82	7.74	96.77
4	0.11	1.34	7.85	98.11
5	0.06	0.74	7.91	98.84
6	0.04	0.54	7.95	99.38
7	0.03	0.35	7.98	99.73
8	0.02	0.28	8.00	100.00

Множественный коэффициент корреляции определяет степень тесноты связи результирующего признака со всем набором независимых признаков. Для показателя удельной электропроводности для всех трех глубин он достаточно высокий: множественный  $r = 0.82$  для слоя 0-30 см, множественный  $r = 0.88$  для слоя 0-50 см, множест.  $r = 0.91$  для слоя 0-100 см.

Значение  $R^2$  наиболее близкое к единице у ЕС в слое 0-100 см ( $R^2 = 0.83$ ), и показывает, что с помощью данной модели объясняется почти вся изменчивость. Модель хорошо описывает данные.

В таблице 5 также приведены результаты дисперсионного анализа для проверки гипотезы об адекватности модели ( $p < 0.00$ ).

По значениям стандартизованных коэффициентов регрессии (БЕТА) можно сравнивать вклады независимых переменных в переменную засоленности. Из таблицы видно, что наибольший вклад в

ЕС в слое 0-30 см и 0-50 см вносят компоненты 2, 4 и 1; в ЕС в слое 0-100 см – 4, 1, 2 и 3 компоненты (даны в порядке убывания значимости). Перечисленные коэффициенты регрессии являются значимыми ( $p \leq 0.05$ ).

**Таблица 5.** Результаты множественной линейной регрессии для компонент и засоленности в разных слоях почвы.

ЕС 0-30 см <i>n</i> = 64	Множественный $r = 0.82$ , $R^2 = 0.68$ , скоррект. $R^2 = 0.64$ , $MSE = 0.07$ , $RMSE = 0.26$ , $F(7.56) = 16.64$ , $p < 0.00$ , стандартная ошибка оценки – 0.28					
	БЕТА	Стд. ош. БЕТА	В	Стд. ош. В	t(14)	p-уров.
$\alpha$			-12.16	9.81	-1.24	0.22
<b>Component 1</b>	<b>-0.32</b>	0.13	<b>-0.01</b>	0.00	-2.50	<b>0.02</b>
<b>Component 2</b>	<b>0.68</b>	0.14	<b>0.02</b>	0.00	5.03	<b>0.00</b>
Component 3	-0.10	0.13	-0.01	0.01	-0.78	0.44
<b>Component 4</b>	<b>0.37</b>	0.13	<b>0.03</b>	0.01	2.79	<b>0.01</b>
Component 5	0.14	0.11	0.02	0.01	1.23	0.22
Component 6	-0.15	0.14	-0.06	0.05	-1.09	0.28
Component 7	0.13	0.12	0.04	0.03	1.07	0.29
ЕС 0-50 см <i>n</i> = 64	Множественный $r = 0.88$ , $R^2 = 0.77$ , скоррект. $R^2 = 0.74$ , $MSE = 0.00$ , $RMSE = 0.02$ , $F(7.56) = 26.66$ , $p < 0.00$ , стандартная ошибка оценки – 0.40					
$\alpha$			-2.80	14.18	-0.20	0.84
<b>Component 1</b>	<b>-0.35</b>	0.11	<b>-0.01</b>	0.00	-3.25	<b>0.00</b>
<b>Component 2</b>	<b>0.55</b>	0.11	<b>0.03</b>	0.01	4.84	<b>0.00</b>
Component 3	-0.21	0.11	-0.02	0.01	-1.89	0.06
<b>Component 4</b>	<b>0.48</b>	0.11	<b>0.07</b>	0.02	4.22	<b>0.00</b>
Component 5	0.01	0.09	0.00	0.02	0.07	0.95
Component 6	-0.05	0.12	-0.03	0.08	-0.43	0.67
Component 7	0.02	0.10	0.01	0.05	0.19	0.85
ЕС 0-100 см <i>n</i> = 64	Множественный $r = 0.91$ , $R^2 = 0.83$ , скоррект. $R^2 = 0.81$ , $MSE = 0.00$ , $RMSE = 0.03$ , $F(7.56) = 40.05$ , $p < 0.00$ , стандартная ошибка оценки – 0.45					
$\alpha$			-3.34	15.87	-0.21	0.83
<b>Component 1</b>	<b>-0.47</b>	0.09	<b>-0.02</b>	0.01	-5.05	<b>0.00</b>
<b>Component 2</b>	<b>0.34</b>	0.10	<b>0.02</b>	0.01	3.5	<b>0.00</b>
<b>Component 3</b>	<b>-0.34</b>	0.10	<b>-0.04</b>	0.01	-3.73	<b>0.00</b>
<b>Component 4</b>	<b>0.55</b>	0.10	<b>0.11</b>	0.02	5.72	<b>0.00</b>
Component 5	-0.02	0.08	-0.01	0.02	-0.26	0.79
Component 6	-0.03	0.10	-0.03	0.08	-0.29	0.77
Component 7	-0.08	0.09	-0.05	0.06	-0.89	0.38

**Примечания к таблице 5:** полужирный шрифт – значимые переменные и коэффициенты регрессии при  $p < 0.05$ ,  $\alpha$  – свободный член уравнения регрессии.

По определению, метод главных компонент помещает максимум возможной информации в первый датасет (компоненту), затем максимум оставшейся информации во второй и так далее. В нашей работе это подтверждается, и наиболее информативными являются 1, 2, 3 и 4 компоненты.

В ходе расчетов получилось, что среднеквадратическая ошибка предсказания (RMSE) для засоления в слое 0-30 см составляет 0.26; для засоления в слое 0-50 см она самая низкая и составляет 0.02; для засоления в слое 0-100 см – 0.03. Во всех трех случаях MSE практически равна нулю.

В многомерном анализе были подобраны аппроксимирующие модели для разных слоев почвы.

В слое 0-30 см:

$$ЕС = -12.1562 - 0.0071 \cdot g_1 + 0.0185 \cdot g_2 - 0.0053 \cdot g_3 + 0.0340 \cdot g_4 + 0.0171 \cdot g_5 - 0.0564 \cdot g_6 + 0.0368 \cdot g_7;$$

в слое 0-50 см:

$$ЕС = -2.79553 - 0.01338 \cdot g_1 + 0.02568 \cdot g_2 - 0.01841 \cdot g_3 + 0.07428 \cdot g_4 + 0.00131 \cdot g_5 - 0.03214 \cdot g_6 + 0.00937 \cdot g_7;$$

в слое 0-100 см:

$$ЕС = -3.33529 - 0.02327 \cdot g_1 + 0.02080 \cdot g_2 - 0.04066 \cdot g_3 + 0.11265 \cdot g_4 - 0.00594 \cdot g_5 - 0.02470 \cdot g_6 - 0.04929 \cdot g_7,$$

где  $g$  – растр (grid) соответствующей компоненты.

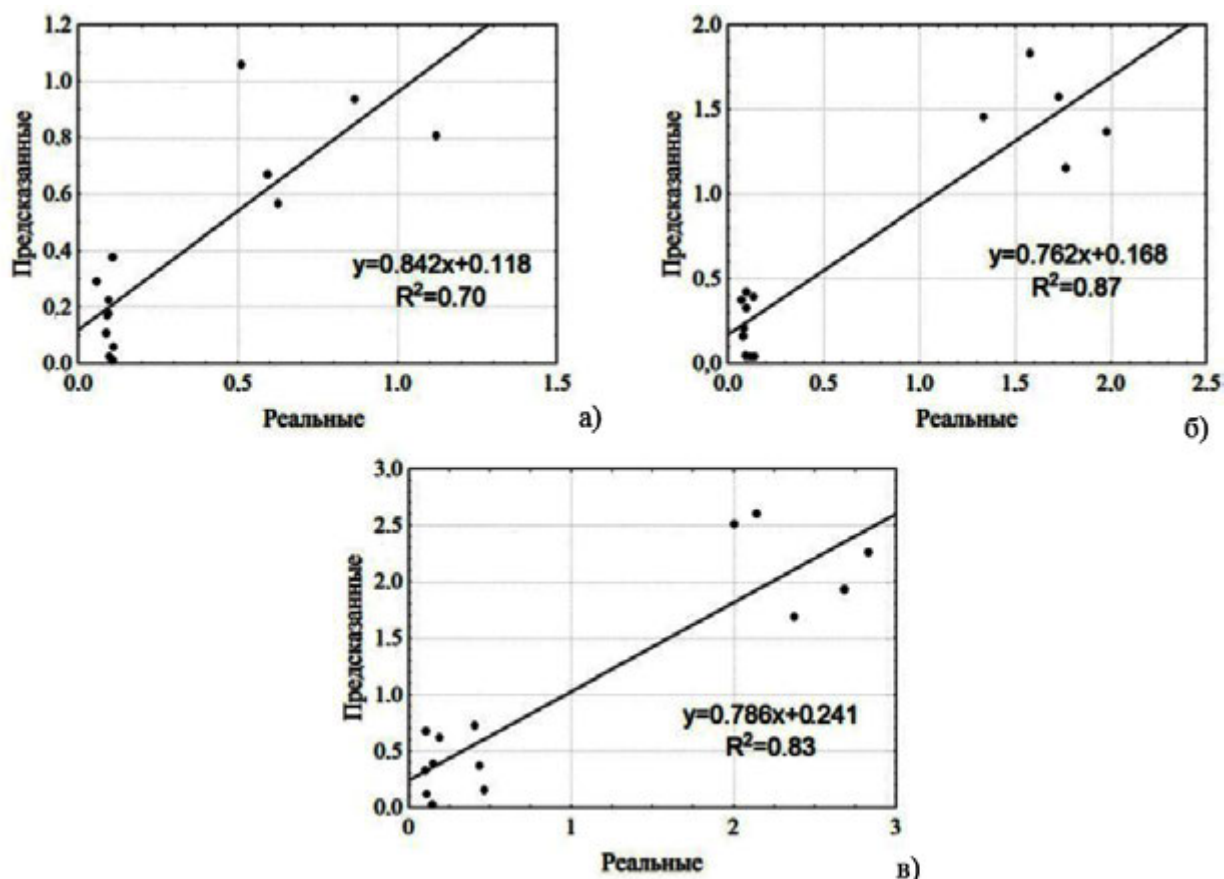
Метод главных компонент используется для сокращения количества параметров и сохранения при этом важной информации в виде компонент. В связи с этим из каждой модели были поочередно убраны недостоверные параметры, и модели были перестроены заново, пока все коэффициенты не получились достоверными. Приведенные ниже модели являются окончательным вариантом и могут использоваться для картографирования засоления почв (все параметры статистически достоверны с  $p < 0.05$ ).

В слое 0-30 см:  $ЕС = 5.167720 - 0.006077 \cdot g_1 + 0.016746 \cdot g_2 + 0.041858 \cdot g_4;$

в слое 0-50 см:  $ЕС = 1.891266 - 0.014308 \cdot g_1 + 0.024894 \cdot g_2 - 0.020149 \cdot g_3 + 0.078222 \cdot g_4;$

в слое 0-100 см:  $ЕС = -8.04330 - 0.02547 \cdot g_1 + 0.02290 \cdot g_2 - 0.04319 \cdot g_3 + 0.12494 \cdot g_4.$

*Проверка моделей на контрольной выборке.* На основе уравнений регрессии были вычислены предсказанные значения засоленности и построены линейные графики зависимости реальных значений от предсказанных (рис. 5). Коэффициенты корреляции для всех трех слоев получились достаточно высокие и значения переменных близки к прямой ( $n = 14$ ). Самый высокий коэффициент корреляции наблюдается для ЕС в слое 0-50 см и равен 0.93.



**Рис. 5.** Графики зависимости наблюдаемых ЕС значений от предсказанных: а) в слое 0-30 см, б) в слое 0-50 см, в) в слое 0-100 см.

Среднеквадратическая ошибка предсказания (RMSE) для показателя засоления в слое 0-30 см составляет 0.18 ( $MSE = 0.03$ ), в слое 0-50 см 0.29 ( $MSE = 0.08$ ), в слое 0-100 см 0.44 ( $MSE = 0.19$ ). Стоит учитывать, что чем больший слой мы рассматриваем, тем больше разброс значений, поэтому

ошибка возрастает.

Таким образом, проверка моделей на контрольной выборке показала, что она прошла лучше всего для ЕС в слое 0-50 см (при  $R^2 = 0.87$ ), а наименьшее значение RMSE характерно для ЕС в слое 0-30 см. В целом, модели, построенные на основе метода главных компонент, хорошо работают на контрольной выборке.

### Выводы

Почвы ключевого участка характеризуются разной степенью засоления: от незасоленных до очень сильнозасоленных. Результаты сравнения наземных данных по засолению почв, полученных в одних и тех же точках в 2011 и 2021 гг., показали, что за 10-летний период не произошло статистически значимых изменений в засоленности почв.

За изученный период произошли изменения в состоянии растительности, которые отражены на картах вегетационного индекса NDVI, рассчитанных на основе разновременных снимков высокого разрешения QuickBird и SuperView-1. При анализе изображений NDVI августа 2007 и 2021 гг. выявлено, что наиболее низкие значения вегетационного индекса характерны для снимка 2007 года, что связано с низким количеством осадков, выпавших в этот год.

На основе анализа дистанционных данных были рассчитаны главные компоненты. Выяснено, что первые три компоненты объясняют почти 97% всей вариабельности космического изображения.

Модели, построенные на основе анализа между засолением и главными компонентами космического изображения методом многомерной регрессии, хорошо описывают засоление почв по данным дистанционного зондирования ( $R^2$  модели равен 0.68, 0.77, 0.83 для слоев 0-30, 0-50, 0-100 см, соответственно). Эти модели показали наилучший результат для моделирования ЕС в слое 0-100 см.

Построенные модели при проверке на контрольной независимой выборке показали хорошую сходимость между предсказанными и реальными данными. Максимальная точность предсказания характерна для засоления в слое 0-50 см ( $R^2 = 0.87$ ), чуть меньше для засоления в слое 0-100 см ( $R^2 = 0.83$ ) и минимальная для засоления в слое 0-30 см ( $R^2 = 0.70$ ).

В настоящей работе были разработаны модели, которые будут полезны для оценки засоления почв солонцового комплекса сухой степи при использовании космических снимков высокого разрешения.

*Благодарности.* Автор выражает благодарность за материалы и помощь в работе М.В. Конюшковой, И.П. Минкееву, А.Ф. Новиковой, М.Б. Шадриной, С.С. Улановой, И.Н. Семенкову, А.А. Контобойцевой, Исину Фэну, Н.М. Церенову, У.Ю. Улюмджиеву.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 26424-85. 1985. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке // Сборник ГОСТов. М.: Издательство стандартов. 11 с.
- ГОСТ 26425-85. 1985. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке // Сборник ГОСТов. М.: Издательство стандартов. 20 с.
- ГОСТ 26427-85. 1985. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке // Сборник ГОСТов. М.: Издательство стандартов. 31 с.
- ГОСТ 26428-85. 1985. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке // Сборник ГОСТов. М.: Издательство стандартов. 30 с.
- Доскач А.Г. 1979. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука. 142 с.
- Лобанов Г.В., Зверева А.Ю., Коханько М.В., Хорина Е.В., Тришкин Б.В., Полякова А.В., Ужакина А.П. 2014. Сезонная динамика спектральных характеристик пахотных угодий Брянской области // Вестник Брянского государственного университета. № 4. С. 112-117.
- Лурье И.К. 2010. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник. М.: Изд-во: КДУ. 424 с.
- Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и



- формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. 2013. Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 756 с.
- Новикова Н.М., Конюшкова М.В., Уланова С.С., Волкова Н.А., Федорова Н.Л., Бембеева О.Г., Чемидов М.М.* 2022. Изменение компонентов экосистем мелиорированных солонцов на Приергенинской равнине в вегетационный период (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. Т. 28. № 3. С. 69-83.
- Панкова Е.И., Воробьева Л.А., Новикова А.Ф., Черноусенко Г.И., Ямнова И.А.* 2006. Засоленные почвы России. М.: Академкнига. 854 с.
- Панкова Е.И., Горохова И.Н.* 2020. Анализ сведений о площади засоленных почв России на конец XX и начало XXI веков // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. Вып. 103. С. 5-33.
- Панкова Е.И., Конюшкова М.В., Горохова И.Н.* 2017. О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 26-54.
- Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель). 1962 / Ред. П.А. Летунов. М.: Издательство Академии наук СССР. 422 с.
- 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.
- Хитров Н.Б., Рухович Д.И., Калинина Н.В., Новикова А.Ф., Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* 2009. Оценка площадей засоленных почв на территории европейской части России (по электронной версии карты засоления почв масштаба 1:2.5 млн.) // Почвоведение. № 6. С. 627-637.
- Шинкаренко С.С.* 2015. Анализ динамики пастбищных ландшафтов в аридных условиях на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI) // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. № 1. С. 110-114.
- Шовенгердт Р.* 2010. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера. 560 с.
- Шумова Н.А.* 2021. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы. Т. 27. № 4 (89). С. 13-24. [*Shumova N.A.* 2021. Quantitative Climate Indicators Applied to the Assessment of Hydrothermal Conditions in the Republic of Kalmykia // Arid Ecosystems. Vol 11. No. 4. Pp. 327-336.]
- Abrol I. P., Yadav J., Massoud F.* 1988. Salt-affected Soils and Their Management // FAO Soils Bulletin. Soil Resources Management and Conservation Service. FAO Land and Water Development Division. Vol. 39. 131 p.
- Abbas A., Khan S., Hussain N., Hanjra M.A., Akbar S.* 2013. Characterizing Soil Salinity in Irrigated Agriculture Using a Remote Sensing Approach // Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C. Vol. 55-57. Pp. 43-52.
- Asfaw E., Suryabhagavan K.V., Argaw M.* 2018. Soil Salinity Modeling and Mapping Using Remote Sensing and GIS: The Case of Wonji Sugar Cane Irrigation Farm, Ethiopia // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Vol. 17. No. 3. Pp. 250-258.
- Allbed A., Kumar L., Aldakheel Y.Y.* 2014. Assessing Soil Salinity Using Soil Salinity and Vegetation Indices Derived from IKONOS High-spatial Resolution Imageries: Applications in a Date Palm Dominated Region // Geoderma. Vol. 230-231. Pp. 1-8.
- Allbed A., Kumar L., Sinha P.* 2018. Soil Salinity and Vegetation Cover Change Detection from Multi-temporal Remotely Sensed Imagery in Al Hassa Oasis in Saudi Arabia // Geocarto International. Vol. 33. No. 8. Pp. 1-17.
- Bouaziz M., Matschullat J., Gloaguen R.* 2011. Improved Remote Sensing Detection of Soil Salinity from a Semi-arid Climate in Northeast Brazil // Comptes Rendus Geoscience. Vol. 343. No. 11-12. Pp. 795-803.
- Sidike A., Zhao S., Wen Y.* 2014. Estimating Soil Salinity in Pingluo County of China Using QuickBird data and Soil Reflectance Spectra // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Vol. 26. Pp. 156-175.

**ЭКОСИСТЕМНОЕ И БИОТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ  
ЮГО-ВОСТОЧНОАЛТАЙСКО-ТУВИНСКОГО ПУСТЫННО-СТЕПНОГО ОРОБИОМА**

© 2022 г. Г.Н. Огуреева, М.В. Бочарников

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ. E-mail: ogur02@yandex.ru*

Поступила в редакцию 10.05.2022. После доработки 10.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

На основе биомной концепции в биогеографии и эколого-географического подхода к анализу биоразнообразия дана региональная оценка уникального для России Юго-Восточноалтайско-Тувинского оробิโอма. Оробиом рассматривается в качестве опорной единицы инвентаризации и анализа экосистемного и биотического разнообразия горных территорий. Приводится характеристика биоклиматических показателей, характеризующих оригинальность пустынно-степного оробิโอма Субаридного класса типов поясности и его высотных поясов. Раскрыта высотно-поясная структура растительного покрова, в соответствии с которой складывается пространственная дифференциация флоры, растительных сообществ и экосистем в целом. Дана количественная оценка флористического (около 1400 видов сосудистых растений) и фитоценологического разнообразия по поясам (нивальный, пустошно-тундровый, лесостепной, степной пояса). Выявлены особенности пространственной структуры разнообразия сообществ в условиях горной территории.

*Ключевые слова:* биоразнообразие, горный биом, экосистема, биота, высотно-поясной спектр.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-75-82**

**EDN: ERCNN**

География ботанического разнообразия горных территорий в силу трехмерной структуры и высокой степени дифференциации экотопов значительно отличается от равнин и рассматривается в области экосистемного и биотического разнообразия на основе системной концепции и эколого-географического подхода к интерпретации данных. Представления о высотных поясах растительности, типах высотной поясности и иерархии их подразделений определяют принципы формирования типологического разнообразия и структуры растительного покрова гор, находящие связи с высотным градиентом условий и их зонально-секторной дифференциацией (Огуреева, 2012).

Формирование растительного покрова гор и компонентов биоты происходит при их тесном сопряжении с высотным градиентом условий, осложняемым действием ряда факторов, которые, не находя прямой корреляции с изменением абсолютной высоты, вносят при этом вклад в региональную специфику горных систем. Основой высотного градиента выступает климат как ведущий системообразующий фактор высотно-поясной структуры растительного покрова гор. Концепция экосистемного (биомного) разнообразия позволяет раскрывать закономерности формирования биоразнообразия гор согласно структуре высотно-поясных спектров, сложившихся флороценологических комплексов и их связи с биоклиматическими параметрами на градиентах теплообеспеченности и увлажнения (Огуреева, Бочарников, 2017).

**Материалы и методы.**

Работа написана по оригинальным материалам авторов и анализа публикаций по специфике растительного покрова оробิโอма и условий его существования и развития. Сравнительный анализ биоразнообразия в связи с климатом выполнен на основе биоклиматических показателей, использованных в качестве ключевых характеристик, которые определяют климат как основной фактор его пространственной организации. Источником информации о климате послужила глобальная цифровая модель Chelsa (Karger et al., 2017), содержащая данные о пространственном распределении ряда биоклиматических переменных на базе пространственного разрешения 30'', характеризующих тепло- и влагообеспеченность на основе осредненных за период 1979-2013 гг.



значений. Выбор модели обусловлен ее созданием с учетом особенностей циркуляции атмосферы (Dee et al., 2011), что улучшило качество результатов, особенно связанных с получением показателей увлажнения, которые имеют особое значение в связи с орографией горных территорий.

Климатическое обоснование высотно-поясной структуры растительности оробиома выполнено на основе определения климатопоп типологических подразделений растительности (поясов растительности), которые характеризуются через ключевые биоклиматические показатели, осредненные за многолетний период для отдельных лет, сезонов года и месяцев. Представление о климатопах высотных поясов согласуется с экосистемной концепцией и климатической обусловленностью экосистем на региональном уровне (Rivas-Martinez et al., 2011).

Для характеристики высотных поясов оробиома использованы средние многолетние показатели тепло- и влагообеспеченности года, самого теплого (июль) и самого холодного (январь) месяцев. На основе исходных показателей рассчитаны также биоклиматические индексы, используемые в анализе связей растительности и климата. К ним относятся индекс континентальности и летний омбротермический индекс (Rivas-Martinez et al., 2011). С помощью сопряжения карты высотных поясов растительности и слоев показателей климатической модели определены проекции растительности на территорию с определенными значениями биоклиматических показателей. Это послужило основой для выделения климатопоп, рассматриваемых в качестве совокупности климатических условий, способствующих формированию растительного покрова поясов в рамках единого высотно-поясного спектра. Количественная оценка климатических условий проведена на основе определения среднего значения биоклиматических показателей и стандартного отклонения от среднего для климатопа каждого высотно-поясного подразделения. Данные значения интерпретированы как оптимальные условия формирования растительности пояса.

### Результаты и их обсуждение

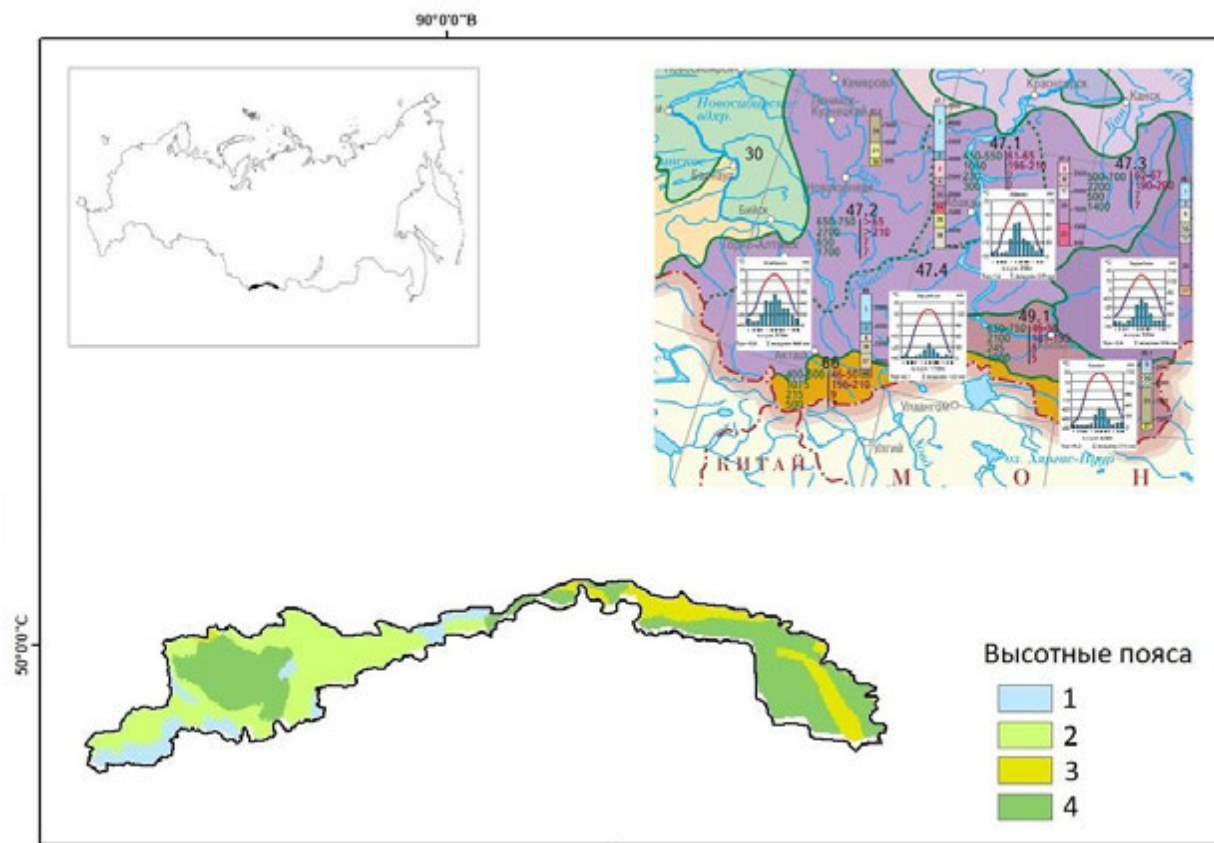
Юго-Восточноалтайско-Тувинский оробиом выделяется среди горных биомов России по уникальному сочетанию экосистем и их биотическому составу. Он протягивается по южной периферии Алтае-Саянских гор от Юго-Восточного Алтая до юго-восточных хребтов Тувы. Эта полоса включает обширное плато Укок (2000-2400 м н.у.м. БС) и Тархатинскую котловину, восточные части Южно- и Северо-Чуйского хребтов, обширную Чуйскую котловину (1750-1900 м н.у.м. БС), далее к востоку через хр. Сайлюгем (3499 м н.у.м. БС) и Джулукульское плато до хр. Чихачева (3248 м н.у.м. БС) и массива Монгун-Тайга (3976 м н.у.м. БС), а затем узкой полосой протягивается по южным макросклонам хр. Западный (2972 м н.у.м. БС) и Восточный Танну-Ола (2592 м н.у.м. БС), включая северную часть Убсунурской котловины и Эрзинский степной массив (рис.). В целом, современный облик территории биома характеризуется развитием массивных горных хребтов, превышающих 3000 м н.у.м. БС, и высокогорных плато, приподнятых межгорных котловин и аридных денудационно-останцовых низкогорий и мелкосопочников гобийского типа.

Для оробиома характерен единственный в растительном покрове России Тувино-Юго-Восточноалтайский тип поясности, относящийся к Монголо-Алтайской группе Субаридного класса типов поясности (Огуреева, 1983; Карта ..., 1999): **альпийско** (*Saxifraga oppositifolia*<sup>1</sup>, *Sibbaldia tetrandra*, *S. procumbens*; луга: *Ranunculus altaicus*, *Gentiana grandiflora*, *Trollius lilacinus*)–**пустошнотундрово** (остепненные тундры, криофитные степи: *Dryas oxyodonta*, *Betula rotundifolia*, *Salix berberifolia*, *S. krylovii*, *S. reticulata*, пустоши: *Kobresia myosuroides*, *K. humilis*, *Carex rupestris*, *C. stenocarpa*, *Festuca kryloviana*, *F. supina*, *Ptilagrostis mongolica*)–**лесостепно** (леса из *Larix sibirica* с рощами *Betula microphylla*)–**степной** (дерновиннозлаковые степи: *Festuca lenensis*, *Poa attenuata*, *Agropyron cristatum*, *Koeleria cristata*, *Cymbaria dahurica*; опустыненные степи: *Stipa glareosa*, *Cleistogenes squarrosa*, *Artemisia frigida* с *Caragana bungei*, *C. pygmaea*, нанофитоновые опустыненные степи; Карта ..., 1999). Южная граница биома выходит за пределы России и проходит значительно южнее в горах Северной Монголии. Оробиом находится в контактной полосе бореальной и аридной областей Евразии. Среди характерных ботанико-географических его черт следует отметить нагорно-степной (пустошнотундровый) тип высокогорий, проявление ксерофитизации в растительности

<sup>1</sup> Латинские названия растений приводятся по данным справочного фонда Интернет-ресурса «PlantList» (The Plant List, 2022).

каждого пояса и резкая экспозиционная асимметрия высотных границ поясов, что характерно для аридных горных систем (Юнатов, 1974; Малышев, 1977; Агаханянц, 1981).

Растительный покров оробиома формируется в условиях резко континентального климата с отрицательными средними многолетними годовыми температурами и крайней сухостью на фоне общей значительной приподнятости территории (табл.).



**Рис.** Высотно-поясная структура Юго-Восточноалтайско-Тувинского оробиома. Условные обозначения. Высотные пояса: 1 – нивальный и субнивальный, 2 – пустынно-тундровый, 3 – лесостепной, 4 – горностепной.

Наибольшей теплообеспеченностью характеризуется горностепной пояс (среднегодовая температура воздуха составляет около  $-2^{\circ}\text{C}$ , температура июля – около  $16^{\circ}\text{C}$ ), который сменяется лесостепным, пустынно-тундровым, субнивальным и нивальным поясами в соответствии с закономерным уменьшением температур. Годовое количество осадков, в соответствии с высотным градиентом, немного увеличивается: от 150 мм в области развития опустыненных степей до 300-400 мм в высокогорьях. Значительные абсолютные высоты, на которых формируется горностепной пояс, обуславливают короткий вегетационный период развития их сообществ (сумма активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  изменяется в пределах  $1000-1900^{\circ}\text{C}$ ). В субнивальном и нивальном поясах сумма активных температур не превышает  $100^{\circ}\text{C}$ .

Положение в центральной части Евразии, в окружении массивных горных хребтов, обеспечивает свободный доступ сухих воздушных масс из Монголии и ограниченный доступ атлантических воздушных масс с севера, что обуславливает формирование засушливого бореального гиперконтинентального типа биоклимата (Rivas-Martinez et al., 2011). Определяющими для оробиома являются – высотно-поясная дифференциация и котловинный эффект, выраженный в меньшей теплообеспеченности котловин по сравнению с окружающими склонами хребтов. Для высотных поясов характерны климатопопы с разными термоклиматами (Rivas-Martinez et al., 2011). Информативными характеристиками климатопопов высотных поясов выступают биоклиматические

индексы, которые позволяют четко разграничить условия формирования горностепного пояса от высокогорных поясов. Для высокогорий характерна пониженная континентальность климата по сравнению с климатопами нижней части спектра. Горные степи формируются при относительно высокой теплообеспеченности вегетационного сезона и малом количестве осадков, что отражено в низких значениях омротермического индекса (табл.). Для зимней теплообеспеченности выражена инверсия, в соответствии с которой более низкие температуры наблюдаются в лесостепном и горностепном поясах, формирующихся в межгорных котловинах.

**Таблица.** Климатическая характеристика высотных поясов растительности Юго-Восточноалтайско-Тувинского оробиома.

Высотные пояса	Биоклиматические показатели						
	Т_год	Т_июль	Т_январь	Р_год	Р_июль	Іс	Іо_июль
Нивальный и субнивальный	-7.2±1.5	8.1±1.7	-23.6±1.6	210±65	54±14	32±1.4	71±30
Пустошно-тундровый	-6.4±1.5	9.1±1.7	-23.0±1.4	168±57	44±11	32±1.1	52±23
Лесостепной	-2.4±1.9	16.1±2.4	-24.1±2.1	235±36	51±10	40±2.2	33±11
Горностепной	-1.9±2.1	16.0±3.6	-22.4±1.1	205±60	50±15	38±4.2	32±9

**Примечания к таблице.** Биоклиматические показатели (среднее ± стандартное отклонение): Т\_год – средняя годовая температура, °С; Т\_июль – средняя температура июля, °С; Т\_январь – средняя температура января, °С; Р\_год – среднее годовое количество осадков, мм; Р\_июля – среднее количество осадков июля, мм; Іс – индекс континентальности; Іо\_июль – омротермический индекс июля.

#### Ботаническое разнообразие Юго-Восточноалтайско-Тувинского оробиома

Флористическое разнообразие оробиома складывается в условиях резко континентального аридного климата, горного рельефа и длительного развития горной территории, способствовавших на разных ее этапах активизации миграционных процессов во флоре и видообразовании в контрастных условиях высотных поясов. Общее разнообразие сосудистых растений оробиома составляет около 1400 видов (Куминова, 1960; Пешкова, 1985; Малышев, 2002). Наибольшее флористическое разнообразие характерно для горностепного и лесостепного поясов (около 900-1000 видов). В высокогорьях произрастает более 600 видов. Уровень флористического богатства в пересчете на площадь в 100 км<sup>2</sup> составляет 700-800 видов; в пересчете на площадь в 10000 км<sup>2</sup> – 1200-1400 видов (Малышев, 1977, 1994). Возраст флоры и растительного покрова Алтайской горной страны в целом в структуре поясности определяется Р.В. Камелиным (1998) как позднетретично-четвертичный.

Флора оробиома отражает тесные связи с Центральной Азией и обособленность от остальной территории гор Южной Сибири, в пределах которой она развивается (Лавренко, 1970). Активные миграционные процессы, происходившие по определенным коридорам в условиях синхронизации периодов оледенений и межледниковий плейстоцена и голоцена, привели к аллопатрическому видообразованию и проникновению центральноазиатских элементов (Седельников, 1988). Общий характер флорогенеза – автохтонно-миграционный. Среди важнейших флористических узлов гор Южной Сибири выделяется Сайлюгем–Монгун-Тайгинский на Алтае и Западной Туве, где встречается множество среднеазиатских видов, находящихся на восточной границе своих ареалов; доля рубежных видов составляет до 40% (*Coluria geoides*, *Potentilla lydiae*, *Allium pallasii*, *Lonicera microphylla*, *Artemisia obtusiloba* и др.), что указывают на исторические связи со Средней и Центральной Азией (Намзалов, 2021). Нахождение целого ряда видов различного географического происхождения и разных по времени проникновения элементов флоры свидетельствует об общности с флорами Северной Монголии и Центральной Азии. Флоре оробиома свойственны эндемичные и реликтовые виды, которые характерны для флор всех высотных поясов. В нивальном поясе участвуют виды, общие для высокогорий Памира, Тянь-Шаня и Гималаев (*Saussurea glaciales*, *Waldheimia tridactylites*). Алтай-пригималайский вид *Trollius lilacinus* участвует в составе

группировок высокогорных каменистых россыпей в Юго-Восточном Алтае. Высокогорный вид *Potentilla salesoviana* растет на осыпях и каменистых развалах, в поймах верховий рек Западной Тувы и Юго-Восточного Алтая, доходя до 3000 м н.у.м. БС, в горах Средней Азии и Гималаях распространен значительно выше – до 3700 м н.у.м. БС (Камелин, 1998). Этот редкий древний вид, как и *Biebersteinia odora*, *Saussurea glacialis*, Р.В. Камелин относит к группе собственно нагорноазиатских видов, сходных по ареалам, распространению и диапазону высот.

Наибольшей самобытностью отличается видовой состав растительности пустошнотундрового пояса. Высокую роль в составе криофитных степей и кобрезиевых тундр играют *Saussurea leucophylla*, *Oxytropis oligantha* и *Stellaria petraea*, формирующие плотные дерновины или подушки. В ценофлорах сообществ пустошнотундрового пояса отмечается значительное число эндемиков, а также реликтовых элементов; азиатский вид *Caragana jubata*, связанный в своем происхождении с Тибетом, образует кустарниковые сообщества на каменистых россыпях в пустошнотундровом поясе Юго-Восточной Тувы на высотах порядка 2000 м н.у.м. БС (Камелин, 1973; Коропачинский, 1975; Огуреева, 1980).

Биом занимает северную часть обширной Тувинско-Монгольской флористической провинции (Камелин, 2005). Оригинальность флоры определяет комплекс реликтовых центральноазиатских (тувинско-монгольских) горных пустынно-степных и пустынных видов, многие из которых эндемичны для провинции (*Chenopodium frutescens*, *Kochia krylovii*, *Gypsophila desertorum*), а также пустынные виды, находящиеся на северной границе распространения (*Reaumuria soongarica*, *Allium mongolicum*, *Potentilla imbricata* и др.). Специфична также группа горностепных видов с большим количеством эндемичных видов из родов *Astragalus* и *Oxytropis*, например, южносибирско-монгольский ксеропетрофит *Oxytropis tragacantoides*, образующий подушковидную форму низкого колючего кустарничка, поднимается по каменистым склонам гор биома до 2600 м н.у.м. БС. Флора опустыненных степей еще в большой степени связана со степями Монголии и остепненными пустынями Центральной Азии (*Stipa glareosa*, *Oxytropis aciphylla*, *Anabasis brevifolia*, *Caragana bunge*). Во флоре биома встречаются реликтовые виды, связанные в своем происхождении с центральноазиатскими предками (*Gueldenstaedtia monophylla*, *Brachanthemum baranovii*). Центральноазиатский вид ежевника (*Nanophyton erinaceum*) образует плотные подушки в нанофитоно-галечниковоковыльных опустыненных степях на щебнисто-каменистых слоборазвитых почвах в Хемчинской, Улугхемской, Убсунурской котловинах. Среди галофитов Чуйской степи и степей Тувы на солончаках выделяется *Chenopodium frutescens* – редкий эндемичный и реликтовый вид. Общность эндемичных и реликтовых видов степных котловин Тувы и Юго-Восточного Алтая говорит о генетическом родстве их степной растительности (Соболевская, 1950; Коропачинский, 1975). Общее количество эндемичных видов во флоре оробиома достигает 30. В Красную Книгу РФ (2008) включены 19 видов сосудистых растений.

Пространственная дифференциация ботанического разнообразия оробиома связана с высотной структурой растительного покрова в составе альпийско-пустошнотундрово-лесостепно-степного типа поясности. Широкое развитие по вертикали получают высокогорные пояса, и в первую очередь подпояс остепненных тундр (пустошей). Крайняя степень редукции лесного пояса приводит к непосредственному контакту альпийско-тундровой растительности со степной. В степном поясе характерны опустыненные варианты горных степей на абсолютно больших высотах с отдельными фрагментами сообществ пустынного типа на высотах 1700-1900 м н.у.м. БС (Огуреева, 1983). В обобщенном виде высотно-поясная структура растительности оробиома представлена 4 поясами: нивальным (вместе с субнивальным), пустошнотундровым, лесостепным и горностепным (рис.).

Растительный покров оробиома отличается высоким фитоценотическим разнообразием, свойственным каждому из высотных поясов в рамках единого высотно-поясного спектра Монголо-Алтайской группы типов поясности. Высотно-поясной спектр оробиома отличается самым высоким положением, начинаясь на абсолютных высотах более 1500 м н.у.м. БС, что в том числе во многом определяет ботанико-географические особенности горных экосистем (Огуреева, 1999). Высокогорные экосистемы составляют значительную часть оробиома, занимая 46% его площади, около 1% территории приходится на ледники и снежники. Нагорно-степной тип высокогорий, характерный для аридных горных систем (Агаханянц, 1981), является одной из ботанико-географических особенностей оробиома. Растительность высокогорий сложена типичными

центральноазиатскими комплексами (Красноборов, 1986). К ним относятся криофитные степи, подушечники и высокогорные тундры (в том числе, кобрезиевые и осоковые сообщества, развитые на северной границе своего распространения). На вершинах наиболее высоких хребтов (до 3500 м н.у.м. БС) развиваются разреженные группировки криопетрофитов (*Waldheimia tridactylites*, *Lupinaster eximium*, *Saussurea glacialis*). К долинам высокогорных ручьев и ложбинам стока приурочены альпийские низкотравные луга (*Ranunculus altaicus*, *Gentiana grandiflora* и др.).

**Пустошнотундровый пояс** (2400-2800 м н.у.м. БС) характеризуется повышенным фитоценотическим разнообразием, сформированным под влиянием контакта растительного покрова высокогорий Южной Сибири и Центральной Азии. По склонам хребтов, террасам речных долин распространены полидоминантные психрофитные степи (*Festuca tschujensis*, *F. altaica*, *Koeleria altaica*, *Poa attenuata*, *Ptilagrostis mongolica*). Для экстремальных криоаридных условий пояса характерно развитие ксерофитных сообществ подушковидного *Oxytropis tragacanthoides*. Высокогорные дриадовые (*Dryas oxyodonta*), кобрезиевые (*Kobresia myosuroides*, *K. humilis*) и осоковые (*Carex rupestris*, *C. stenocarpa*) тундры развиваются в условиях наименее инсолированных склонов пояса. В составе высокогорных тундр часто участвуют виды психрофитных степей (*Festuca kryloviana*, *Artemisia depauperata*, *Ptilagrostis mongolica*; Дирксен и др., 1997). На моренных полях поверхностей выравнивания значительные площади занимают сообщества ерников (*Betula rotundifolia*) в сочетании с участками дриадово-лишайниковых тундр по щебнистым местам.

**Лесостепной пояс** (2200-2500 м н.у.м. БС) в высотном поясе орбита имеет фрагментарное распространение, на больших высотах занимая 13% его площади. Развиты осоковые (*Carex pediformis*, *C. duriuscula*), травяные (*Galium verum*, *Artemisia commutata*) типы лиственничных (*Larix sibirica*) и березово-лиственничных (*Betula microphylla*) лесов, формирующие экспозиционные сочетания с мелкодерновиннозлаковыми степями. Лесной компонент экспозиционной лесостепи определяет наиболее высокое положение верхней границы леса в высотном поясе спектра не только в горах Южной Сибири, но и всей Азиатской части России (Огуреева, 1980; Чистяков и др., 2012). Ограниченное распространение имеют разнотравные луговые (*Phleum phleoides*, *Poa angustifolia*, *P. stepposa*, *P. botryoides*, *Astragalus adsurgens*, *Medicago falcata*, *Artemisia commutata*) степи по северным склонам и опушкам лиственничных лесов.

**Степной пояс** (1500-2200 м н.у.м. БС) является фоновым в высотном поясе орбита, степные экосистемы занимают 41% его площади. Хорошо выражены два подпояса. Подпояс настоящих мелкодерновиннозлаковых степей (1800-2200 м н.у.м. БС) характеризуется значительным фитоценотическим разнообразием, участием степных сообществ различных флороценоципов. Преобладают степи крыловскоковыльевой (*Stipa krylovii*), типчаковой (*Festuca valesiaca*, *F. lenensis*), тонконоговой (*Koeleria cristata*) мелкодерновиннозлаковой (*Festuca lenensis*, *Poa attenuata*, *Agropyron cristatum*, *Koeleria cristata*), мелкодерновиннозлаково-полынной (*Artemisia frigida*) формаций. Характерна высокая встречаемость степных кустарников (*Caragana bungei*, *C. pygmaea*). Среди плейстоценовых реликтовых сообществ распространены арктогероновые (*Arctogeron gramineum*), хамеродосовые (*Chamaerhodos altaica*) степи, которые более характерны для степей Забайкалья и Монголии (Пешкова, 1972). Богатые по составу овсецовые степи (*Helictotrichon altaicum*) характерны для западной части биомы, где играют значительную роль по склонам хребтов Танну-Ола, Монгун-Тайга и Чулышманского нагорья (Куминова, 1985).

Опустыненные степи приурочены к нижней части спектра (1500-1800 м н.у.м. БС), широко распространены в днищах межгорных котловин, зачастую засоленных (Намзалов, 1994). Специфика степного пояса заключается в развитии сухих и опустыненных степей – змеевковых (*Cleistogenes squarrosa*), холоднополынных (*Artemisia frigida*), а также важной ролью степных сообществ с эдификаторами из числа пустынно-степных центральноазиатских элементов – прутняка (*Kochia prostrata*), нанофитона (*Nanophyton erinaceum*), терескена (*Krascheninnikovia ceratoides*), ковылька (*Stipa glareosa*). Содоминантами в сообществах опустыненных степей выступают центральноазиатские виды (*Gueldenstaedtia monophylla*, *Allium mongolicum*, *Artemisia obtusiloba*, *Potentilla astragalifolia*, *Anabasis brevifolia*); собственно горностепные элементы играют второстепенную роль и занимают не более 40% состава ценофлор их формаций

(Ревушкин, Рудая, 2001).

### Выводы

Все приведенные ботанико-географические особенности Юго-Восточноалтайско-Тувинского пустынно-степного оробиома показывают высокую природоохранную ценность его горных экосистем среди общего экосистемного разнообразия гор России. В структуре биома преобладают (в % от общей площади) высокогорные экосистемы – горные тундры и альпийские луга (24.1%) со значительными по площади каменистыми полями, моренами, снежниками и ледниками (56.2%); горные степи занимают около 40%, но специфика и оригинальность их флороценологического состава очень высока. Реликтовые фрагменты лиственных лесов, занимающие узко локализованные по экспозиции участки склонов, составляют всего 1.2% биома. Богатая флора, включающая значительное количество редких, реликтовых и эндемичных видов, уникальное сочетание на горных склонах разнообразных растительных сообществ опустыненных степей монгольского комплекса формаций и северных центральноазиатских пустынь, редких сообществ для растительного покрова России (ежевника, караганы гривастой, березы мелколистной и др.), высокогорных петрофитных группировок с участием реликтовых видов, создают неповторимую комбинацию ксерофитных экосистем оробиома аридного типа.

Очевидна необходимость сохранения естественных экосистем биома. Проблема сохранения генофонда редких видов растений и животных биома частично решается в трансграничном государственном природном биосферном заповеднике «Убсунурская Котловина» и в национальном парке «Сайлюгемский», где охраняются высокогорные экосистемы хребтов, отдельные массивы горной экспозиционной лесостепи и редкие для страны горные дерновиннозлаковые степи и северные остепненные центральноазиатские пустыни с фрагментами галофитной растительности (Официальный сайт ..., 2022а, б). При этом существует необходимость организации постоянного мониторинга за состоянием популяций редких видов вне охраняемых территорий, что важно для сохранения и развития горных ксерофитных экосистем в России и в мировом масштабе.

Представление об экосистемном и видовом разнообразии горных региональных биомов является своеобразной точкой отсчета о современном состоянии наших знаний о биоразнообразии на региональном уровне. На основе концепции биомов в биогеографии, развивающихся технологий и новых методов получения и обработки информации возможно дальнейшее изучение географии биоразнообразия, организации охраны и мониторинга природных объектов разного статуса, а в целом, совершенствования общей природоохранной системы страны.

*Финансирование.* Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» МГУ и на базе ЦКП «Гербарий MWG» (создан при поддержке Программы развития Московского университета).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агаханиянц О.Е. 1981. Аридные горы СССР. М.: Мысль. 270 с.
- Дирксен В.Г., Смирнова М.А., Чистяков К.В. 1997. Растительность высокогорий массива Монгун-Тайга (Юго-Западная Тува) // Вестник СПбГУ. Серия 7. Вып. 1. № 7. С. 12-28.
- Камелин Р.В. 1973. Флорогенетический анализ естественной флоры горной Средней Азии. Л.: Наука. 356 с.
- Камелин Р.В. 1998. Материалы по истории флоры Азии (Алтайская горная страна). Барнаул: изд-во Алтайского государственного университета. 240 с.
- Камелин Р.В. 2005. Краткий очерк природных условий и растительного покрова Алтайской горной страны // Флора Алтая. Т. 1. Барнаул: АзБука. С. 22-97.
- Карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий». 1999. Масштаб 1:800000 // Ред. Г.Н. Огуреева. Серия карт природы для высшей школы. М.: Экор. 1 л.
- Коропачинский И.Ю. 1975. Дендрофлора Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука. 290 с.
- Красноборов И.М. 1986. О «тундростепях» на юге Сибири // Растительный покров высокогорий. Л.: Наука. С. 131-137.
- Красная Книга Российской Федерации (растения и грибы). 2008. / Ред. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК. 855 с.

- Куминова А.В. 1960. Растительный покров Алтая. Новосибирск: АН СССР. 450 с.
- Куминова А.В. 1985. Основные черты и закономерности растительного покрова // Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. Новосибирск: Наука, СО АН СССР. С. 16-45.
- Лавренко Е.М. 1970. Провинциальное разделение Центральноазиатской подобласти степной области Евразии // Ботанический журнал. Т. 455. № 12. С. 609-625.
- Мальшев Л.И. 1994. Флористическое богатство СССР // Актуальные проблемы сравнительного изучения флор: Материалы III рабочего совещания по сравнительной флористике, Кунгур, 1988. СПб.: Наука. С. 34-87.
- Мальшев Л.И. 1977. Критерии подразделения растительного покрова и особенности поясности в горах Северной Азии // Ботанический журнал. Т. 62. № 10. С. 1393-1403.
- Мальшев Л.И. 2002. Видообразование растений в горах Сибири // Сибирский экологический журнал. № 5. С. 531-540.
- Намзалов Б.Б. 1994. Степи Южной Сибири. Новосибирск-Улан-Удэ. 309 с.
- Намзалов Б.Б. 2021. Важнейшие узлы биоразнообразия и фитогеографические феномены горных степей Южной Сибири // Аридные экосистемы. Т. 27. № 3 (88). С. 24-36. [Namzalov B.B. 2021. The Most Important Biodiversity Nodes and Phytogeographic Phenomena of the Mountain Steppes of Southern Siberia // Arid Ecosystems. No. 3. Vol. 11. Pp. 238-248.]
- Огуреева Г.Н. 1980. Ботаническая география Алтая. М.: Наука. 192 с.
- Огуреева Г.Н. 1983. Структура высотной поясности гор Южной Сибири // Бюллетень МОИП. Т. 88. Вып. 1. Отделение биологическое. С. 66-77.
- Огуреева Г.Н. 2012. Эколого-географический подход к изучению разнообразия и географии наземных экосистем // Вопросы географии. Сб. 134: Актуальная биогеография. М: Кодекс. С. 58-80.
- Огуреева Г.Н., Бочарников М.В. 2017. Оробиомы как базовые единицы региональной оценки биоразнообразия горных территорий // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 2. С. 52-81. [Электронный ресурс <http://ecosystemsdynamic.ru/2017-t-1-2-orobiomy-kak-bazovye-edinicy-regionalnoj-ocenki-bioraznoobraziya-gornyx-territorij> (дата обращения 01.02.2022)].
- Официальный сайт заповедника «Убсунурская котловина». 2022а [Электронный ресурс <https://ubsunurtuva.ru/> (дата обращения 01.02.2022)].
- Официальный сайт национального парка «Сайлюгемский». 2022б [Электронный ресурс <https://sailugem.ru/> (дата обращения 01.02.2022)].
- Пешкова Г.А. 1972. Степная флора Байкальской Сибири. М.: Наука. 206 с.
- Пешкова Г.А. 1985. Растительность Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука. 145 с.
- Ревушкин А.С., Рудая Н.А. 2001. Центрально-азиатские элементы в растительном покрове Юго-Восточного Алтая // Вестник ТГУ. Т. 274. Томск. С. 82-84.
- Седельников В.П. 1988. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука. 222 с.
- Соболевская К.А. 1950. Растительность Тувы. Новосибирск: АН СССР. 245 с.
- Чистяков, К.В., Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г. 2012. Горный массив Монгун-Тайга. СПб: Арт-Экспресс. 310 с.
- Юнатов А.А. 1974. Пустынные степи северной Гоби и Монгольской Народной Республики. Л.: Наука. 132 с.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Holm E.V., Isaksen I., Kallberg P., Kohler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thepaut J.-N., Vitart F. 2011. The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System // Q.J.R. Meteorological Society. No. 137. Pp. 553-597.
- Karger D.N., Conrad O., Böhrner J., Kawohl T., Kreft H., Soria-Auza R.W., Zimmermann N.E., Linder H.P., Kessler M. 2017. Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas // Scientific Data. No. 4. P. 170122.
- The Plant List. 2022 [Электронный ресурс <http://plantlist.org/> (дата обращения 01.02.2022)].
- Rivas-Martinez S., Rivas Saenz S., Penas A. 2011. Worldwide Bioclimatic Classification System // Global Geobotany. Vol. 1. No. 1. Pp. 1-634.



**ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА  
ФОРМАЦИИ *HALOCNEMETA STROBILACEI* НА ПРИКАСПИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ**

© 2022 г. И.А. Горяев, И.Н. Сафронова

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

Поступила в редакцию 28.04.2022. После доработки 28.05.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

*Halocnemeta strobilacei* на Прикаспийской низменности в пределах Европейской России представлена 4 классами ассоциаций и 14 ассоциациями. Сарсазановые сообщества отмечены в пустынной и в степной зонах, в которых они отличаются по видовому составу и занимаемой площади. Наиболее распространенными являются ценозы сарсазанового (*Halocnemeta strobilacei pura*) класса ассоциации. Характерны сообщества двух классов ассоциаций: галофитнополукустарничково-сарсазанового (*Halocnemeta strobilacei halosuffruticulosa*) и однолетничково-сарсазанового (*Halocnemeta strobilacei annuae*). Редко встречаются сообщества еще одного класса ассоциаций – злаково-сарсазанового (*Halocnemeta strobilacei graminosa*). Монодоминантные сарсазанники приурочены к почвам с высоким содержанием ионов хлора (Cl<sup>-</sup>). В почвах под бидоминантными ценозами, кроме ионов хлора (Cl<sup>-</sup>), высокое содержание имеют ионы натрия (Na<sup>+</sup>) и ионы сульфата (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

**Ключевые слова:** сообщества *Halocnemeta strobilacei*, полукустарнички, однолетники, классификационная схема, Прикаспийская низменность.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-83-90**

**EDN: KHCHJE**

Сообщества сарсазановой (*Halocnemeta strobilacei*) формации широко распространены в Прикаспийско-Туранских пустынях на солончаках с количеством солей выше 1.5-2% (Акжигитова, 1982; Сафронова, 2001). Большие площади сарсазанники занимают в пустынной зоне восточнее Каспийского моря, а к западу от Каспийского моря их значительно меньше (Борликов и др., 2009).

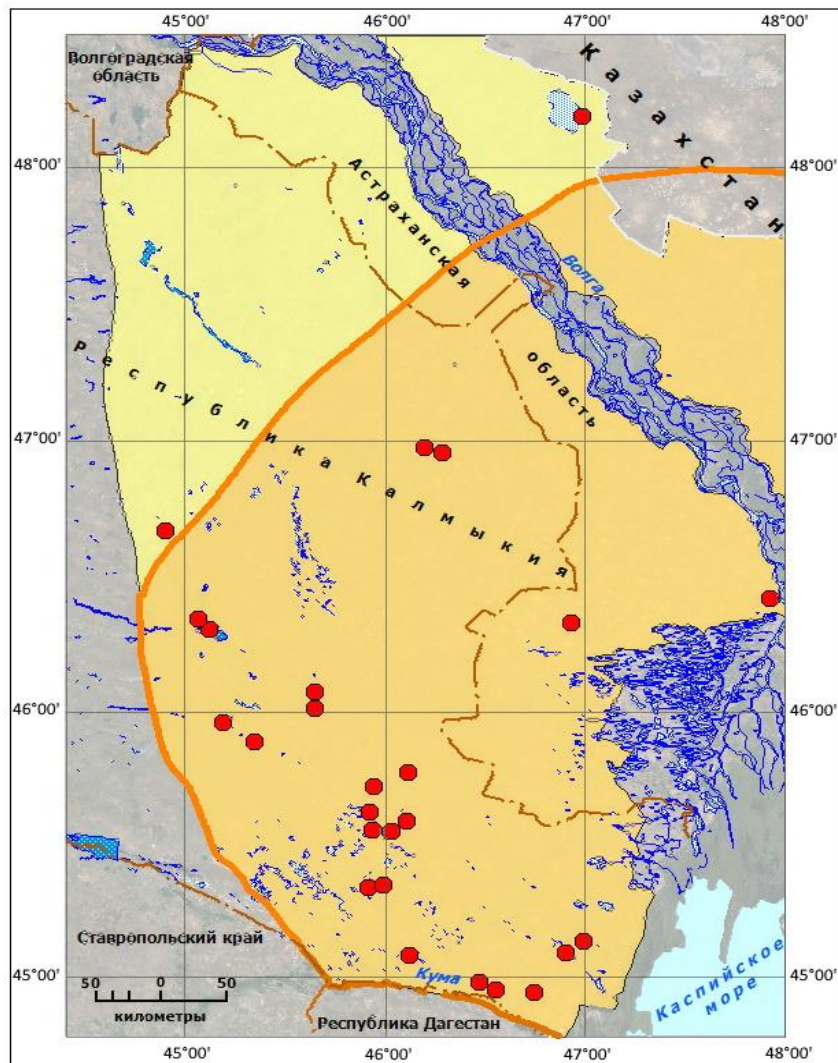
Краткая характеристика сарсазановых ценозов, распространенных на Прикаспийской низменности в междуречье Волга–Урал, дана Ф.Я. Левиной (1964). О сарсазанниках западнее р. Волги сведения до настоящего времени в литературе отсутствуют, хотя сарсазан (*Halocnemum strobilaceum*) упоминается в ряде флористических и ценопопуляционных работ (Nilhan et al., 2008; Xiao-Xia et al., 2008; Лысенко, Митрошенкова, 2011; Зенкина, Сагалаев, 2012; Голуб, Юрицына, 2013; Бананова, Лазарева, 2014; Зенкина, 2015; Бакташева и др., 2017).

Проводя полевые исследования на Прикаспийской низменности в пределах Европейской России в 2015-2021 гг., мы получили данные о ценофитическом разнообразии, структуре, экологических особенностях и закономерностях распространения сообществ формации *Halocnemeta strobilacei* на этой территории. Рельеф региона исследования – равнинный, с многочисленными лиманами, сорами и депрессиями. Абсолютная высота над уровнем моря изменяется от 50 м на севере до -29 м на юге у Каспийского моря (Атлас ..., 1974). Климат – резко континентальный. По геоботаническому районированию Прикаспийская низменность лежит в пределах степной и пустынной зон (Зоны и типы ..., 1999; Сафронова, Юрковская, 2015). В степной зоне за год выпадает от 200 до 250 мм осадков, в пустынной зоне – 180-200 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет +7°C в степной зоне и +10°C в пустынной (Агрометеорологический ..., 2015).

**Материалы и методы**

Изучение сообществ *Halocnemeta strobilacei* на Прикаспийской низменности проводилось маршрутным и полустационарными методами. Протяженность маршрутов составила более 1500 км.

Выполнено 50 геоботанических описаний с использованием стандартной методики на площадках размером 10 x 10 м<sup>2</sup> (Ярошенко, 1961; Быков, 1967; Полевая геоботаника, 1972; Воронов, 1973; рис. 1). Описание включает в себя общую характеристику местообитания, общее проективное покрытие в процентах, проективное покрытие в процентах и обилие по Друде для каждого вида, а также фенофазу и высоту растения.



**Рис.** Распространение сарсазанников (*Halocnemeta strobilacei*) в районе исследования. Условные обозначения: ● – сообщества *Halocnemeta strobilacei*, □ – степная зона, □ – пустынная зона, — — — — — граница пустынной и степной зон

В ходе анализа геоботанических описаний проведена эколого-фитоценотическая доминантно-детерминантная классификация сарсазановых (*Halocnemeta strobilacei*) сообществ (Александрова, 1969). При создании иерархической системы классификации использованы следующие таксономические единицы: формация, класс ассоциаций, ассоциация (Шенников, 1938; Лавренко, 1982; Исаченко, Рачковская, 1961; Ниценко, 1966). Формация объединяет ассоциации, в которых господствующий ярус сложен одним и тем же доминирующим видом. Класс ассоциаций объединяет ассоциации с одинаковым составом доминант и принадлежащих к одной жизненной форме содоминант. Ассоциация представляет собой совокупность сообществ с одинаковым составом доминант, содоминант и характерных видов, сходные по синузальной структуре и приуроченности к определенным экологическим условиям.

Встречаемость каждого вида растения в формации определена по шкале константности.

Она выражается по пятибалльной системе: V – 81-100%, IV– 61-80%, III – 41-60%, II – 21-40%, I – 0-20% (Нешатаев, 1987). Картограмма района исследования выполнена в программе MapInfo Professional 15.0 (Уланова и др., 2019).

При камеральной обработке описаний использованы данные по общей сумме солей, ионов хлора (Cl<sup>-</sup>), натрия (Na<sup>+</sup>), сульфата (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) в почвах (мг/экв.) из 16 почвенных образцов, взятых под сообществами *Halocnemum strobilaceum* на глубине 30 см в корнеобитаемом слое. Почвенные образцы обработаны методом химического состава водной вытяжки в Агрохимической лаборатории в Калмыцком филиале ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (г. Элиста).

Названия ассоциаций приведены по проекту Всероссийского кодекса фитоценологической номенклатуры. Названия видов растений даны по С. К. Черепанову (1995), в отдельных случаях – по «Флоре Нижнего Поволжья» (*Neocaspiя foliosa*, *Pyanckovia brachiata*; Нешатаев, 2001; Флора ..., 2018).

### Результаты и обсуждение

*Закономерности распространения сарсазанников и их классификация.* *Halocnemum strobilaceum* Pall. Vieb. является пустынным гипергалофитным суккулентным стержнекорневым полукустарничком, образующим куртины до 1.5 м в диаметре (фото). Ареал вида – Сахаро-Гобийский (Лавренко, 1962). Он протянулся от северного побережья Африки до Алашаньской Гоби.



**Фото.** Сарсазанник по днищу сора (фото И.А. Горяева).

На Прикаспийской низменности сарсазанники (*Halocnemeta strobilacei*) отмечены на солончаках как в пустынной, так и в степной зоне (Сафронова, 2018). В пустынной зоне сарсазановые сообщества встречаются по днищам соров, засоленных озер, на приморской равнине – по побережью Каспийского моря. В степной зоне обширные сарсазанники занимают окраинные части днищ озера Баскунчак и озера Эльтон.

Мы провели эколого-фитоценологическую классификацию сообществ формации *Halocnemeta strobilacei*, распространенных на Прикаспийской низменности в пределах Европейской России. Выделено 4 класса ассоциаций и 14 ассоциаций (табл. 1).

Сарсазановый ***Halocnemeta strobilacei pura*** класс ассоциаций включает одну ассоциацию – *Halocnemum strobilacei*. Сообщества ассоциации являются монодоминантными. Общее проективное покрытие в них – 5-10%. В ценозах принимают участие от 1 до 3 видов высших сосудистых растений: *Climacoptera crassa*, *Salicornia perennans*, *Suaeda salsa*.

Класс ассоциаций галофитнополукустарничково-сарсазановый ***Halocnemeta strobilacei halosuffruticulosa*** включает 6 ассоциаций. Общее проективное покрытие в сообществах такое же, как и в монодоминантных ценозах, – 5-10%. Количество видов в одном сообществе – от 2 до 4. Обиониевые сарсазанники (*Halocnemum strobilacei halimionosum verruciferae*) и кермековые

сарсазанники (*Halocnemum strobilacei limoniosum suffruticosi*) встречаются в пустынной и степной зонах. Древовидносолянковые сарсазанники (*Halocnemum strobilacei salsolosum dendroidis*) отмечены только в пустынной зоне. В степной зоне по окраине днища озера Баскунчак и озера Эльтон формируются сантонинопольно-сарсазановые (*Halocnemum strobilacei artemisiosum santonicae*) и биюргуново-сарсазановые (*Halocnemum strobilacei anabasisosum salsae*) сообщества (последние находятся здесь на северо-западной границе ареала). В пустынной зоне близ дельты реки Волга и побережья Каспия, также на северо-западной границе ареала, встречаются поташниково-сарсазановые ценозы (*Halocnemum strobilacei kalidiosum foliati*).

Однолетниково-сарсазановый **Halocnemeta strobilacei annuae** класс ассоциаций насчитывает 4 ассоциации. Общее проективное покрытие в два раза выше, чем в полукустарничково-сарсазановых сообществах, и составляет 20-30%. Во влажные годы может увеличиваться до 50%. Количество видов в одном ценозе – 2-7. Наиболее часто встречаются солеросово-сарсазановые (*Halocnemum strobilacei salicorniosum perennantis*), сведово-сарсазановые (*Halocnemum strobilacei suaedosum salsae*) и петросимониево-сарсазановые (*Halocnemum strobilacei petrosimoniosum brachiatae*) сообщества; реже – муртуковые сарсазанники (*Halocnemum strobilacei eremopyrosom orientalis*).

Местами в сарсазанниках в заметном количестве участвуют галофитные злаки и очень характерный для региона эфемероид *Poa bulbosa*. Они объединяются в злаково-сарсазановый **Halocnemeta strobilacei graminosa** класс ассоциаций и включают 3 ассоциации: бескильничиево-сарсазаннуовую (*Halocnemum strobilacei puccinelliosum dolicholepis*), прибрежничиево-сарсазанную (*Halocnemum strobilacei aeluroposum littoralis*) и мятликово-сарсазанную (*Halocnemum strobilacei poosum bulbosa*). Общее проективное покрытие в сообществах 10-50%. В одном сообществе принимают участие до 8 видов.

*Распределение ионов солей под сарсазановыми сообществами.* Н.И. Акжигитова (1982) отмечала, что по побережью Аральского моря сообщества сарсазанников (*Halocnemeta strobilacei*) связаны с солончаками, характеризующимися хлоридным типом засоления. В подобных условиях, согласно литературным данным, сарсазановые ценозы распространены на Араратской равнине (Барсегян, 1965). Для долины Тургая под сарсазанниками отмечается иной тип засоления – натриево-хлоридный (Викторов, 1959). На Прикаспийской низменности, по результатам наших данных, сарсазанники приурочены не только к хлоридному и натриево-хлоридному, но и к сульфатно-хлоридному типу засолению (табл. 2).

Под монодоминантными сообществами *Halocnemeta strobilacei* на пухлых солончаках общая сумма солей составляет 2.27-3.55%, но может достигать и 9.14%. При понижении грунтовых вод общая сумма солей ниже и колеблется в пределах от 0.04 до 1.5%. В почвах преобладают ионы Cl<sup>-</sup>. Их концентрация варьирует от 1.40 до 4.43%. Концентрация иона Na<sup>+</sup> меньше и составляет 0.138-2.446%.

Под ценозами с однолетниками (*Halocnemum strobilaceum+Petrosimonia brachiata*, *Halocnemum strobilaceum+Salicornia perennans*, *Halocnemum strobilaceum+Suaeda salsa*, *Halocnemum strobilaceum+Eremopyrum orientale*) общая сумма солей составляет 1.535-4.585%. Как и в монодоминантных сарсазанниках, высока концентрация ионов Cl<sup>-</sup> (0.63-1.95%) и Na<sup>+</sup> (0.25-1.24%). Увеличивается роль иона SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (0.28-1.06%).

Под сообществами с галофитными злаками (*Halocnemum strobilaceum + Puccinellia dolicholepis*) общая сумма солей – 0.67-2.14%. Преобладают ионы Cl<sup>-</sup>, меньшая концентрация у ионов Na<sup>+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

*Зональные особенности сарсазановых сообществ.* Сарсазановые (*Halocnemum strobilacei*) сообщества на Прикаспийской низменности формируются на солончаках в пустынной и в степной зонах. Несмотря на то что экологические условия их существования очень близки, в распределении сарсазанников и в видовом составе сообществ проявляются зональные черты.

В районе исследования только в пустынной зоне встречаются сообщества двух ассоциаций – древовидносолянково-сарсазановой (*Halocnemum strobilacei salsolosum dendroidis*) и поташниково-сарсазановой (*Halocnemum strobilacei kalidiosum foliati*); только в степной зоне также двух ассоциаций – биюргуново-сарсазановой (*Halocnemum strobilacei anabasisosum salsae*) и сантонинопольно-сарсазановой (*Halocnemum strobilacei artemisiosum santonicae*).

Сообщества 8 ассоциаций встречаются и в пустынной и в степной зонах, отличаясь в них по видовому составу и площади распространения.

**Таблица 1.** Классификационная схема сарсазановой (*Halocnemeta strobilacei*) формации на Прикаспийской низменности.

Формация	Класс ассоциаций	Ассоциация
Сарсазановая <i>Halocnemeta strobilacei</i>	Сарсазановый <i>Halocnemeta strobilacei pura</i>	Сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei</i>
	Галофитнополукустарничково-сарсазановый <i>Halocnemeta strobilacei halosuffruticulosa</i>	Кермеково-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei limoniosum suffruticosi</i>
		Поташниково-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei kalidiosum foliati</i>
		Древовидносолянково-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei salsosolum dendroidis</i>
		Обионово-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei halimionosum verruciferae</i>
		Биоргуново-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei anabasiolum salsae</i>
		Сантоникопольно-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei artemisiosum santonicae</i>
	Однолетниково-сарсазановый <i>Halocnemeta strobilacei annuae</i>	Петросимониево-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei petrosimoniosum brachiatae</i>
		Солеросово-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei salicorniosum perennantis</i>
		Сведово-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei suaedosum salsae</i>
		Мортуково-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei eremopyrosolum orientalis</i>
	Злаково-сарсазановый <i>Halocnemeta strobilacei graminosa</i>	Бескильничево-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei puccinelliosum dolicholepis</i>
		Прибрежничево-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei aeluroposolum littoralis</i>
		Мятликово-сарсазановая <i>Halocnematum strobilacei poosolum bulbosa</i>

Обиониево-сарсазановые (*Halocnemum strobilaceum*+*Halimione verrucifera*), и бескильницево-сарсазановые (*Halocnemum strobilaceum*+*Puccinellia dolicholepis*) сообщества приурочены преимущественно к степной зоне. В пустынной зоне они отмечены только в ее северной части. Монодоминантные сарсазанники (*Halocnemum strobilaceum*) и кермековые сарсазанники (*Halocnemum strobilaceum*+*Limonium suffruticosum*) наиболее часто встречаются в пустынной зоне.

**Таблица 2.** Сумма солей под сообществами *Halocnemum strobilaceum* на солончаках Прикаспийской низменности.

№	Растительное сообщество	Сумма солей в %	Cl, мг-экв./%	Na <sup>+</sup> , мг-экв./%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-экв./%
<b>Halocnemeta strobilacei pura</b>					
1	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	9.14	<u>124</u> 4.43	<u>106</u> 2.45	<u>30</u> 1.44
2	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	3.55	<u>61</u> 2.17	<u>49</u> 1.13	<u>0.75</u> 0.04
3	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	3.17	<u>56</u> 1.96	<u>34.35</u> 0.79	<u>0.25</u> 0.01
4	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	2.74	<u>39.50</u> 1.40	<u>34</u> 0.78	<u>7.25</u> 0.35
5	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	2.28	<u>21.40</u> 0.76	<u>29.95</u> 0.69	<u>15</u> 0.72
6	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1.63	<u>27.30</u> 0.97	<u>18.75</u> 0.43	<u>1.25</u> 0.06
7	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1.55	<u>25</u> 0.89	<u>24</u> 0.55	<u>1.25</u> 0.06
8	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1.46	<u>24.70</u> 0.88	<u>17.70</u> 0.41	<u>0.50</u> 0.02
9	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	1.37	<u>7.8</u> 0.28	<u>6</u> 0.14	<u>13.75</u> 0.66
10	<i>Halocnemum strobilaceum</i>	0.04	<u>0.10</u> 0.004	<u>0.10</u> 0.002	<u>0.25</u> 0.01
<b>Halocnemeta strobilacei annuae</b>					
11	<i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Eremopyrum orientale</i>	4.59	<u>55</u> 1.95	<u>53.70</u> 1.23	<u>22</u> 1.06
12	<i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Salicornia perennans</i>	2.40	<u>30</u> 1.06	<u>21.85</u> 0.50	<u>10.50</u> 0.50
13	<i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Suaeda salsa</i>	2.36	<u>34.30</u> 1.22	<u>30.80</u> 0.71	<u>5.75</u> 0.28
14	<i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Petrosimonia brachiata</i>	1.54	<u>17.70</u> 0.63	<u>10.9</u> 0.25	<u>8</u> 0.38
<b>Halocnemeta strobilacei halograminosa</b>					
15	<i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Puccinellia dolicholepis</i>	2.14	<u>22.70</u> 0.81	<u>18</u> 0.41	<u>12.50</u> 0.60
16	<i>Halocnemum strobilaceum</i> + <i>Puccinellia dolicholepis</i>	0.67	<u>7.80</u> 0.28	<u>8.95</u> 0.21	<u>3</u> 0.14

Солеросово-сарсазановые (*Halocnemum strobilaceum*+*Salicornia perennans*), сведово-сарсазановые (*Halocnemum strobilaceum*+*Suaeda salsa*) и петросимониево-сарсазановые (*Halocnemum strobilaceum*+*Petrosimonia brachiata*) тоже распространены в основном в пустынной зоне на



приморской равнине Каспийского моря. В степной зоне они формируются редко.

В сообществах формации *Halocnemeta strobilacei* принимает участие 41 вид высших сосудистых растений. Из них 34 вида встречаются в сообществах в пустынной и степной зоне. Из полукустарничков для сарсазанников в обеих зонах характерны *Frankenia hirsuta*, *Halimione verrucifera*, *Limonium suffruticosum* и *Atriplex cana*. Однолетники представлены *Petrosimonia brachiata*, *Petrosimonia oppositifolia*, *Salicornia perennans*, *Suaeda salsa*, *Eremopyrum triticeum* и другими. Среди злаков отмечены *Aeluropus littoralis*, *Poa bulbosa* и *Puccinellia dolicholepis*.

Только в ценозах пустынной зоны участвуют 7 видов: полукустарнички *Kalidium foliatum*, *Salsola dendroides* и однолетники *Climacoptera crassa*, *Frankenia pulverulenta*, *Neocaspia foliosa*, *Pyankovia brachiata*, *Suaeda acuminata*. Только в сообществах степной зоны отмечен один полукустарничек *Artemisia santonica*.

Наиболее часто встречающимся в сообществах видом является полукустарничек *Limonium suffruticosum* (III-V). Он принимает участие во всех полукустарничково-сарсазановых ценозах. Другие полукустарнички в сарсазанниках отмечаются изредка (I). Высокой встречаемостью (III-V) характеризуются такие однолетние солянки, как *Petrosimonia oppositifolia*, *Petrosimonia brachiata*, *Suaeda salsa* и *Salicornia perennans*. Реже принимает участие *Climacoptera crassa* (II-III). В злаковых сарсазанниках обычен *Puccinellia dolicholepis* (V), который иногда входит в состав однолетних сарсазанников (I).

### Выводы

По данным наших исследований, сарсазанники (*Halocnemeta strobilacei*) на Прикаспийской низменности в пределах Европейской России встречаются преимущественно в пустынной зоне на сорных солончаках и на засоленной приморской равнине Каспийского моря. В степной зоне Прикаспия редки, но занимают большие площади во впадинах с солеными озерами Баскунчак и Эльтон.

Формация состоит из 4 классов ассоциаций и 14 ассоциаций. Наиболее часто по всей территории исследования встречаются сообщества монодоминантной сарсазановой ассоциации. Реже отмечены галофитнополукустарничково-сарсазановые и однолетниково-сарсазановые ассоциации. Только для пустынной зоны характерны древовидносолянково-сарсазановая и поташниково-сарсазановая ассоциации. Общий видовой состав формации включает 41 вид высших сосудистых растений. Из них полукустарничков – 7, одно-двулетников – 31 (солянок – 8), злаков – 3.

Ценозообразующую роль в сообществах формации, кроме самого сарсазана, играют облигатные гипергалофитные полукустарнички (*Limonium suffruticosum*, *Halimione verrucifera*, *Kalidium foliatum*, *Salsola dendroides*), однолетники (*Petrosimonia oppositifolia*, *Suaeda salsa*, *Climacoptera crassa*, *Petrosimonia brachiata*) и злаки (*Puccinellia dolicholepis*).

Монодоминантные сарсазанники (*Halocnemum strobilaceum*) приурочены к солончакам с высокой концентрацией ионов хлора (Cl<sup>-</sup>). В почвах под бидоминантными ценозами доминирует не только ион хлора (Cl<sup>-</sup>), высокие значения имеют ионы натрия (Na<sup>+</sup>) и сульфата (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

*Финансирование.* Работа выполнена по плановой теме лаборатории Общей геоботаники БИН РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации» № 121032500047-1 и по договору НИР №1/71 от 30.04.2021 БИН РАН с Всемирным фондом дикой природы «Оценка местообитаний сайгака Северо-Западного Прикаспия».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрометеорологический обзор по Республике Калмыкия за 2014-2015 сельскохозяйственный год. 2015. Элиста: Калмыцкий республиканский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС». 8 с.
- Акжигитова Н.И. 1982. Галофильная растительность Средней Азии и ее индикаторные свойства. Ташкент: Издательство Фан. 177 с.
- Александрова В.Д. 1969. Классификация растительности. Ленинград: Наука. 275 с.
- Атлас Калмыцкой АССР. 1974 / Ред. С.Н. Сердитов. М.: ГУГК. 32 с.
- Бакташева Н.М., Хулхачеев А.С., Хазыкова Н.Б. 2017. Анализ видового состава семейства маревых (*Chenopodiaceae* Vent.) флоры Калмыкии // Естественные науки. № 4 (61). С. 22-27.
- Бананова В.А., Лазарева В.Г. 2014. Атлас растений Северо-Западного Прикаспия. Элиста: Издательство



Калмыцкого университета. 267 с.

- Барсебян А.М. 1965. Солянковая и солончачовая растительность Араратской равнины // Труды Ботанического института Армянского филиала АН СССР. № 15. С. 5-65.
- Борликов Г.М., Бакинова Т.И., Зеленская Е.А. 2009. Почвенно-земельные ресурсы аридных территорий. Состояние, использование, оценка. Элиста: Издательство Калмыцкого университета. 200 с.
- Быков Б.А. 1967. Геоботаническая терминология. Институт ботаники АН Каз. ССР. Алма-Ата: Наука. 167 с.
- Викторов С.В. 1959. Растительные сообщества – индикаторы грунтовых вод на лугах долины Тургая // Вестник МГУ. Серия биолого-почвенная. № 2. С. 67-83.
- Воронов А.Г. 1973. Геоботаника. М.: Высшая школа. 384 с.
- Голуб В.Б., Юрицына Н.А. 2013. Сообщества многолетних суккулентов в Северном Прикаспии // Растительность России. № 22. С. 21-28.
- Зенкина Т.Е. 2015. Некоторые особенности пространственной структуры ценопопуляций *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Vieb. на нарушенных территориях Черноземельского района Республики Калмыкия // Научный альманах. Т. 12. № 14. С. 417-421.
- Зенкина Т.Е., Сагалаев В.А. 2012. Пространственная и демографическая структура ценопопуляций сарсазана шишковатого (*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Vieb., *Chenopodiaceae*) в Республике Калмыкия // Вестник ВолГУ. Т. 11. № 1. С. 10-17.
- Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий для высших учебных заведений. 1999. Карта. М. 1:8000000 / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: Экор. 2 л.
- Исаченко Т.И., Рачковская Е.И. 1961. Основные зональные типы степей Северного Казахстана // Труды БИН АН СССР. Сер. 3: Геоботаника. Вып. 13. С. 133-397.
- Лавренко Е.М. 1962. Основные черты ботанической географии пустынь Евразии и Северной Африки. М.-Л.: Издательство АН СССР. 170 с.
- Лавренко Е.М. 1982. Растительные сообщества и их классификация // Ботанический журнал. Т. 67. № 5. С. 572-580.
- Левина Ф.Я. 1964. Растительность полупустынь Северного Прикаспия и ее кормовое значение. М.-Л.: Наука. 327 с.
- Лысенко Т.М., Митрошенкова А.Е. 2011. Растительность засоленных гидроморфных экотопов озера Эльтон и Баскунчак (Волгоградская и Астраханская области) // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 13. № 1. С. 863-870.
- Нешатаев Ю.Н. 1987. Методы анализа геоботанических материалов. Ленинград: Издательство Ленинградского университета. 192 с.
- Нешатаев Ю.Н. 2001. Проект Всероссийского кодекса фитоценологической номенклатуры // Растительность России. № 1. С. 62-70.
- Ниценко А.А. 1966. О критериях выделения растительных ассоциаций // Ботанический журнал Т. 51. № 8. С. 1085-1094.
- Полевая геоботаника. 1972 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. Т. 4. М.-Л.: Наука. 336 с.
- Сафронова И.Н. 2001. О Прикаспийской подпровинции Сахаро-Гобийской пустынной области // Ботанический журнал. Т. 87. № 3. С. 57-62.
- Сафронова И.Н. 2018. О полукустарничковом подтипе степного типа растительности // Труды XIV съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире». Т. 2. С. 129-131.
- Сафронова И.Н., Юрковская Т.К. 2015. Зональные закономерности растительного покрова равнин Европейской России и их отображение на карте // Ботанический журнал. Т. 100. № 11. С. 1121-1141.
- Уланова С.С., Чемидов М.М., Кондышев О.Ю., Никитенко Е.В., Маиштыков К.В., Федорова Н.Л., Горяев И.А. 2019. Геоинформационные системы в региональных исследованиях: теория, методология, практика (на материалах Республики Калмыкия). Элиста: Издательство ИКИАТ. 168 с.
- Флора Нижнего Поволжья. 2018. Т. 2. М.: Товарищество научных изданий КМК. 1083 с.
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб: Мир и семья. 495 с.
- Шенников А.П. 1938. Луговая растительность СССР // Растительность СССР. М.-Л.: Издательство Академии наук СССР. Т. 1. С. 429-637.
- Ярошенко П.Д. 1961. Геоботаника. М.-Л.: Издательство Академии наук СССР. 474 с.
- Nilhan Tug Gul, Yaprak Ahmet Emre, Ketenoglu Osman. 2008. Soil Determinants for Distribution of *Halocnemum strobilaceum* Vieb. (*Chenopodiaceae*) Around Lake Tuz, Turkey // Pakistan Journal of Biological Science. Vol. 11. No. 14. Pp. 565-570.
- Xiao-Xia Qu, Zhen-Ying Huang, Jerry M. Baskin, Carol C. Baskin. 2008. Effect of Temperature, Light and Salinity on Seed Germination and Radicle Growth of the Geographically Widespread Halophyte Shrub *Halocnemum strobilaceum* // Annals of Botany. Vol. 101. Pp. 293-299.

УДК: 582.572.226(575.2) (04)

## СОСТОЯНИЕ ДИКИХ ТЮЛЬПАНОВ СЕВЕРНОГО МАКРОСКЛОНА КЫРГЫЗСКОГО АЛА-ТОО В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ИХ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ

© 2022 г. А.Ж. Кендирбаева\*, К.Т. Шалпыков\*\*, Н.А. Рогова\*\*,  
А.К. Долотбаков\*\*, У.-У. Чынгыз\*\*

\*Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына  
Кыргызстан, 720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе, д. 547. E-mail: kendirbaeva63@gmail.com

\*\*Институт химии и фитотехнологий Национальной академии наук Кыргызской республики  
Кыргызстан, 720071, г. Бишкек, просп. Чуй, д. 267. E-mail: alhor6464@mail.ru

Поступила в редакцию 13.06.2021. После доработки 01.07.2021. Принята к публикации 01.07.2021.

Кыргызстан очень богат луковичными растениями. В целом группа эфемероидов в Кыргызстане широко представлена и относится к различным таксонам (семейства, роды и виды). В статье рассматривается современное состояние тюльпанов северного макросклона Кыргызского Ала-Тоо. Сильный полиморфизм, частые гибридизации, особенно среди тюльпанов, а также изменение окраски цветков при сушке гербария делают научную идентификацию отдельных видов достаточно сложной. В статье приведены результаты начальных исследований и годичного режима заповедования популяции тюльпанов в восточной части Кыргызского Ала-Тоо. По полученным данным тюльпаны чутко реагируют на заповедный режим.

Мониторинг за растительным покровом был проведен на пробных площадках, которые заложены в 2019 году, а также на контрольных участках. Все пробные площадки одной размерности (10 x 10 м<sup>2</sup>). Для проведения полустационарного мониторинга были выделены 5 пробных площадок и которые были огорожены сеткой рабицей для защиты от скота. Для проведения сравнительной характеристики и выявления стадии демутиации пробных площадок проведен мониторинг 10 контрольных пробных площадокна сопредельных идентичных территориях.

На огороженных пробных площадях годичной давности число особей диких тюльпанов намного больше, чем на контрольных участках. Заповедный режим в течение одного года благоприятно повлиял на растительный покров среднегорного пояса. За короткий промежуток времени наблюдается демутиационная стадия для всего флористического состава сообществ. Кратковременный (1 год) заповедный режим благоприятно повлиял на флористический состав сообществ, проективное покрытие травостоя, увеличение обилия диких тюльпанов и способствовал накоплению степного войлока.

*Ключевые слова:* эфемероиды, тюльпан, субэндемики, антропогенное воздействие, пробная площадка, контрольный участок, плодоносящие особи, огораживание, демутиация, общее проективное покрытие.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-91-103**

**EDN: LKQPLY**

Кыргызстан очень богат луковичными растениями. В целом группа эфемероидов в Кыргызстане представлена широко и относится к различным таксонам (семействам, родам и видам). Главенствующее место принадлежит семейству луковых (Alliaceae), лилейных (Liliaceae) и ирисовых (Iridaceae).

Всего для Кыргызстана приводится 25 видов рода *Tulipa* (Лазыков, Султанова, 2014). В районе исследования из них встречаются 10 видов: *Tulipa bifloriformis*<sup>1</sup>, *T. binutans*, *T. dasystemon*, *T. dasystemonoides*, *T. greigii*, *T. heterophylla*, *T. kolpakowskiana*, *T. ostrowskiana*, *T. tarda* и *T. zenaidae*.

<sup>1</sup> Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

Несмотря на это род *Tulipa* остается недостаточно изученным, до настоящего времени описываются новые виды. За последние годы описаны два новых для науки вида тюльпанов из Кыргызстана (тюльпан таласский – *T. talassica* и тюльпан Жака – *T. jacquesii*). Отдельные виды тюльпанов малоизвестны, а их видовой статус нуждается в подтверждении.

Практически все виды незначительно выходят за пределы территорию Кыргызстана, то есть являются субэндемиками.

Некоторые виды: *T. neustruevae* – тюльпан Неуструевой, *T. talassica* – тюльпан таласский, *T. subbiflora* – тюльпан почтидвухцветковый, *T. platystemon* – тюльпан ширококтычиночный, *T. anadroma* – тюльпан вверхстремляющийся – являются эндемиками Кыргызстана.

Некоторые виды, такие как: *T. greigii* – тюльпан Грейга, *T. kaufmanniana* – тюльпан Кауфмана использовались при выведении многочисленных культурных сортов и являются дикими предками культурных растений. Другие виды также могут использоваться для этой цели.

В целом, группа дикорастущих эфемероидов представляет огромный интерес в плане практической значимости для человека. Многие виды не только придают живописность ландшафтам, являются кормовыми, лекарственными и медоносными растениями. Они служат объектами коллекционирования, широко используются в озеленении, особенно при создании альпинариев, но самое главное – являются неисчерпаемым источником для выведения новых культурных сортов. В настоящее время во всем мире широко используются большое количество сортов крокусов, лилий, тюльпанов (Ивашенко, 2005). Ряд видов хорошо культивируются и выращиваются многочисленными любителями растений и садоводами.

В Красную книгу Кыргызстана (2006) занесены следующие виды: *T. affinis* – тюльпан родственный, *T. greigii* – тюльпан Грейга, *T. kaufmanniana* – тюльпан Кауфмана, *T. kolpakowskiana* – тюльпан Колпаковского, *T. korolkowii* – тюльпан Королькова, *T. ostrowskiana* – тюльпан Островского, *T. rosea* – тюльпан розовый, *T. tetraphylla* – тюльпан четырехлистный, *T. zenaidae* – тюльпан Зинаиды, *T. platystemon* – тюльпан ширококтычиночный.

Некоторые виды обладают относительно крупным цветком: *Tulipa affinis* – тюльпан родственный, *T. anadroma* – тюльпан вверхстремляющийся, *T. dubia* – тюльпан сомнительный, *T. ferganica* – тюльпан ферганский, *T. greigii* – тюльпан Грейга, *T. kaufmanniana* – тюльпан Кауфмана, *T. kolpakowskiana* – тюльпан Колпаковского, *T. korolkowii* – тюльпан Королькова, *T. ostrowskiana* – тюльпан Островского, *T. platystemon* – тюльпан ширококтычиночный, *T. rosea* – тюльпан розовый, *T. talassica* – тюльпан таласский, *T. zenaidae* – тюльпан Зинаиды. Цвет цветка у них варьирует от чисто-желтого или с наружными лепестками фиолетового или красноватого оттенка, до алого или пурпурного. Эти виды, особенно вблизи городов и крупных населенных пунктов подвержены интенсивному антропогенному воздействию, которое выражается, прежде всего, в сборе цветков и выкапывании луковиц, что привело к практически полному исчезновению тюльпанов в данных местообитаниях.

Другие отличаются более мелкими цветками желтого или белого цвета с фиолетовыми наружными лепестками: *T. bifloriformis* – тюльпан ложнодвухцветковый, *T. binutans* – тюльпан дваждыпоникий, *T. dasystemon* – тюльпан волосистотычиночный, *T. dasystemonoides* – тюльпан ложноволосистотычиночный, *T. heterophylla* – тюльпан разнолистный, *T. neustruevae* – тюльпан Неуструевой, *T. Subbiflora* – тюльпан почтидвухцветковый, *T. tarda* – тюльпан поздний, *T. turkestanica* – тюльпан туркестанский. Из-за малых размеров цветков они менее подвержены антропогенному воздействию.

Два вида имеют средние по величине цветки: *T. tetraphylla* – тюльпан четырехлистный и *T. tianschanica* – тюльпан Тяньшанский.

Виды тюльпанов неравномерно распространены по территории Кыргызстана. Большая часть видов произрастает в Западном Тянь-Шане и Памиро-Алае, меньшее количество тюльпанов произрастает на Северном Тянь-Шане. Лишь единичные виды характерны для Внутреннего Тянь-Шаня.

Наиболее редкими являются *T. affinis* – тюльпан родственный, *T. anadroma* – тюльпан вверхстремляющийся, *T. rosea* – тюльпан розовый, *T. kolpakowskiana* – тюльпан Колпаковского.

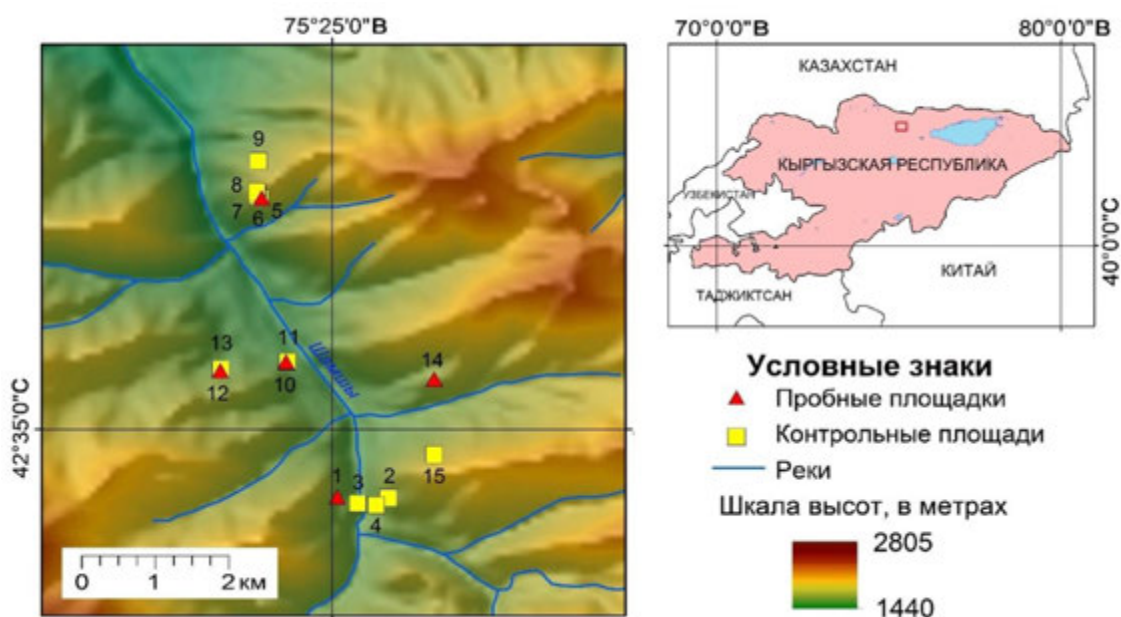
При том, что тюльпаны испытывают огромный антропогенный прессинг, данные о численности многих их видов в Кыргызстане отсутствуют совсем или недостаточны.

Многие из перечисленных видов трудны в определении, систематика их до сих пор запутана, а распространение видов в пределах ареала выяснено еще далеко не так подробно, как это необходимо. Одной из причин является очень короткий вегетационный период (ранний срок цветения), а также спорадическое распространение и малочисленность популяций. Другой причиной является очень большой полиморфизм, частые гибридизации среди тюльпанов, и, кроме того, изменение окраски цветков при сушке гербария, что делает научную идентификацию отдельных видов тюльпанов достаточно сложной.

Поэтому назрела необходимость пристального внимания и тщательного изучения популяций диких тюльпанов в Кыргызстане.

### Материалы и методы

В 2020 году в июле нами были начаты геоботанические исследования диких тюльпанов аридных экосистем в восточной части Кыргызского Ала-Тоо, в бассейне реки Шамшы (рис. 1). Мониторинг за растительным покровом был проведен летом 2020 года на пробных площадках, которые были заложены в 2019 году, а также на контрольных участках. Все пробные и контрольные площадки были одной размерности (10 x 10 м). Для проведения полустационарного мониторинга были выделены 5 пробных площадок. Для ограждения пробных площадок использованы железные профили в качестве столба и сетка рабица высотой 150 см. Пробные площадки созданы для проведения мониторинга в полустационарном режиме в течение 10 лет. Цель создания пробных площадок – мониторинг и исследование возобновляемости, сохранение, восстановление и приумножение диких тюльпанов района исследования в условиях заповедного режима. Пробные площадки были приурочены к южным, западным и северо-восточным склонам различной крутизны (табл.). Для проведения сравнительной характеристики и выявления стадии демутации на пробных площадках проведен мониторинг 10 контрольных площадок на сопредельных идентичных территориях. Геоботанические описания были составлены после огороживания пробных площадок. Всего в работе были использованы 5 огороженных и 10 контрольных площадок без огороживания (табл.).



**Рис. 1.** Район исследований с местами пробных площадок и контрольных участков. Номера соответствуют геоботаническим описаниям из таблицы.

Определяли флористический состав, обилие, высоту, фенологическую фазу и жизненное состояние каждого вида. Для оценки обилия видов растений использовали глазомерные методы прямого учета по шкале Друде:  $cor_2$  – растения обильны,  $cor_1$  – растения довольно обильны,  $sp$  ( $sparsae$ ) – растения редки,  $sol$  ( $solitariae$ ) – растения единичны. Общее проективное покрытие занятое

проекциями надземных частей растений, учитывалось для каждого исследуемого растительного сообщества.

Для получения данных по численности основного объекта исследования – тюльпана, нами проведен подсчет плодоносящих особей тюльпана на огороженных пробных площадях и на контрольных участках с целью выяснения восстановительной стадии диких тюльпанов аридных экосистем района исследования.

В камеральных условиях были определены и уточнены видовые принадлежности гербарных материалов растений в соответствии с изданием «Флора Киргизской ССР» (1950-1962).

На электронную карту нанесены пробные площадки и контрольные участки аридных фитоценозов бассейна реки Шамшы.

### Результаты и обсуждение

В результате исследований были нанесены на карту 5 огороженных пробных площадок и 10 контрольных площадей. Пробные площадки размером 10х10 м были заложены в 2019 году для выявления демутиационных процессов в степных экосистемах среднегорного пояса. Цель создания пробных площадок – сохранение и приумножение диких тюльпанов северного Кыргызстана. В среднегорном поясе Кыргызского Ала-Тоо ранее описанными видами тюльпанов являются: *Tulipa bifloriformis*, *T. binutans*, *T. greigii*, *T. kolpakowskiana*, *T. ostrowikiana* и *T. tarda* (Флора Киргизской ССР, 1951).

Подробно рассмотрим пробные площади и контроль.

**Пробная площадка № 1 соответствует 1 геоботаническому описанию** (табл.). В восточной части северного макросклона Кыргызского Ала-Тоо, с географическими координатами 42° 34' 27.8 "с.ш., 75° 25' 02.3" в.д., на южных склонах, крутизной 15°, на высоте 1652 м н.у.м. БС распространены кустарниково-овсяницево-стеблевые сообщества. Общее проективное покрытие травостоя колеблется от 55 до 60%. Доминирует овсяница валлиская. На фоне мелко-дерновинных степей рассеянно встречаются таволга зверобоелистная и виды разнотравья (табл.). Флористический состав сообществ небогатый, насчитывается 22 вида высших растений. Предположительно, растительность находится на типчаковой стадии, на стадии угасания ковылей. Здесь ковыль волосатик встречается рассеянно. На пробной площади насчитывается 17 плодоносящих особей тюльпана (*Tulipa* sp.), которые встречаются среди травянистой растительности. В 2020 году отмечено увеличение общего проективного покрытия травостоя на 10-15% по сравнению сопредельными участками. Наблюдается постепенное накопление степного войлока, который отсутствует за пределами пробной площадки. Все виды растений проходили полный цикл развития и нормально развивались, включая плодоношение.

**Контрольный участок № 1 соответствует 2 геоботаническому описанию** (табл.). Для сравнительного анализа пробной площадки №1 проведен мониторинг трёх контрольных участков, расположенных вблизи пробной площадки и находящихся в сходных экологических условиях. На первом контрольном участке, как и на пробной площадке №1, доминантами сообществ являются овсяница валлиская и таволга зверобоелистная. Контрольный участок занимает южные склоны, крутизной 20°, с географическими координатами 42° 34' 28.2" с.ш., 75° 25' 02.6" в.д., на высоте 1668 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя – 40%. Из злаков, кроме доминанта и бородача кровоостанавливающего, рассеянно встречаются тонконог гребенчатый, перловник Жакемонта и костер японский. Ковыль волосатик полностью отсутствует. Из разнотравья, с высоким обилием встречаются полынь сантолинолистная, аяния щитковая, тимьян Маршаллов (табл.). На контрольном участке насчитывается 30 видов высших растений. Наблюдается внедрение ковра японского и мятлика живородящего, которые увеличивают свое обилие при интенсивном выпасе скота. Тюльпаны (*Tulipa* sp.) встречаются редко, насчитывается всего 4 плодоносящих особей. Здесь он приурочен к пологу таволги вязолистной. Таволга вязолистная играет защитную роль для тюльпана от выпаса скота. Все виды растений проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. Предположительно, на численность тюльпана влияет сбор цветка и выпас скота в весенний период. Здесь по сравнению с пробной площадкой №1 проективное покрытие относительно низкое. Во время мониторинга травянистая растительность испытывает слабое воздействие выпаса скота.

**Контрольный участок № 2 соответствует 3 геоботаническому описанию** (табл.). Кустарниково-полынно-типчаквая ассоциация встречается на на южных и юго-восточных склонах крутизной 15°, с географическими координатами 42° 34' 24.6" с.ш., 75° 25' 15.2" в.д., на высоте 1669 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя – 40-45%. Кустарниковая растительность представлена таволгой зверобоелистной, шиповником, хвойником хвошевидным и можжевельником казацким. Доминируют овсяница валлисская и полынь сантолинолистная. С высоким обилием встречаются аяния щитковая, зизифора пахучковидная, тимьян Маршаллов, змееголовник цельнолистный и мятлик луковичный. Во флористическом составе сообществ насчитывается 31 вида высших растений. Присутствие эфемероида мятлика луковичного и эфемера бурачка полевого в степях, связано с интенсивным выпасом скота. Здесь также как и на предыдущем контрольном участке редко встречается тюльпан (*Tulipa* sp.), насчитывается 5 плодоносящих особей, приуроченных к пологу кустарников. Все виды растений проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. Наблюдается слабое воздействие выпаса скота.

**Таблица.** Фитоценотические показатели растительных сообществ района исследования.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Номера описаний	1*	2**	3**	4**	5*	6**	7**	8**	9**	10*	11**	12*	13**	14*	15**
Географические координаты	42° 57' 44" с.ш., 75° 41' 43" в.д.	42° 57' 43" с.ш., 75° 42' 40" в.д.	42° 57' 35" с.ш., 75° 42' 09" в.д.	42° 57' 33" с.ш., 75° 42' 24" в.д.	42° 37' 16" с.ш., 75° 40' 44" в.д.	42° 37' 16" с.ш., 75° 40' 43" в.д.	42° 17' 16" с.ш., 75° 40' 41" в.д.	42° 37' 48" с.ш., 75° 40' 38" в.д.	42° 37' 59" с.ш., 75° 40' 40" в.д.	42° 59' 23" с.ш., 75° 41' 06" в.д.	42° 59' 23" с.ш., 75° 41' 08" в.д.	42° 59' 11" с.ш., 75° 40' 20" в.д.	42° 59' 13" с.ш., 75° 40' 21" в.д.; **	42° 59' с.ш., 75° 43' в.д.	42° 58' с.ш., 75° 43' в.д.
Экспозиция склона	Ю	Ю	ЮЮВ	В	З	З	З	З	З	СВ	СВ	ССВ	ССВ	Ю	Ю
Крутизна склона	15°	20°	25°	45°	40°	35°	30°	25°	25°	8°	15°	20°	20°	18°	10°
Высота, м н.у.м. БС	1652	1668	1669	1659	1885	1878	1879	1882	1794	1586	1579	1648	1654	1831	1818
ОПП, %***	55-60	40	45-50	55	50-55	50	75-80	85	65-70	65-70	65-70	80	65-70	30	30-35
Название вида	Обилие видов растений по шкале Друде														
1. <i>Spiraea hypericifolia</i>	sp		sp	sp											
2. <i>Festuca valesiaca</i>	cop <sub>1-2</sub>	cop <sub>1</sub>	cop <sub>1-2</sub>	cop <sub>1</sub>	cop <sub>1-2</sub>	cop <sub>1-2</sub>	sp	sp	cop <sub>2</sub>	cop <sub>1-2</sub>	cop <sub>1</sub>	sp	sp	cop <sub>1</sub>	cop <sub>1</sub>
3. <i>Poa angustifolia</i>	sp		sp	sp					sol	sp	sol	sp	sp		
4. <i>Carex turkestanica</i>	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp		sp	sp	sp	sp	sp	sol	
5. <i>Hypericum perforatum</i>	sp		sp	sp	sol	sol	sp	sp	sol	sol		sp	sol	sol	
6. <i>Artemisia santolinifolia</i>	sp	sp	cop <sub>1</sub>	cop <sub>1</sub>					sp			sp	sp	sp	sol
7. <i>A. dracunculus</i>	sp	sol	sol	sol	sol				sp	sp	cop <sub>1</sub>	sp	sp	sp	sp
8. <i>Achillea setacea</i>	sol									sp	sol	sp	sol	sol	sp
9. <i>Centaurea squarrosa</i>	sol	sol												sp	sp
10. <i>Tulipa</i> sp.	sp	sol	sol	sp				sp	sp	sp	sol	sp	sol	sol	
11. <i>Plantago lanceolata</i>	sp	sol	sol							sp	sol				

## Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12. <i>Thymus marschallianus</i>	sp	sp	sp	sp						sp <sub>4</sub>	sol	sol	sp		
13. <i>Potentilla canescens</i>	sp	sol	sp	sp						sp	sp			sp	
14. <i>Convolvulus arvensis</i>	sol	sol								sol	sol				
15. <i>Allium korolkowii</i>	sp	sp	sp	sp						sp	sol			sol	sol
16. <i>Alyssum campestre</i>	sol	sol	sol	sol	sp	sol								sp	sp
17. <i>Ajania fastigiata</i>	sp	sp	sp	sp		sp	sp	sp	sp			sp	sp	sp	sp
18. <i>Melica jacquemontii</i>	sol	sol													
19. <i>Andropogon ischaemum</i>	sp	sp	sol												
20. <i>Stipa capillata</i>	sol		sol	sol				sol				sol		sp	sol
21. <i>Eremostachys speciosa</i>	sol	sol	sol												sol
22. <i>Oxytropis macrocarpa</i>	sol	sol		sol	sol		sp	sp						sp	sp
23. <i>Koeleria cristata</i>		sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp		sp	sp	sol	sol
24. <i>Bromus japonicus</i>		sol								sol				sol	sol
25. <i>Artemisia serotina</i>		sol			sp	sp	sp			sp	sp			cop <sub>1-2</sub>	cop <sub>1</sub>
26. <i>Achillea biebersteinii</i>		sol	sol												
26. <i>Potentilla asiatica</i>		sol													
27. <i>Allium petraeum</i>		sol			sol	sol								sol	
28. <i>Scorzonera sp.</i>		sol													
29. <i>Verbascum songaricum</i>		sol													
30. <i>Orostachys thyrsoiflora</i>		sol		sol											
31. <i>Jurinea modesti</i>		sol													
32. <i>Ephedra equisetina</i>			sol	sol											
33. <i>Juniperus sabina</i>			sol	sol											
34. <i>Rosa sp.</i>			sol					sol	sol						
35. <i>Astragalus sp.</i>			sol										sol		
36. <i>Ixiolirion tataricum</i>			sol												
37. <i>Ziziphora clinopodioides</i>			sp	cop <sub>1</sub>	sp	sp	sol							sp	sp
38. <i>Poa bulbosa</i>			sp	sp						sp	sp				



## Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
39. <i>Tragopogon</i> sp.			sol		sol										
40. <i>Dracocephalum</i> <i>integrifolium</i>			sp	sp			sp	sp				sp	sp	sol	sp
41. <i>Medicago</i> <i>falcata</i>			sol	sol						sol	sol	sol	sol	sol	sol
42. <i>B. solium</i> <i>setaceum</i>			sol			sol	sol			sol	sol			sol	sol
43. <i>Phlomis</i> <i>pratensis</i>			sol	sol						sol	sol	cop <sub>1</sub>	cop <sub>1</sub>		
44. <i>Lonicera</i> <i>microphylla</i>				sol											
45. <i>Cotoneaster</i> <i>multiflorus</i>				sol											
46. <i>Dianthus</i> <i>kuschakewiczii</i>				sol			sol	sp	sol						
47. <i>Hedysarum</i> <i>songoricum</i>				sol			sol	sp							
48. <i>Astragalus</i> <i>platyphyllus</i>				sol	sp	sp	sp			sol		sp		sol	
49. <i>Bromus</i> <i>inermis</i>					sol	sp									sol
50. <i>Haplophyllum</i> <i>latifolium</i>					sol	sp	sol								
51. <i>Ferula ovina</i>					sol										
52. <i>Alcea</i> <i>nudiflora</i>					sol	sol									
53. <i>Convolvulus</i> <i>pseudo-</i> <i>cantabrica</i>					sol	sp					sp			sol	sol
54. <i>Tulipa greigii</i>					sp	sp	sp								
55. <i>Hypericum</i> <i>scabrum</i>					sp	sp									
56. <i>Centaurea</i> <i>ruthenica</i>					sol	sp	sp	cop <sub>1</sub>	sol					sol	
57. <i>Scutellaria</i> sp.					sol	sp								sol	sp
58. <i>Eremurus</i> <i>tianschanicus</i>					sol	sp	sol								
59. <i>Lagochilus</i> <i>platycalyx</i>					sol	sp								sol	sol
60. <i>Crambe</i> <i>kotschyana</i>					sol	sol								sol	
61. <i>Gentiana</i> <i>tianschanica</i>					sp				sol			sol			
62. <i>Agropyron</i> <i>pectinatum</i>						sol								sp	
63. <i>Inula</i> <i>macrophylla</i>						sp									
64. <i>Galatela</i> <i>coriacea</i>						sol						sol		sol	
65. <i>Dipsacus</i> <i>dipsacoides</i>						sp	sp	sp							

## Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
66. <i>Poa nemoralis</i>							sp	sp							
67. <i>Phleum phleoides</i>							sp	sp	sp			sp	sp		
68. <i>Ph. pratense</i>							sp	sp					sp		
69. <i>Patrinia intermedia</i>							sp								
70. <i>Galium verum</i>							sp	sp	sp			sol			
71. <i>Betonica foliosa</i>							sp	sp	sp			sp	sp		
72. <i>Eremostachys fetisowii</i>							sol								
73. <i>Pedicularis dolichorhiza</i>							sp	sp	sp			sol	sol		
74. <i>Allium caeruleum</i>							sol	sp							
75. <i>Poa pratense</i>							sp								
76. <i>Seseli schrekianum</i>								sol	sol				sol		
77. <i>Astragalus fedtschenkoanus</i>									sp						
78. <i>Bupleurum krylovianum</i>									sol						
79. <i>Thesium alatavicum</i>									sol						
80. <i>Origanum vulgare</i>									sol		sol	sp	sp		
81. <i>Veronica spuria</i>									sol			sol			
82. <i>Elytrigia repens</i>										sol		sol			
83. <i>Artemisia absinthium</i>										sol	sol				
84. <i>Salvia deserta</i>										sol	sol				
85. <i>Potentilla orientalis</i>										sp	sol				
86. <i>Medicago minima</i>											sp				
87. <i>Nepeta pannonica</i>											sp	sp	sp		
88. <i>Artemisia scoparia</i>											sol			sp	sp
89. <i>Delpinium confusum</i>												sp	sol		
90. <i>Galium turkestanicum</i>												sp			
91. <i>Crepis sibirica</i>												sol			
92. <i>Cirsium incanum</i>												sol		sol	sp
93. <i>Oberna behen</i>												sol			
94. <i>Thalictrum minus</i>												sol	sol		

## Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
95. <i>Rhinantus songaricus</i>												sol			
96. <i>Dactylis glomerata</i>												sp			
97. <i>Agrostis stolonifera</i>												sol	sp		
98. <i>Erigeron kanadensis</i>												sol			
99. <i>Rochelia bungei</i>												sol			sol
100. <i>Gentianella turkestanorum</i>												sol	sol		
101. <i>Campanula glomerata</i>													sol		
102. <i>Viola rupestris</i>													sol		
103. <i>Ulugbekia tschimganica</i>													sol		
104. <i>Geranium pratense</i>													sol		
105. <i>Stipa kirghisorum</i>														sol	sol

**Примечание к таблице.** 1\* – номера пробных площадок, загороженных сеткой рабицей в 2019 году; 2\*\* – номера контрольных участков; ОПП \*\*\* – общее проективное покрытие травостоя, %.

**Контрольный участок №3 соответствует 4 геоботаническому описанию** (табл.). Кустарниково-полынно-злаковая ассоциация встречается на крутых востчных склонах крутизной 45°, с географическими координатами 42° 34' 28.8" с.ш., 75° 25' 14.4" в.д., высоте 1659 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя – 55%. Из кустарников встречаются можжевельник сибирский, жимолость мелколистная, кизильник многоцветковый, хвойник хвощевой и таволга зверобоелистная. Последний вид кустарника встречается довольно часто. Из злаков часто встречаются овсяница валлиская, тонконог гребенчатый, мятлики узколистный и луковичный. Рассеянно встречается ковыль волосатик. Доминирует полынть сантолинолистная. Во флористическом составе сообществ насчитывается 30 видов высших растений. Здесь также как и на предыдущем контрольном участке рассеянно встречаются мятлик луковичный и бурачок полевой. На контрольном участке насчитывается 11 плодоносящих особей тюльпана (*Tulipa* sp.), которые приурочены к пологу кустарников. Все виды растений проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. Здесь также как и на предыдущих контрольных участках, во время мониторинга воздействие выпаса скота слабое.

**Пробная площадка №2 соответствует 5 геоботаническому описанию** (табл.). Кустарниково-овсяницева ассоциация занимает крутые западные склоны (40°), с географическими координатами 42° 36' 50.4" с.ш., 75° 24' 26.6" в.д. Труднодоступный участок. Высота местности 1886 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя – 50-55%. Доминантами сообществ являются овсяница валлиская и шиповник (*Rosa* sp.). Во флористическом составе сообществ насчитывается 27 видов высших растений. Жизненное состояние всех видов растений отличное, все виды проходят полный вегетационный цикл, и заграживание позитивно повлияло на состояние растительности. Степень проективного покрытия растительности высокая. На пробной площади насчитывается 19 плодоносящих особей тюльпана Грейга, которые встречаются среди травянистой растительности.

**Контрольный участок №4 соответствует 6 геоботаническому описанию** (табл.). Для сравнительного анализа пробной площадки №2 проведен мониторинг четырёх контрольных участков, расположенных вблизи к пробной площади. Разнотравно-типчакое сообщество (контроль) занимает крутые (35°) западные склоны, с географическими координатами

42° 36' 50.4" с.ш., 75° 24' 25.9" в.д. Высота местности 1878 м н.у.м. БС. На сопредельных территориях контрольного участка расположены очень крутые и обрывистые склоны. Общее проективное покрытие травостоя неравномерное – 50%. На фоне засухоустойчивых злаков встречаются доминанты саванноидных степей Кыргызстана – девясил крупнолистный и эремурус тяньшанский. Во флористическом составе сообществ насчитывается 26 видов высших растений. Встречаются 8 плодоносящих особей тюльпана Грейга. Все виды растений проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. Воздействие выпаса скота на растительность очень слабое. Крутые и обрывистые склоны уменьшают отрицательное воздействия выпаса скота.

**Контрольный участок № 5 соответствует 7 геоботаническому описанию** (табл.). Разнотравно-злаковая ассоциация контрольного участка распространена на западных склонах крутизной 30°. Географические координаты сообщества – 42° 36' 51.8" с.ш., 75° 24' 24.8" в.д. Высота местности 1879 м н.у.м. БС. Этот участок также расположен в малодоступной части ущелья Шамшы. Общее проективное покрытие травостоя неравномерное – 75-80%. Из злаков часто встречаются следующие виды: овсяница валлисская, мятлик боровой, тонконог гребенчатый, тимофеевки степная и луговая. Наблюдается накопление прошлогодних вегетативных побегов овсяницы валлиссской. Видовой состав разнотравья богатый (табл.). На контрольном участке среди густой травянистой растительности насчитывается 8 плодоносящих особей тюльпана Грейга. Все виды растений проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. Для выпаса скота участок недоступен.

**Контрольный участок № 6 соответствует 8 геоботаническому описанию** (табл.). Злаково-разнотравная ассоциация занимает западную экспозицию крутизной 25°, с географическими координатами 42° 57' 41.3" с.ш., 75° 24' 24.4" в.д. Высота местности 1882 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя высокое – 85%. Из злаков, с высоким обилием встречаются овсяница валлисская, мятлик луговой, токоног гребенчатый, тимофеевки степная и луговая. Ковыль волосатик встречается рассеянно. Из разнотравья, с высоким обилием встречаются ворсянка лазоревая, василек русский, буквица олиственная и др. (табл.). Во флористическом составе сообществ насчитывается 21 вид высших растений. На контрольном участке насчитывается 14 плодоносящих особей тюльпана (*Tulipa* sp.). Встречается очень много нор грызунов, вокруг которых имеются шелухи от луковиц тюльпана. Состояние остальных видов растений отличное. Здесь также как и на предыдущих участках обрывистые склоны ограничивают доступ к выпасу растительность от выпаса скота. Растительность не подвергается воздействию выпаса.

**Контрольный участок № 7 соответствует 9 геоботаническому описанию** (табл.). Разнотравно-злаковая ассоциация занимает западные склоны крутизной 25°. Географические координаты сообщества – 42° 37' 59.4" с.ш., 75° 24' 25.2" в.д. Высота местности 1794 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя 65-70%. Из злаков, с высоким обилием встречаются овсяница валлисская, тонконог гребенчатый, мятлик узколистный и тимофеевка степная. Из разнотравья, с высоким обилием встречаются буквица олиственная, змееголовник цельнолистный иподмаренник степной. Во флористическом составе сообществ насчитывается 25 видов высших растений. На фоне мелкoderновинных злаков насчитывается 9 плодоносящих особей тюльпана (*Tulipa* sp.). Состояние растительного покрова отличное. Наблюдается накопление прошлогодних вегетативных побегов овсяницы валлиссской. Воздействие выпаса скота на растительность очень слабое.

**Пробная площадка № 3 соответствует 10 геоботаническому описанию** (табл.). Полынно-злаковая ассоциация занимает северо-восточные пологие (8°) склоны, с географическими координатами 42° 35' 32.2" с.ш., 75° 24' 38.1" в.д. Высота местности 1586 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя 65-70%. Из злаков, с высоким обилием встречаются овсяница валлисская, пырей ползучий, мятлик узколистный и тонконог гребенчатый. Преобладают полыни эстрагон и поздняя. Во флористическом составе сообществ насчитывается 24 вида высших растений. Тюльпан (*Tulipa* sp.) встречается редко, насчитывается 7 плодоносящих особей тюльпана. Все виды растений проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. После однолетней изоляции травостоев от выпаса проявляются увеличение проективного покрытия и улучшение жизненного состояния всех видов растений, по сравнению вне пробной площадки.

**Контрольный участок № 8 соответствует 11 геоботаническому описанию** (табл.). Для сравнительного анализа пробной площадки №3 проведен мониторинг одного контрольного участка, который расположен вблизи с пробной площадкой и находится в сходных экологических условиях.

Характерны сообщества эстрагоново-типчаковых степей, которые занимают пологие (15°) северо-восточные склоны. Географические координаты сообщества 42° 23' 32.2" с.ш., 75° 24' 38.8" в.д. Высота местности 1579 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя 65-70%. Из злаков, с высоким обилием встречаются овсяница валлисская, мятлики узколистный и живородящий. Эдификатором сообществ является полынь эстрагон. Из разнотравья, с высоким обилием встречается тимьян Маршаллов. Во флористическом составе сообществ насчитывается 24 вида высших растений. Тюльпан (*Tulipa* sp.) встречается очень редко, насчитывается 1 плодоносящего экземпляра тюльпана. Растительность подвержена интенсивному воздействию выпаса в весеннее, летнее и осеннее время года. Антропогенный прессинг обусловлен тем, что недалеко от контрольного участка (примерно 1 км к северо-западу) находится животноводческий комплекс.

**Пробная площадка № 4 соответствует 12 геоботаническому описанию** (табл.). Разнотравно-зопниковая ассоциация занимает северный и северо-восточный склоны крутизной 20°, с географическими координатами 42° 35' 27.9" с.ш., 75° 24' 12.0" в.д. Высота местности 1648 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя высокое – 80%. Флористический состав сообществ очень богатый (табл.). Из злаков, с высоким обилием встречаются мятлик узколистный, тимофеевка степная, пырей ползучий, овсяница валлийская и тонконог гребенчатый. Эдификатором сообществ является зопник луговой. Из разнотравья, наиболее часто встречаются буквица олиственная, котовник венгерский и зверобой продырявленный. Во флористическом составе сообществ насчитывается 39 видов. Во флористическом составе сообществ насчитывается 24 вида высших растений. высших растений. Рассеянно встречаются тюльпан (*Tulipa* sp.). Здесь насчитывается около 21 плодоносящих особей тюльпана. Заповедный режим благоприятно влияет на видовой состав сообществ и жизнеспособность видов растений.

**Контрольный участок № 9 соответствует 13 геоботаническому описанию** (табл.). Для сравнительного анализа пробной площадки №4 проведен мониторинг одного контрольного участка, расположенного вблизи пробной площадки в сходных экологических условиях. Злаково-разнотравная ассоциация занимает северный и северо-восточный склоны крутизной 20°. Географические координаты сообщества 52° 35' 29.4" с.ш., 75° 24' 15.0" в.д. Высота местности 1654 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя 65-70%. Из злаков, с высоким обилием встречаются овсяница валлийская, мятлик узколистный, полевица столоносная, тонконог гребенчатый, тимофеевки луговая и степная. Эдификатором сообществ является зопник луговой. Флористический состав сообщества довольно богатый, насчитываются 29 видов высших растений (табл.). Тюльпан (*Tulipa* sp.) встречается рассеянно, насчитывается 5 плодоносящих особей. Виды растений слагающих фитоценоз проходят все стадии развития, но не достигают обычных размеров. Во флористическом составе сообществ насчитывается 31 вид высших растений. На состояние растительности оказывает близость животноводческого комплекса, в связи с чем, растительность подвержена интенсивному воздействию выпаса.

**Пробная площадка № 5 соответствует 14 геоботаническому описанию** (табл.). Полынно-типчаковая ассоциация занимает южные склоны крутизной 18°, с географическими координатами 42° 35' 24.0" с.ш., 75° 25' 48.0" в.д. Высота местности 1861 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя низкое 30%. Доминантами сообществ являются овсяница валлисская и полынь поздняя. Из злаков, с высоким обилием встречаются пырей волосоносный и ковыль волосатик. Рассеянно встречаются ковыль киргизский, бурачок полевой и костер японский. Из разнотравья, наиболее часто встречаются василек русский, зизифора пахучковидная и аяния щитковидная. Во флористическом составе сообществ насчитываются 39 видов высших растений. На пробной площадке обнаружены всего 4 экземпляра плодоносящих особей тюльпана (*Tulipa* sp.). Наблюдаются демулационные процессы. Жизненное состояние многих видов растений удовлетворительное по сравнению сопредельными участками.

**Контрольный участок № 10 соответствует 15 геоботаническому описанию** (табл.). Для сравнительного анализа пробной площадки № 5 проведен мониторинг одного контрольного участка, который расположен вблизи с пробной площадкой в сходных экологических условиях. Типчаково-полынная ассоциация занимает юго-западный склон крутизной 10°. Географические координаты сообщества 42° 34' 48.0" с. ш., 75° 25' 48.0" в. д. Высота местности 1818 м н.у.м. БС. Общее проективное покрытие травостоя низкое 30-35%. Доминантами сообществ являются, как и в

предущей ассоциации, овсяница валлиская и полынь поздняя. Из злаков, с высоким обилием встречается костер японский. Во флористическом составе сообществ насчитываются 27 видов высших растений. Здесь полностью отсутствует плодopoсyащие особи тюльпана. Виды растений, слагающих фитоценоз вегетативно развиты не плохо, но не плодonoсят. Растительность подвергается воздействию интенсивного выпаса. На состояние растительности оказывает близость животноводческого комплекса, в связи с чем она подвержена интенсивному воздействию выпаса в значительной части времени года – в весенний, летний и осенний периоды.

Проведенные исследования и анализ собранных материалов показал, что в целом, растительность района исследования подвергается антропогенному прессингу в разной степени. Значительная часть территории находится под воздействием умеренного выпаса. Растительность (около 30% обследованной площади – геоботанические описания № 5, 6, 7, 8) испытывает очень слабое воздействие выпаса. На контрольном участке (геоботаническое описание №9) полностью отсутствует выпас скота. Здесь слабый антропогенный прессинг связан со сложностью рельефа, т.е. труднодоступностью участка. Наличие множества нор грызунов можно рассматривать, как слабо измененную экосистему, где сохранилась трофическая цепь природных экосистем. Одновременно следует отметить, что численность грызунов оказывает влияние на состояние диких тюльпанов. Наличие нор грызунов на пробных площадках, можно рассматривать, как слабо измененную экосистему, где сохранилась трофическая цепь природных экосистем. Заповедный режим с отсутствием выпаса и, в целом, антропогенного воздействия заметно повлиял на увеличение численности грызунов. Так, на одном из участков были обнаружены множество свежeverькопанных нор с колониями грызунов, вокруг которых было большое количество шелухи от лукович тюльпанов. Это свидетельствует о том, что трофическая цепь грызунов тесно связана с функционированием популяций тюльпанов.

Одновременно следует отметить, что численность грызунов оказывает влияние на состояние диких тюльпанов. В связи с этим, рекомендуется провести зоологическую оценку территории для определения видовой принадлежности грызунов, их трофических особенностей и численности, поскольку есть большая вероятность нанесения непоправимого вреда различным видам тюльпанов, в том числе и охраняемым Красной книгой Кыргызстана (2006).

На значительной части (40-45%) исследованной территории тюльпаны встречаются рассеянно (*sparse*). Исключением являются некоторые участки, примерно 20-25% от обследованной площади, где единично встречаются или полностью отсутствуют тюльпаны и флористический состав сообществ отличается небольшим набором видов (табл., контрольные участки – описания № 2, 11, 13, 15).

В загороженных трёх пробных площадках (описания № 1, 5, 12) годичной давности число особей диких тюльпанов намного больше (17, 19 и 21) плодonoсящих особей, чем на контрольных участках. Здесь следует отметить, что плодonoсящие особи на пробных площадках распространены равномерно, тогда как на контрольных участках тюльпаны приурочены к пологам кустарников. На контрольных участках (описания № 2, 3, 6, 7, 11) количество плодonoсящих особей колеблется от 4 до 8. На пробных площадках № 3 и № 5 (описания № 10, 14) наблюдалось небольшое число плодonoсящих особей диких тюльпанов – от 4 до 7 экземпляров. В целом, заповедный режим в течение одного года благоприятно повлиял на растительный покров среднегорного пояса.

### **Выводы**

Современное состояние степной растительности района исследования было оценено нами, как удовлетворительное. Предположительно, ранее в районе исследования были распространены ковыльно-типчачово-полынные сообщества. В результате интенсивного выпаса скота, ковыли начали выпадать из травяного покрова. Присутствие эфемера бурачка полевого, костра японского и мятлика луковичного в растительных сообществах указывает на интенсивный выпас скота.

Кратковременный (1 год) заповедный режим благоприятно повлиял на флористический состав сообществ, проективное покрытие травостоя, увеличение обилия диких тюльпанов и способствовало накоплению степного войлока.

На северных, северо-восточных, восточных и западных экспозициях склонов гор района исследования наблюдается наибольшее число особей диких тюльпанов. Южные экспозиции склона

гор отличаются наименьшим числом плодоносящих особей диких тюльпанов. Исключением является пробная площадка №1, где имеются 17 плодоносящих особей диких тюльпанов. По нашим предварительным данным, это связано с защитной ролью кустарников и заповедным режимом.

Можно сделать вывод, что на пробных площадках заметно большее количество плодоносящих особей тюльпанов, сравнительно с контрольными участками, где их количество сильно колеблется. На труднодоступных пробных площадках и контрольных участках распространены растительные сообщества, которые отличаются богатым флористическим составом сообществ. В результате анализа пробных площадок и контрольных участков нами было установлено, что кратковременный (1 год) заповедный режим (огораживание) благоприятно влияет на флористический состав сообществ, проективное покрытие травостоя, увеличение обилия диких тюльпанов и способствует накоплению степного войлока. В целом, современное состояние степной растительности района исследования было оценено нами, как удовлетворительное.

*Финансирование.* Все мероприятия в полевых условиях проведены в рамках проекта: «Защита диких тюльпанов и поддержка пастбищных сообществ в горах Кыргызстана». Работы были выполнены совместно с партнерскими организациями: Филиалом компании «Фауна энд Флора Интернэшнл» («Fauna and Flore International») в Кыргызской Республике, Общественный фонд «Биоресурс» и «Ассоциация лесопользователей и землепользователей Кыргызстана», при финансовой поддержке программы Darwin Initiative Правительства Великобритании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иващенко А.А.* 2005. Тюльпаны и другие луковичные растения Казахстана. Алматы. 192 с.  
Красная книга Кыргызской Республики. 2-изд. Бишкек: 2006. 544 с.  
*Лазьков Г.А., Султанова Б.А.* 2014. Кадастр флоры Кыргызстана. Бишкек. 125 с.  
Полевая геоботаника. 1964. В 5-ти т. М.-Л. . Т. 3. 530 с.; Т. 5. 492 с.  
*Черепанов С.К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб: Мир и семья. 992 с.  
Флора Киргизской ССР. 1950-1962. Фрунзе. 1952. Т. I. 102 с.; 1950. Т. II. 315 с.; 1951. Т. III. 149 с.; 1953. Т. IV. 154 с.; 1955. Т. V. 186 с.; 1955. Т. VI. 298 с.; 1957. Т. VII. 643 с.; 1959. Т. VIII. 223 с.; 1960. Т. IX. 214 с.; 1962. Т. X. 388 с.; 1951. Т. XI. 607 с.



**КОПЫТНЫЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
ИЗ КРАСНОЙ КНИГИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

© 2022 г. А.А. Луцкекина, Т.Ю. Каримова, В.М. Неронов

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

Поступила в редакцию 07.05.2022. После доработки 15.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

За последние сто лет биоразнообразие планеты резко сократилось. К настоящему времени в Красный список Международного союза охраны природы внесено более 142500 видов животных, из которых около 40000 находятся под угрозой исчезновения (The IUCN ..., 2022). Красные книги разного уровня представляют собой списки редких и находящихся под угрозой исчезновения видов с указанием прошлого и современного их распространения, особенностей воспроизводства, уже принятых и необходимых в дальнейшем мер охраны. Они выступают формально-юридическим основанием для установления в отношении указанных объектов особого режима правовой охраны.

В новое издание Красной книги Российской Федерации (2021) вошли четыре вида копытных, играющих существенную роль в биоценозах степей и пустынь. Два из них уже не встречаются в дикой природе на территории России: с XIX в. – лошадь Пржевальского (*Equus przewalskii* Poljakov, 1881), с начала XX в. – кулан (*Equus hemionus* Pallas, 1775), а состояние популяций сайгака (*Saiga tatarica* Linnaeus, 1766) и дзерена (*Procapra gutturosa* Pallas, 1777) вызывает серьезные опасения. Выпадение членов этой группы из структуры экосистем не только снизит уровень биоразнообразия аридных биомов, но и может привести к их деградации.

Последний раз кулана видели на территории России в Забайкалье в 1926 г., и на протяжении уже почти 20 лет ведутся дискуссии о его реинтродукции в Даурии и Северо-Западном Прикаспии, однако без проведения полномасштабных научных исследований это может оказаться рискованным во всех отношениях.

Численность и состояние дзерена на территории России, где проходит северная граница ареала вида, в значительной степени зависит от его состояния на территории Монголии. После полного исчезновения вида в 70-80-е гг. на Алтае, в Туве и Забайкалье начавшийся в 1990-х гг. рост численности северокеруленской популяции в Монголии привел к восстановлению миграций вида в зимний период на территорию Юго-Восточного Забайкалья, а благоприятные природные условия и действенная охрана, организованная на территории двух биосферных резерватов «Даурский» и «Сохондинский» и федерального заказника «Долина дзерена», способствовали формированию ряда оседлых группировок этих копытных (Кирилюк, Луцкекина, 2017), общая численность которых к настоящему времени составляет около 20 тыс. особей (Кирилюк, 2021).

Сайгак впервые попал на страницы Красной книги нашей страны в 2021 г. (Красная книга ..., 2021). Еще в 1980-е гг. его численность не вызвала опасений и составляла около 400 тыс. особей. Но перепромысел, интенсивное развитие сельского хозяйства и сокращение пригодных мест обитания, экономический кризис в стране и браконьерская охота, временная приостановка работы природоохранных структур привели к резкому падению численности популяции сайгака в Северо-Западном Прикаспии – до 4-5 тыс. в 2015 г. (Каримова, Луцкекина, 2018).

Еще относительно недавно все три вида считались промысловыми. Однако экологически неоправданные формы хозяйственного освоения аридных территорий (распашка и мелиорация земель, перевыпас, строительство дорог и других технических сооружений без учета региональных особенностей и др.) прямо или косвенно способствовали сокращению ареала, нарушению сезонных миграций и пространственной структуры, что в итоге привело к уменьшению численности популяций, повышению их уязвимости к действию аномальных погодных условий (многоснежье, засухи, пожары и т.д.), прессу легальной и нелегальной

охоты. Каково будет будущее этих по-своему уникальных копытных, зависит, в первую очередь, от человека и его отношения к окружающей природной среде. Их благополучию должна способствовать реализация мер, которые разработаны специалистами и приведены как в Красной книге Российской Федерации (2021), так и в утвержденных видовых стратегиях.

*Ключевые слова:* Красная книга, сохранение видов, кулан, сайгак, дзерен.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-104-114**

**EDN: LKRARA**

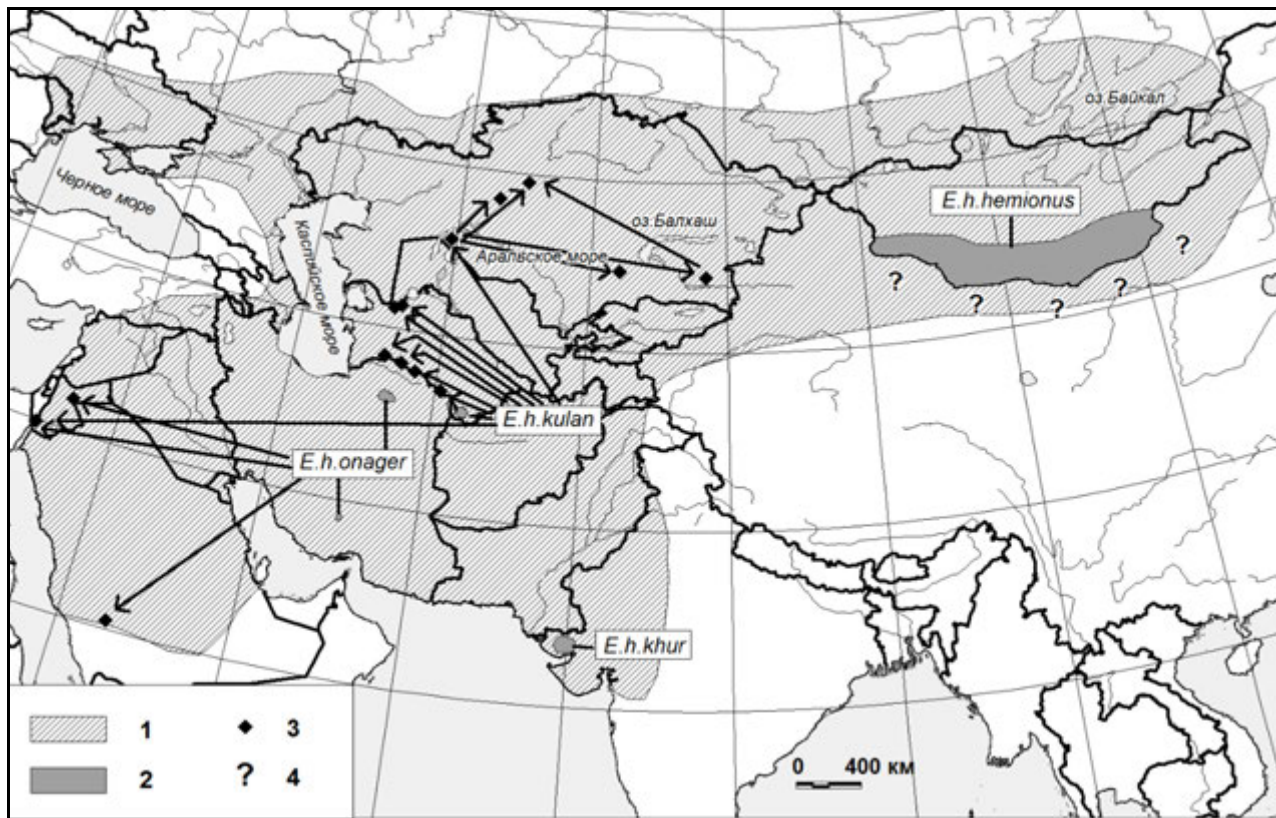
Рост численности населения, интенсификация хозяйственной деятельности, изменение климата, загрязнение и разрушение среды обитания, распространение инвазивных видов, происходящие более чем столетие, привели к беспрецедентно быстрым темпам утраты биоразнообразия, что серьезно подрывает способность биосферы поддерживать жизнь на Земле. Благодаря деятельности Международного союза охраны природы (IUCN/МСОП), основанного в 1948 г., и его постоянной Комиссии по выживанию видов, одной из основных задач которых является выявление видов животных и растений, находящихся на грани исчезновения и требующих незамедлительной заботы человека, в 1963 г. был издан первый вариант международной Красной книги, получившей впоследствии название «Красный список МСОП» (The IUCN Red List ..., 2020). На протяжении своей почти 70-летней истории этот Список регулярно обновляется, свидетельствуя о тех изменениях, которые происходят с мировой фауной и флорой, совершенствуется система категорий статуса редкости, а также даются рекомендации по спасению тех или иных таксонов. В Красный список МСОП к настоящему времени внесено более 142500 видов животных, около 40000 из которых находятся под угрозой исчезновения (The IUCN ..., 2022). Необходимым дополнением к Красному списку МСОП стали национальные красные книги.

Охрана и восстановление редких и исчезающих животных и растений всегда рассматривались как важнейшие государственные задачи, что находило свое отражение в первых декретах Советской власти, когда многие звери и птицы были взяты под охрану. В те времена в качестве основы стратегии в области охраны природы было предусмотрено создание и совершенствование системы кадастров природных ресурсов, а Красная книга СССР, учрежденная в 1974 г., и последующие ее издания 1978 и 1984 гг. являлись частью этой системы, что придало ей статус государственного документа. Для Красной книги новой России, изданной в 2001 г., в качестве научной основы была взята первая региональная Красная книга – РСФСР, вышедшая в 1983 г. Спустя 20 лет, в конце 2021 г. вышло в свет второе издание Красной книги Российской Федерации. Это официальный документ, содержащий свод нормативных правовых актов, информацию о природоохранных статусах, современном распространении, особенностях экологии, лимитирующих факторах, принятых и необходимых дополнительных мерах охраны для редких и находящихся под угрозой исчезновения видов (подвидов, популяций) животных, обитающих на территории Российской Федерации (Красная книга ..., 2021). Среди 443 видов млекопитающих, представленных в этом томе, 11 отнесены к категории редкости «0», т.е. считаются исчезнувшими в Российской Федерации, 14 видов и подвидов представляют собой группу впервые оказавшихся на страницах Красной книги и требующих принятия незамедлительных мер для их сохранения. Остальные объекты образуют внушительную группу видов, подвидов и популяций, состояние которых уже долгие годы не позволяет исключить их из Красной книги.

В новое издание Красной книги РФ (2021) вошли четыре вида копытных, играющих существенную роль в биоценозах степей и пустынь. Два из них уже не встречаются на нашей территории – лошадь Пржевальского (*Equus przewalskii* Poljakov, 1881) с XIX в. и кулан (*Equus hemionus* Pallas, 1775) с начала XX в., а состояние популяций сайгака (*Saiga tatarica* Linnaeus, 1766) и дзерена (*Procapra gutturosa* Pallas, 1777) вызывает серьезные опасения. В настоящем обзоре дано краткое описание истории существования трех видов копытных – кулана, дзерена и сайгака, изучению которых авторы уделили многие годы.

Одним из 11 видов, имеющих категорию редкости «0» и включенный в Красную книгу на территорию нашей страны в таком статусе с момента ее создания, является кулан (*Equus hemionus* Pallas, 1775) – представитель семейства Лошадиных (Equidae) отряда Непарнокопытных (Perissodactyla). Обладая большой экологической пластичностью, крайней выносливостью, высоким

уровнем социального поведения, кулан как вид в доисторические времена был одним из самых многочисленных и широко распространенных видов копытных открытых засушливых ландшафтов Евразии. Как указывает В.Г. Гептнер с соавторами (1961) в процессе расселения вид занял огромные просторы аридных ландшафтов в Восточной Европе, Казахстане, Западной Сибири, Средней и Центральной Азии, Тибете, Передней Азии, включая Аравийский полуостров, Малую Азию и северо-западную Индию (рис. 1). На этом огромном пространстве, превосходящем ареалы всех остальных видов семейства лошадиных, возникло несколько географических форм как результат адаптации кулана к местным условиям обитания. О подвидовом разделении куланов существует много разногласий, и единого мнения пока не сложилось. Согласно Н.Н. Спасской (2016), а также С.Р. Groves и Р. Grubb (2011), у азиатских диких ослов (онагров) выделяется несколько подвидов (монгольский дикий осел – *E. h. hemionus*; туркменский онагр или кулан – *E. h. kulan*; иранский онагр – *E. h. onager* и хур – *E. h. khur*, который в настоящее время считается отдельным видом), различия между которыми не велики и у всех есть некоторые общие особенности (Фишер и др., 1976). По оценкам специалистов, на Земле осталось всего около 55000 особей (Поголовье ..., 2019), причем 75% от всей численности куланов обитает в Южной Монголии, в Китае их насчитывается около 5000, а в Казахстане – более 4000.



**Рис. 1.** Ареал кулана. Условные обозначения. 1 – ареал в голоцене (существовавшие подвиды: *Equus hemionus hemionus* Pallas, 1775; *E. h. kulan* Groves and Mazák, 1967; *E. h. onager* Boddaert, 1785; *E. h. khur* Lesson, 1827; *E. h. hemippus* Geoffroy, 1855; *E. h. anatoliensis* Haltenorth & Trense, 1956); 2 – современный ареал; 3 – реинтродуцированные популяции; 4 – нет сведений об ареале (Mammal Species ..., 2005; Пластеева, 2016, с дополнениями).

В очерке, подготовленном Н.Н. Спасской (2021), наряду со сведениями о статусе вида, его экологии и численности, распространении на территории России, в качестве необходимых дополнительных мер охраны приводится предложение о реинтродукции кулана на территорию ФГБУ Государственного природного заповедника «Даурский», из окрестностей которого (оз. Торей-Нур) вид и был описан, и где (у озер Барун-Торей и Зун-Торей) в 1926 г. в последний раз животные

были встречены (Скалон 1949; Банников, 1954). Ранее в очерке, подготовленном Л.В. Жирновым (2001) и опубликованном на страницах первого издания Красной книги Российской Федерации, в разделе «Охрана» речь шла о необходимости проведения исследований с целью определения целесообразности возвращения кулана в состав фауны России, в первую очередь путем реинтродукции вида на территорию Даурского заповедника. При этом для Европейской части России оптимальным местом для реинтродукции кулана приводилась территория в районе заповедника Черные земли, расположенного на юго-востоке Республики Калмыкия в пределах Северо-Западного Прикаспия.

Вопрос реинтродукции видов, особенно занесенных в Красный список Международного союза охраны природы (IUCN / МСОП), крайне сложен и, несомненно, требует ответственного отношения к любым действиям, с ним связанным, в том числе и разработкой специальных программ, некоторые из которых (в Туркмении, Узбекистане, Казахстане, Саудовской Аравии, Израиле и Иордании) весьма успешны (Kaczensky et al., 2021). Согласно Руководству Международного союза охраны природы (IUCN/МСОП) по реинтродукции видов (*Guidelines for Reintroductions ...*, 2013), следует учитывать, что для осуществления таких действий необходимо показать, что работа проводится в действительных пределах исторического ареала вида, где животные были истреблены или вымерли. При этом под историческим (естественным) ареалом понимается территория, включающая все известные места обитания вида, в которых регулярное пребывание его представителей подтверждено с начала XIX в.

Анализ многочисленных работ археологов, палеонтологов, зооархеологов свидетельствуют об обитании куланов на грани нашей эры в Скифии, т.е. в причерноморских степях; останки, датированные началом нашей эры, найдены из Ольвии в районе Бугского Лимана (Пидопличко, 1951). Более поздние останки кулана, относимые к XII в. н.э., найдены в Вышгороде у Киева (Зубарева, 1940); предполагается, что на некоторых фресках Софийского собора в Киеве, датируемых началом XII в., изображен кулан (Шарлемань, 1964).

О достаточно широком распространении кулана в зоне Северо-Западного Прикаспия в эпохи неолита и раннего энеолита говорят находки останков, так называемой специализированной охоты на таких стадных животных, как кулан и сайгак. На территории Калмыкии в поселении Джангар в нижнем слое эпохи неолита преобладали кости этих диких видов (Моргунова, 2014).

В публикациях, описывающих распространение кулана, в том числе и на территории бывшего СССР, показано, что здесь находилась значительная часть северного и северо-западного видового ареала кулана, которые в результате прямого истребления, освоения степей с активным вытеснением их с пастбищ и водоемов, практически исчезли с территории России к середине XIX – началу XX вв. (Гептнер и др., 1961; Кириков, 1959; 1966; Соломатин, 1973; Соколов, 1986; *Mammal Species ...*, 2005). Как отмечал в своих публикациях А.О. Соломатин (1973), в литературе сведений о биологии кулана, его распространении на территории бывшего СССР не так много и нередко они противоречивы, так как получены, как правило, путем опроса местного населения и случайными наблюдателями, и эта информация «плавно перетекает» из одного издания в другое. Так что подробностей и достоверных свидетельств о распространении и характере пребывания кулана в европейской части бывшего Советского Союза, в том числе и на территории Калмыкии, за последние как минимум 300-350 лет нет, а фактический материал о нем крайне скуден (Гептнер и др., 1961). Вероятно, кулан к западу от Волги, начиная с середины XVII века везде был малочислен и отдельные районы посещал только заходом. По мнению А.Г. Банникова (1981), Европейская часть бывшего Советского Союза мало благоприятна для кулана уже потому, что возможностей для их зимней откочевки на юг здесь меньше, чем в Казахстане. Более обычен кулан был, очевидно, к востоку от Волги на обширных пространствах степей и пустынь Казахстана, Средней и Центральной Азии.

Таким образом, если на территории Забайкалья, где кулана последний раз видели менее 100 лет тому назад, такой дорогостоящий и сложный проект по реинтродукции монгольского подвида может быть реализован, то на территории ФГБУ «Государственный природный заповедник «Черные земли», к такому эксперименту нужно отнестись крайне осторожно, чтобы не причинить вреда исконному обитателю Северо-Западного Прикаспия – сайгаку, чье современное состояние впервые привело вид

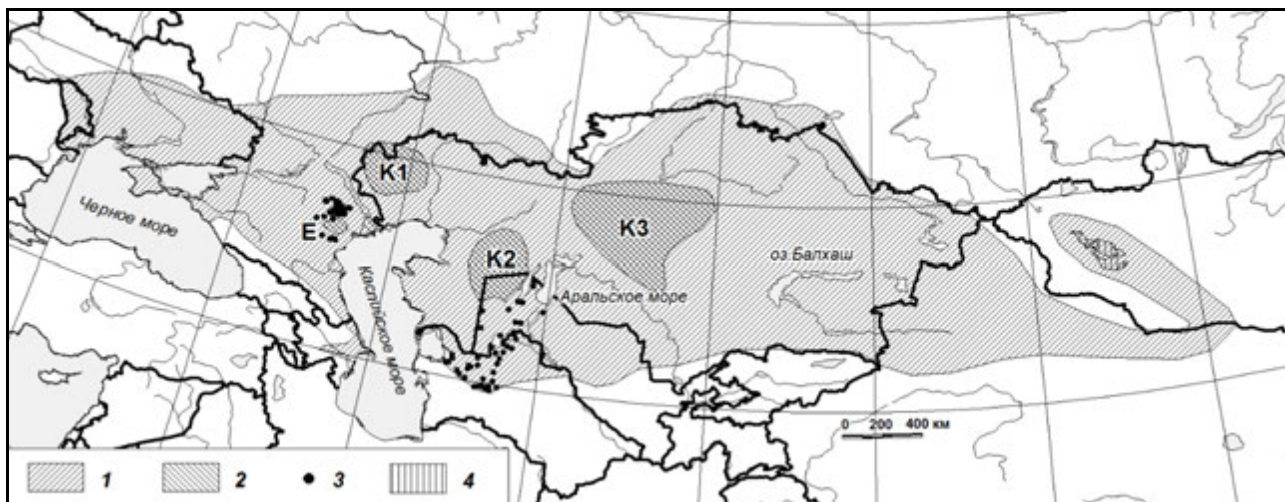


на страницы Красной книги. Тем более что вопрос о подвидовом статусе возможного реакклиматизанта вряд ли может быть легко решен.

Сайгак (*Saiga tatarica* Linnaeus, 1766) относится к отряду парнокопытных (Artiodactyla) и является одним из наиболее таксономически обособленных представителей семейства полорогих (Bovidae). Это единственный вид антилоп, обитающий в Европе, и на страницы Красной книги попал впервые в конце 2021 г. Сайгаку, как и многим копытным открытым пространств, присуща высокоадаптивная экологическая стратегия, выражающаяся в стадном образе жизни, значительной подвижности, полигамии, а также свойственной только этому виду высокой плодовитости (Сайгак ..., 1998; Близнюк, 2009).

В очерке, подготовленном А.А. Луцкеиной и В.М. Нероновым (2021), наряду с подробным изложением сведений о статусе вида, его экологии и численности, распространении на территории России приведены данные об уже принятых мерах охраны сайгака и о тех мерах, которые нужно принять дополнительно.

Анализ огромного массива литературных источников, позволил проследить историю и динамику ареала сайгака до настоящего времени. Кроме того, что сайгак один из немногих сохранившихся до наших дней видов млекопитающих так называемой «мамонтовой» фауны Евразии, ни время, ни место возникновения рода *Saiga* так и не установлено. Согласно традиционным взглядам, сайгак является единственным видом рода *Saiga* (Барышников и др., 1998; Кузнецова и др., 2002), в котором до недавнего времени выделяли два подвида: номинативный *Saiga tatarica tatarica* (Linnaeus, 1766), распространенный на обширных равнинах Казахстана и Средней Азии и Северо-Западного Прикаспия, и *Saiga tatarica mongolica* (Банников, 1946), имеющий небольшой ареал в Монголии. В последнем третьем издании «Mammal Species of the World» (2005) этим двум подвидам придан видовой статус с использованием для монгольского сайгака названия *S. borealis* Tschersky, 1876, что нашло отражение в ряде официальных документов, определяющих распространение в Евразии двух самостоятельных видов – *S. tatarica* и *S. borealis* (рис. 2).



**Рис. 2.** Ареал сайгака. Условные обозначения. 1 – ареал в голоцене; 2 – современный ареал *Saiga tatarica tatarica* (популяции: Е – Северо-Западного Прикаспия; К1 – Волго-Уральская; К2 – Устьуртская; К3 – Бетпакдалинская), 3 – места встреч *S. t. tatarica* в последние годы; 4 – *S. t. mongolica* (= *S. borealis*).

Исследования Г.Ф. Барышникова с соавторами (1998) позволяют предполагать, что предки сайгака отделились от общих корней группы Caprinae во второй половине миоцена или в начале плиоцена, а уже в плейстоцене сайгак имел достаточно обширный ареал, о чем свидетельствуют его многочисленные находки. В четвертичный период, когда в Северном полушарии был представлен широкий пояс засушливых тундростепных сообществ, сайгак обитал на территории гораздо более обширной, чем его исторический или современный ареал. Ископаемые кости этого вида были найдены в отложениях ледниковой эпохи, рассеянных от Британских островов на западе до Аляски и

северо-западных территорий Канады на востоке, а также от Новосибирских островов на севере до Кавказа на юге. На рубеже плейстоцена и голоцена потепление и гумидизация климата привели к исчезновению ландшафта тундростепей, и сайгак приспособился к обитанию в ксерофитных степных и пустынных ландшафтах на южной периферии прежнего его ареала, куда раньше попадал только во время миграций. Динамика пространственной структуры ареала сайгака определялась влиянием в основном физико-географических факторов. Начало голоцена ознаменовало собой новый этап; и помимо истребления сайгака в результате массовой охоты стало расти, в частности в Западной Европе, влияние человека на среду обитания животных за счет широкого распространения земледелия, что отразилось на изменении ареала вида в исторический период.

Еще в начале XVIII века ареал сайгака простирался от причерноморских степей на западе до аридных территорий Китая на востоке (Кириков, 1966). В первой половине XIX в., некогда обширный ареал сайгака из-за охоты и сельскохозяйственного освоения этих земель оказался разделенным на три части: европейскую (Восточная Европа), среднеазиатскую (Казахстан, Узбекистан и Туркменистан) и центральноазиатскую (Монголия и Китай). Во второй половине XIX столетия человек быстро заселял степные пространства, и сайгак почти полностью исчез из Европы. Резко сократился его ареал и в Азии. В итоге к началу XX века от сплошного и обширного ареала сайгака остались лишь отдельные пятна, и встречался он только в нетронутых человеком самых глухих уголках нижнего течения реки Волги, а в Азии – по Устюрту, в Бетпак-Дале, в междуречье Или-Каратал. Общая численность сайгака оценивалась тогда примерно в 1000 голов (Банников и др., 1961). Вид оказался на грани исчезновения и был взят под усиленную охрану. После введения в 1921 г. запрета на охоту на сайгака и ликвидации контрабанды на границе СССР по вывозу рогов в начале 30-х гг., началось восстановление вида (Жирнов, 1982). Уже к середине XX в. численность животных настолько возросла, что в 1951 г. был открыт промысел на территории Северо-Западного Прикаспия, а в 1954 г. – и в отдельных районах Казахстана. Несмотря на то, что ежегодно изымалось от 10 до 115 тыс. сайгаков в Северо-Западном Прикаспии и 31-501 тыс. в Казахстанских популяциях, к началу 1980-х гг. его общая численность оценивалась примерно в 1.2 млн. голов (400 тыс. в СЗП, 800 тыс. в Казахстане; Сайгак ..., 1998). Перепромысел, интенсивное развитие сельского хозяйства и сокращение пригодных мест обитания, экономический кризис в стране и браконьерская охота, приостановка на время работы природоохранных структур привели к резкому падению численности популяции сайгака в Северо-Западном Прикаспии – до 4-5 тыс. в 2015 г. (Каримова, Луцкекина, 2018). Несмотря на многолетние предпринимаемые меры – введение полного запрета на охоту на сайгака с 1998 г., включение в 2013 г. в перечень «особо ценных диких животных и водных биологических ресурсов, принадлежащих к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации и (или) охраняемым международными договорами Российской Федерации», за незаконную добычу, содержание, приобретение, хранение, перевозку, пересылку и продажу которых наступает уголовная ответственность в соответствии со статьей 258.1 Уголовного кодекса Российской Федерации, внесение в 2015 г., согласно Постановлению Правительства Республики Калмыкия №86, в Красную книгу Республики Калмыкия (2013) и в 2019 г., в соответствии с Постановлением Службы природопользования и охраны окружающей среды №08-п, в Красную книгу Астраханской области (2014), численность этой популяции пока остается на крайне низком уровне, проявляя, благодаря предпринимаемым мерам, тенденцию роста, хотя пока и незначительного.

В настоящее время, когда территория бывшего Советского Союза разделена государственными границами, две популяции – Волго-Уральская и Бетпакдалинская – стали трансграничными для России, способствуя при миграциях увеличению числа сайгаков на территории Астраханской, Волгоградской и Саратовской областей. Согласно Стратегии сохранения сайгака в Российской Федерации (Распоряжение ..., 2021), утвержденной в 2021 г., для трансграничных популяций необходимо обеспечить отсутствие здесь случаев гибели животных, возможность беспрепятственных трансграничных перемещений и их мониторинг, а также усиленный режим охраны во время нахождения копытных на территории Российской Федерации. Для самостоятельной, т.е. изолированной от других, популяции сайгака Северо-Западного Прикаспия, которой в нашей стране уделяется особое внимание, в разделе Стратегии под названием «Целевые показатели» указано, что к 2030 г. «численность жизнеспособной популяции сайгака Северо-Западного

Прикаспия должна составить не менее 20 тыс. голов, а площадь ареала – не менее 20 тыс. км<sup>2</sup> (Распоряжение ..., 2021).

Дзерен, монгольский дзерен или зобатая газель (*Procapra gutturosa* Pallas, 1777), относится к семейству Полорогих (Bovidae) отряда Парнокопытных (Artiodactyla). При этом род *Procapra* включает в себя еще два вида из разных регионов Центральной Азии – дзерен Пржевальского (*P. przewalskii* Buchner, 1891) и тибетский дзерен (*P. picticaudata* Hodgson, 1846). Монгольский дзерен экологически пластичный и подвижный вид с быстро меняющейся стадностью, приспособленный к жизни на открытых степных просторах в жестких условиях резко континентального засушливого климата даже на фоне растущего антропогенного пресса. Дзерен играет важную роль в функционировании степных экосистем, которые он до сих пор населяет, и где пока еще есть условия для его дальних миграций (Каримова и др., 2018).

Как вид, находящийся под угрозой исчезновения, дзерен попал на страницы еще первых изданий Красных книг СССР и РСФСР с кратким описанием всех имевшихся к тому времени сведений. Несмотря на то, что в очерке, подготовленном В.Е. Кирилюком (Кирилюк, 2021), наряду с подробным изложением сведений о статусе вида, его экологии и численности, современном распространении на территории России, приведены данные об уже принятых за последние почти 50 лет многочисленных мерах охраны дзерена, оснований для его вывода из Красной книги не нашлось.

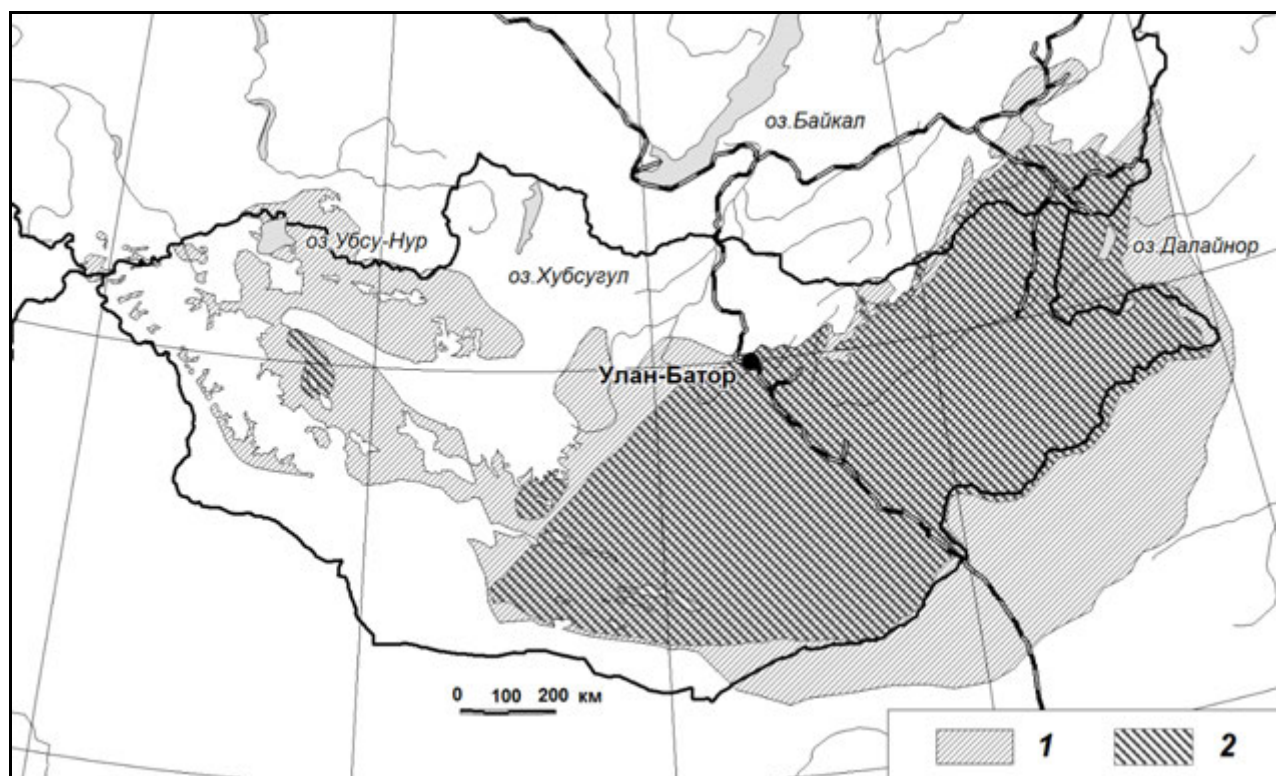
Согласно результатам исследований, род *Procapra* отделился от общего ствола антилоп примерно в верхнем плейстоцене, и по некоторым молекулярно-генетическим признакам стоит ближе к карликовым антилопам рода *Madoqua* (Кузнецова, Холодова, 2003). В настоящее время монгольский дзерен представлен одной панмиксной популяцией с высоким генетическим разнообразием, в которой выделены две филогруппы, появившиеся во время их разобщения примерно 90-260 тыс. лет тому назад (Сорокин и др., 2005).

По данным М.М. Девяшина и П.А. Косинцева (2013) в голоцене ареал дзерена охватывал степные районы не только Забайкалья, но и Алтая, где вид, очевидно, был достаточно редок, т.к. находок костей этого периода в регионе практически нет. Еще в первой половине прошлого века монгольский дзерен занимал большую часть степей Центральной Азии и юга Сибири (рис. 3). В Монголии находилась основная часть ареала вида – 780000 км<sup>2</sup> (Банников, 1954), а на территорию Российской Федерации он заходил несколькими языками и занимал общую площадь до 136000 км<sup>2</sup>. На западе дзерены встречались в Чуйской и Курайской котловинах с предгорьями окружающих их хребтов Юго-Восточного Алтая (Ешелкин, 1973; Собанский, 1990, 1992), а также в Убсунурской котловине и южных предгорьях хребта Восточный Танну-Ола в Туве (с заходами на северный склон этого хребта и в Тувинскую котловину; Никифоров, 1973; Никифоров и др., 1977) и в примыкающих к Монголии степях Юго-Западного Забайкалья, где дзерен бывал лишь в период миграций, и широко распространялись по территории Юго-Восточного Забайкалья (Pallas, 1778; Радде, 1862). В середине XIX в. оседлые популяции насчитывали, предположительно, несколько десятков тысяч животных, а в зимний период регулярно наблюдались сотни тысяч мигрирующих животных из Монголии и Китая (Кирилюк, Луцкеина, 2017).

Численность и состояние группировок дзерена на территории России, где проходит северная граница ареала вида, в значительной степени зависит от его состояния на территории Монголии. Еще в середине XX в. численность вида в Монголии оценивалась в 1 млн. голов (Банников, 1954), но чрезмерный промысел, массовые падежи животных из-за экстремальных погодных условий и эпизоотий, нарушение местообитаний в связи с социально-экономическим развитием в районах обитания дзерена, прекращение миграций из-за строительства железной дороги Улан-Батор – Дзамын-Ууд и ряд других факторов оказались для дзерена губительными. В 1970-80-е гг. отмечается сокращение как численности дзерена, так и области его распространения, что привело почти к полному исчезновению вида в Западной Монголии (и, как следствие, его отсутствию на Алтае и в Туве), дзерены перестали встречаться в Забайкалье. И только в конце XX в., вслед за принятием ряда охранных мер правительством МНР, стал наблюдаться рост численности и частичное восстановление его ареала (Olson et al., 2005). Так, в начале 1990-х гг. в связи с ростом численности северокеруленской популяции в Монголии, в результате миграций в зимний период, когда до 45-70 тысяч антилоп стали заходить на территорию Юго-Восточного Забайкалья, дзерены вновь начали



расселяться на территории России. Благоприятные природные условия и действенная охрана, организованная на территории двух биосферных резерватов (Даурского и Сохондинского) и федерального заказника «Долина дзерена», расположенных на границе с Монголией, привели к формированию в Забайкалье ряда оседлых группировок этих копытных (Кирилук, Луцкекина, 2017), общая численность которых с учетом происходящего сокращения трансграничных миграций к настоящему времени насчитывает до 20 тыс. особей (Кирилук, 2021).



**Рис. 3.** Исторический (1) и современный (2) ареалы монгольского дзерена.

Дальнейшее увеличение численности дзеренов и площади его ареала на территории России зависит, в том числе, и от притока мигрантов из Восточной Монголии. Следует подчеркнуть, что изменения в количественном распределении дзерена по территории самой Восточной Монголии будут происходить в связи с современным и планируемым строительством различного рода сооружений, необходимых для развития инфраструктуры при освоении минеральных ресурсов страны. Как отмечают ученые (Lkhagvasuren et al., 2011), такое развитие событий окажет негативное влияние, как на миграции дзерена, так и будет способствовать дальнейшей фрагментации местообитаний. По оценкам разных специалистов после завершения в 2025 г. строительства запланированных дорог популяция монгольского дзерена будет разделена на девять изолированных суб-популяций (Lkhagvasuren et al., 2011).

Еще в 1979 г. по инициативе ООН была принята Конвенция по сохранению мигрирующих видов диких животных, которая совместно с положениями Конвенции о биологическом разнообразии, внесла определенный вклад в укрепление международного сотрудничества, направленное на охрану мигрирующих видов, в том числе и монгольского дзерена. Очевидно, что проблемы сохранения биоразнообразия тех или иных биомов не могут быть решены без сохранения ключевых видов, играющих важную роль в функционировании экосистем, и без тесного международного сотрудничества, если речь идет о мигрирующих видах, в связи с чем крайне важно разработать и реализовать специальную международную программу в защиту монгольского дзерена. Ведущую роль в сохранении дзерена на территории России должна сыграть Стратегия сохранения этого вида, разработанная группой экспертов, принятие которой для реализации всеми заинтересованными ведомствами, организациями и специалистами ожидается в 2022 г.

Процесс сокращения численности, вплоть до полного исчезновения видов и других таксономических групп организмов, в процессе эволюции в результате деятельности человека, приводящей к загрязнению окружающей среды, смене систем землепользования, прямому преследованию видов, в первую очередь, в результате неконтролируемого промысла и изменения климата, нарушает хрупкий баланс существования человека на планете. При этом, по мнению J.C. Briggs (2017), именно сокращение численности до такой степени, когда многие виды существуют лишь как остатки своего прежнего изобилия, является самой большой проблемой в вопросах сохранения видов. Считается, что деятельность человека в последние два века увеличила темпы уничтожения животных, что приводит в итоге к потерям не только биологического разнообразия, но и ценнейших ресурсов, необходимых человечеству.

Красная книга, представляющая собой список редких и находящихся под угрозой исчезновения организмов, аннотированный перечень видов и подвидов с указанием прошлого и современного распространения, особенностей воспроизводства, уже принятых и необходимых мер по охране, выступает формально-юридическим основанием для установления в отношении указанных объектов особого режима правовой охраны (Красная книга ..., 2021), что в результате должно привести к приостановке сокращения их численности и ареалов, и восстановлению. При решении задач по реализации специальных мер по сохранению редких и находящихся под угрозой исчезновения видов особое место занимают как Стратегия сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов в Российской Федерации на период до 2030 года (Распоряжение ..., 2014), так и стратегии сохранения отдельных видов, подготовленных на основе единообразных подходов, обеспечивающих взаимодействие органов государственной власти разного уровня в области охраны животного и растительного мира; оценки их состояния и определения приоритетов охраны (Красная книга ..., 2021).

В биоценозах степей и пустынь России популяции этих видов диких копытных играют существенную роль, и выпадение этой группы из структуры экосистем не только снижает уровень биоразнообразия аридных биомов, но и ведет к их деградации. Еще относительно недавно все три вида считались промысловыми, охота на них проводилась с завидной регулярностью. Однако экологически неоправданные формы хозяйственного освоения аридных территорий (распашка и мелиорация земель, перевыпас, строительство дорог и других технических сооружений без учета региональных особенностей и др.) прямо или косвенно способствовали сокращению ареала, нарушению сезонных миграций и пространственной структуры, что в итоге привело к уменьшению численности популяций, повышению их уязвимости к действию аномальных погодных условий (многоснежье, засухи, пожары и т.д.), прессу легальной и нелегальной охоты.

Три краснокнижных вида – кулан, сайгак и дзерен, краткое описание истории существования которых приведено в данном обзоре, объединяет не только принадлежность их к так называемой «мамонтной» фауне и обитание на просторах Евразийского континента, но и нахождение в Красном списке МСОП, куда они были занесены в разное время. Каково будет будущее этих по-своему уникальных копытных зависит, в первую очередь, от человека и его отношения к окружающей природной среде. Их благополучию на территории нашей страны должна способствовать реализация мер, которые разработаны специалистами и указаны как в Красной книге Российской Федерации, так и в видовых стратегиях.

*Финансирование.* Работа выполнена по теме НИР Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Госзадание № 1021062812203-8 «Фундаментальные проблемы охраны живой природы и рационального использования биоресурсов».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Банников А.Г. 1946. Новый вид сайги из Монголии // Доклады Академии Наук. Т. L. № 5. С. 397-399.  
Банников А.Г. 1954. Млекопитающие Монгольской Народной Республики. М.: Издательство АН СССР. 669 с.  
Банников А.Г. 1981. Кулан. М.: Лесная промышленность. 120 с.  
Банников А.Г., Журнов Л.В., Лебедева Л.С., Фандеев А.А. 1961. Биология сайгака. М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. 336 с.

- Барышников Г.Ф., Дмитриева Е.Л., Крахмальная Т.В., Шер А.В. 1998. Происхождение, эволюция и систематика сайгака // Сайгак: филогения, систематика, экология, охрана и использование / Ред. В.Е. Соколов, Л.В. Жирнов. М.: Типография Россельхозакадемии. С. 9-20.
- Близнюк А.И. 2009. Сайгак калмыцкой популяции. Элиста: ЗАО «НПП «Джангар». 554 с.
- Гептнер В.Г., Насимович А.А., Банников А.Г. 1961. Парнокопытные и непарнокопытные. Т. 1 // Млекопитающие Советского Союза / Ред. Н.П. Наумов, В.Г. Гептнер. М.: Высшая школа. 776 с.
- Девяшин М.М., Косинцев П.А. 2013. Копытные млекопитающие среднего и позднего голоцена юго-востока Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. Т. 22. № 2. С. 127-140.
- Ешелкин И.И. 1973. Распространение дзерена в Горном Алтае // Редкие виды млекопитающих СССР и их охрана. М.: Наука. С. 118-119.
- Жирнов Л.В. 1982. Возвращенные к жизни (экология, охрана и использование сайгаков). М.: Лесная промышленность. 224 с.
- Жирнов Л.В. 2001. Кулан – *Equus hemionus* Pallas, 1775 // Красная книга Российской Федерации (животные). М.: АСТ-Астрель. С. 701-703.
- Зубарева В.И. 1940. Фауна Киева 1000 лет назад // Природа. № 8. С. 82-86.
- Каримова Т.Ю., Луцкекина А.А. 2018. Особенности пространственного размещения и этологической структуры популяции сайгака на территории заказника «Степной» (Астраханская область) // Экосистемы: экология и динамика. Т. 2. № 1. С. 73-91 [Электронный ресурс <http://www.ecosystemsdynamic.ru> (дата обращения 24.04.2022)].
- Каримова Т.Ю., Луцкекина А.А., Неронов В.М. 2018. Некоторые особенности пространственного размещения и экологии дзерена (*Procapra gutturosa* Pallas, 1777) в Восточной Монголии // Изучение и сохранение биоразнообразия Южной Сибири и Центральной Азии на трансграничных территориях. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 84-103.
- Кириков С.В. 1959. Степная зона и лесостепь // Изменения животного мира в природных зонах СССР (XIII-XIX). М.: Изд-во АН СССР. С. 41-67.
- Кириков С.В. 1966. Промысловые животные, природная среда и человек. М.: Наука. 348 с.
- Кирилюк В.Е. 2021. Дзерен – *Procapra gutturosa* Pallas, 1777 // Красная книга Российской Федерации. Животные. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». С. 1029-1031.
- Кирилюк В.Е., Луцкекина А.А. 2017. Современное состояние дзерена (*Procapra gutturosa*: Bovidae) в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2 (Suppl. 1). С. 81-99.
- Красная книга Астраханской области. 2014. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет». 413 с.
- Красная книга Республики Калмыкия. Том 1. Животные. 2013. Элиста: ЗАО «НПП «Джангар». 200 с. Красная книга Российской Федерации. Животные. 2021. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». 1128 с.
- Кузнецова М.В., Холодова М.В. 2003. Ревизия филогенетических отношений в подсемействе Antilopinae на основании анализа последовательностей митохондриальных рРНК и ядерного гена белка В-спектрина // Доклады Академии наук. Т. 391. № 2. С. 281-285.
- Кузнецова М.В., Холодова М.В., Луцкекина А.А. 2002. Филогенетический анализ последовательностей митохондриальных генов 12S и 16S рРНК представителей семейства Bovidae: новые данные // Генетика. Т. 38. № 3. С. 942-950.
- Луцкекина А.А., Неронов В.М. 2021. Сайгак – *Saiga tatarica* Linnaeus, 1766 // Красная книга Российской Федерации. Животные. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». С. 1031-1033.
- Моргунова Н.Л. 2014. Приуральская группа памятников в системе волжско-уральского варианта ямной культурно-исторической области. Оренбург: Изд-во ОГПУ. 348 с.
- Никифоров Н.М. 1973. Дзерен в Тувинской АССР // Редкие виды млекопитающих СССР и их охрана. М.: Наука. С. 118-119.
- Никифоров Н.М., Шурыгин В.В., Данковцев А.Г. 1977. Распространение редких копытных в ТувАССР // Редкие виды млекопитающих и их охрана. М.: Наука. С. 220-222.
- Пластеева Н.А. 2016. Северная граница ареала кулана в Голоцене // Динамика современных экосистем в голоцене. Материалы IV Всероссийской научной конференции. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 182-183.
- Поголовье куланов в Казахстане превысило 4000 особей. 2019 [Электронный ресурс [https://www.inform.kz/ru/pogolov-e-kulanov-v-kazahstane-prevysilo-4000-osobey\\_a3578816](https://www.inform.kz/ru/pogolov-e-kulanov-v-kazahstane-prevysilo-4000-osobey_a3578816) (дата обращения 23.04.2022)].
- Пидопличко И.Г. 1951. Биологические и географические особенности европейских представителей четвертичной фауны // О ледниковом периоде. Вып. 2. Киев: Изд-во АН Украинской ССР. 264 с.
- Радде Г.И. 1862. Путешествие в юго-восточную Сибирь // Записки Императорского Русского географического общества. Кн. 4. С. 1-78.

- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 февраля 2014 года N 212-р «Об утверждении Стратегии сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов в Российской Федерации на период до 2030 года». 2014 [Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/499077974> (дата обращения 23.04.2022)]
- Распоряжение Минприроды России от 11.08.2021 N 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 23.04.2022)].
- Сайгак: филогения, систематика, экология, охрана и использование. 1998 / Ред. В.Е. Соколов, Л.В. Жирнов. М.: Типография Россельхозакадемии. 356 с.
- Скалон В.Н. 1949. К фауне млекопитающих Кентейского аймака Монгольской Народной Республики // Бюллетень МОИП: Отделение биологическое. Т. 5. Вып. 3. С. 3-16.
- Собанский Г.Г. 1990. Дзюрен. Млекопитающие // Итоги изучения редких животных (Материалы к Красной книге). М.: ЦНИЛ Главохоты. С. 31-33.
- Собанский Г.Г. 1992. Копытные Горного Алтая. Новосибирск: Наука. 257 с.
- Соколов В.Е. 1986. Редкие и исчезающие животные. Млекопитающие. М.: Высшая школа. 520 с.
- Соломатин А.О. 1973. Кулан. М.: Наука. 230 с.
- Сорокин П.А., Кирилук В.Е., Луцкекина А.А., Холодова М.В. 2005. Генетическое разнообразие монгольского дзерена (*Procapra gutturosa* Pallas, 1777) // Генетика. Т. 41. № 10. С. 1-5.
- Спаская Н.Н. 2016. Разнообразие социальных структур у Equidae (Perissodactyla, Mammalia) // Аспекты биоразнообразия. Сборник трудов Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: Товарищество научных изданий КМК. Т. 54. С. 541-592.
- Спаская Н.Н. 2021. Кулан – *Equus hemionus* Pallas, 1775 // Красная книга Российской Федерации. Животные. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». С. 1017-1018.
- Фишер Д., Саймон Н., Винсент Д. 1976. Красная книга. Дикая природа в опасности. М.: Прогресс. С. 134-136.
- Шарлемань Н.В. 1964. Загадочный зверь древней Руси // Зоологический журнал. Т. 43. Вып. 2. С. 293-296.
- Briggs J.C. 2017. Emergence of a Sixth Mass Extinction? // Biological Journal of the Linnean Society. Vol. 122. Is. 2. P. 243-248.
- Groves C.P., Grubb P. 2011. Ungulate Taxonomy. Baltimore: The John Hopkins University Press. 416 p.
- Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. 2013. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission. 57 p.
- Kaczensky P., Salemgareyev A., Linnell J.D.C., Zuther S., Walzer C., Huber N., Petit T. 2021. Post-release Movement Behaviour and Survival of Kulan Reintroduced to the Steppes and Deserts of Central Kazakhstan // Frontiers in Conservation Science. Vol. 2. Pp. 703358.
- Lkhagvasuren B., Chimeddorj B., Sajmyatav D. 2011. Barriers to Migration. Case study in Mongolia. Analysing the Effects of Infrastructure on Migratory Terrestrial Mammals in Mongolia. Ulaanbaatar: WWF Programme Office. 43 p.
- Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference. 2005 / eds. D.E. Wilson, D.M. Reeder. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2142 p.
- Olson K.A., Fuller T.K., Schaller G.B., Odonkhuu D., Murray M.G. 2005. Estimating the Population Density of Mongolian Gazelles *Procapra gutturosa* by Driving Long-distance Transects // Oryx. Vol. 39. No. 2. Pp. 164-169.
- Pallas P.S. 1778. Reisen durch verschiedene Provinzen des Russischen Reiches in einem ausführlichen Auszuge. Vol. 1 (Anhang). Pp. 2-30.
- The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. 2022 [Электронный ресурс <https://www.iucnredlist.org/about/background-history> (дата обращения 23.04.2022)].

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ ДОСТИЖЕНИЯ  
НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В ТУРКМЕНИСТАНЕ**

© 2022 г. Г.С. Куст\*, М.Х. Дуриков\*\*, В.А. Лобковский\*, О.В. Андреева\*, М.Д. Непесов\*\*,  
Б.К. Мамедов\*\*, Н.В. Николаев\*\*\*

*\*Институт географии РАН*

*Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: kust@igras.ru*

*\*\*Научно-информационный центр Межгосударственной комиссии  
по устойчивому развитию Международного фонда спасения Арала*

*Туркменистан, 744000, г. Ашхабад, ул. Битаран Туркменистан, д. 15. E-mail: durikovmh@gmail.com*

*\*\*\*Центр технологий Академии наук Туркменистана*

*Туркменистан, 744000, г. Ашхабад, ул. Бекрава, д. 180. E-mail: nnico@mail.ru*

Поступила в редакцию 12.05.2022. После доработки 01.07.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Определение национальных целей достижения нейтрального баланса деградации земель и создание систем индикаторов для мониторинга – важная стратегическая задача в области борьбы с опустыниванием и профилактики деградации земель в Туркменистане, обусловленная выполнением задачи 15.3 «Целей устойчивого развития ООН» на период до 2030 года. В работе анализируется возможность интеграции глобальных показателей нейтрального баланса в разрабатываемую в настоящее время Национальную систему мониторинга земной поверхности Туркменистана, приводятся статистические и геоинформационные данные для всей территории страны. Установлено, что, несмотря на новые важные данные, получаемые с использованием глобальных подходов, в настоящее время достоверный мониторинг нейтрального баланса по национальным данным в полной мере не осуществим в связи с тем, что глобальные индикаторы недостаточно подтверждаются имеющимися национальными данными и не соответствует глобальным прокси-индикаторам динамики наземного покрова, продуктивности и запасов органического углерода в почвах. В статье предложен рабочий список национальных индикаторов-аналогов и пути их валидации, а также варианты использования перечней типов землепользования для составления матрицы отрицательных и положительных переходов при изменениях наземного покрова. Рекомендовано в качестве «базовой линии» для мониторинга деградации земель использовать картографические и фондовые данные, собранные и обработанные в конце 80-х – 90-х гг. XX века, а также материалы по оценке состояния особо охраняемых природных территорий. Предложены дополнительные и альтернативные индикаторы нейтрального баланса деградации земель, имеющие особое значение для Туркменистана: засоление почв и земель, дефляция почв, засушливость климата, пыльные бури.

*Ключевые слова:* нейтральный баланс деградации земель, Туркменистан, деградация земель, индикаторы, мониторинг

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-115-131**

**EDN: LVMDUZ**

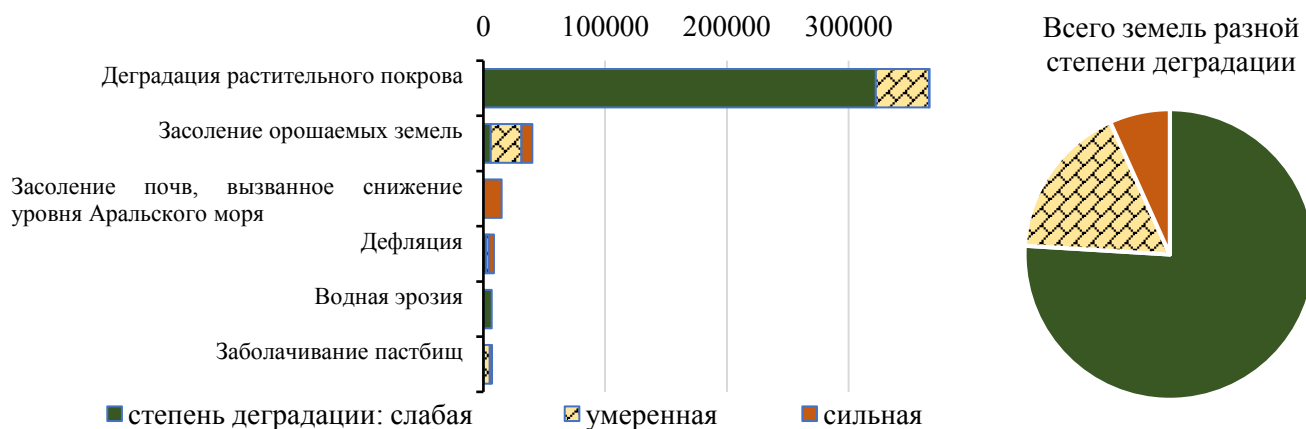
Необходимость борьбы с деградацией земель и опустыниванием закреплена в «Целях устойчивого развития ООН» (ЦУР; Повестка ..., 2015). Выполнение задачи 15.3 ЦУР, направленной на поддержание и восстановление потенциала земельных ресурсов, рассматривается в контексте недопущения их дальнейшей деградации по сравнению с базовой линией – современной ситуацией для анализа дальнейших изменений. Для стран Центральной Азии одним из приоритетных направлений по выполнению задачи 15.3 является установление национальных целей и создание систем мониторинга индикаторов нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ).

Журнал «Аридные экосистемы» ранее уже обращался к теме НБДЗ (Kust et al., 2020;

Andreeva et al., 2021). Отмечалось, что статистической комиссией ООН утверждён глобальный индикатор достижения задачи 15.3 (Tier Classification ..., 2019), связанной с достижением НБДЗ, – доля деградированных земель от общей площади суши. Для обеспечения сопоставимости данных по странам на глобальном уровне его расчет производится по трем суб-индикаторам (динамика наземного покрова, продуктивности земель и запасов почвенного органического углерода). Для этого на базе геоинформационной платформы Quantum GIS (QGIS) разработан специальный расчетный модуль Trend.Earth (2018), рекомендованный для использования в целях национального и глобального мониторинга и отчетности по выполнению Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН).

Как показывает опыт использования Trend.Earth для России и других стран (Solomun et al., 2018; Andreeva, Kust, 2020; Andreeva et al., 2022), результаты расчетов НБДЗ корректны только для уровня крупных регионов, отдельных стран и областей. При оценке на местном уровне для получения достоверной картины рекомендуется замена, корректировка и дополнение субиндикаторов национальными или локальными показателями, учитывающими физико-географические, социально-экономические и институциональные особенности конкретных стран.

Применительно к Туркменистану такие показатели должны учитывать физико-географические и климатические особенности территории (сочетание равнин и нагорий с высокими климатораздельными хребтами, аридный климат), структуру землепользования и другие факторы. Кроме того, сложившиеся национальные системы оценки земель являются серьезным вызовом для сопоставимого сравнения глобальных и национальных данных и их дальнейшей интеграции. Так, например, в Туркменистане есть значительный объем ретроспективных и современных данных (рис. 1), а также проводятся мероприятия по мониторингу показателей опустынивания, засух, деградации пастбищ и орошаемых земель (в том числе в рамках «Национальной программы действий по борьбе с опустыниванием» (1996)), однако комплексная система анализа получаемых данных к настоящему времени не создана.



**Рис. 1.** Распределение площадей деградированных земель в Туркменистане, в км<sup>2</sup> (Отчет Республики Туркменистан ..., 2018).

Разработке единой информационной базы по комплексному мониторингу деградации земель и ее интеграции в международные системы препятствует отсутствие утвержденного перечня национальных индикаторов, их разрозненность и ведомственный характер, слабая согласованность с действующими в стране системами земельного учета и мониторинга окружающей среды, а также отсутствие механизмов межведомственного использования и анализа получаемой информации.

#### Методы исследования

Согласно рекомендациям КБО ООН (Verburg et al., 2019), в числе важнейших научных аспектов формирования условий для достижения НБДЗ мы рассматривали:

– *национальное законодательство*: важно, чтобы в нем нашли отражение научно обоснованные определения основных терминов, используемых КБО ООН для оценки НБДЗ;

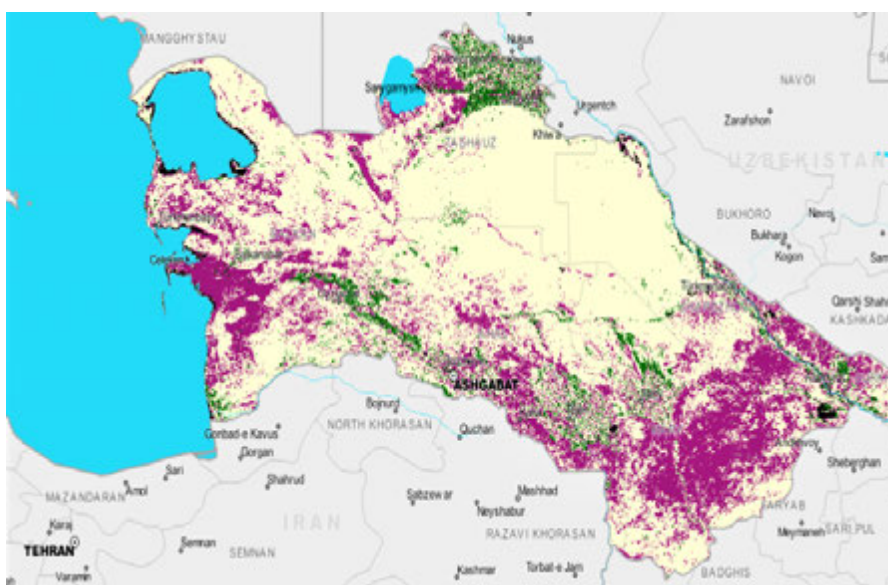


- *национальные индикаторы*: требуется гармонизация, а при необходимости – корректировка национальных индикаторов для приведения их в соответствие с системой индикаторов НБДЗ;
- *национальные данные*: необходимо иметь наборы долговременных данных по национальным показателям, покрывающие территорию страны и раскрывающие основные индикаторы НБДЗ;
- *базовая линия*: важно определить оптимальный для страны временной интервал (предлагаемый КБО ООН период 2000-2015 гг., или обосновать другой наиболее подходящий интервал (или серию интервалов) для разных типов наземного покрова для сравнительного мониторинга основных показателей).

Разработка подходов к выявлению возможных национальных индикаторов НБДЗ для Туркменистана проводилась последовательно с решением следующих задач: анализ состояния земель на основании глобальных данных для диагностики НБДЗ; анализ и подбор национальных показателей на основе нормативных документов – разработка предложений по отбору индикаторов и разработке способов оценки НБДЗ с учетом имеющихся национальных данных.

### Результаты и обсуждение

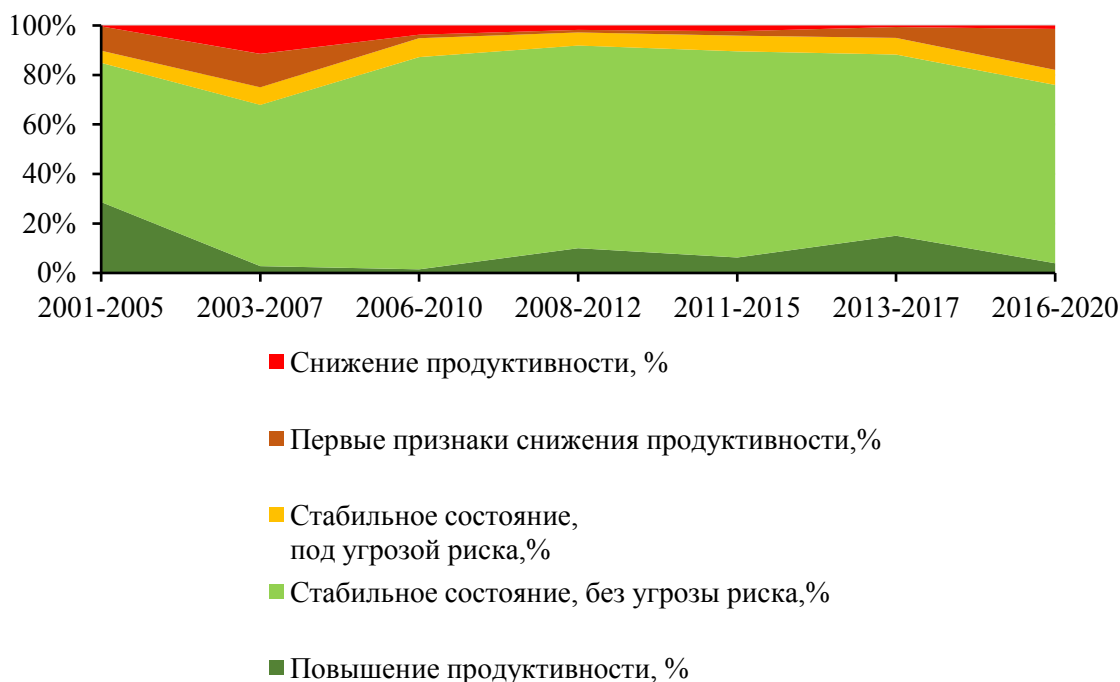
*Анализ состояния земель Туркменистана на основании глобальных данных.* Согласно национальным данным (Отчет Республики Туркменистан ..., 2018), доля деградированных земель за 2000-2015 гг. составляет 22.15%, что близко соответствует расчетам, полученным для того же периода с помощью Trend.Earth (21.4%). Поскольку Trend.Earth позволяет проводить мониторинг этого индикатора, то нами были получены уточненные данные, картографически представленные на рисунке 2. Согласно расчетам, для обновленного периода 2001-2020 гг. общая доля деградированных земель уменьшилась до 8.33%, что, на первый взгляд, может показаться неожиданным. Однако при более детальном изучении данного метода удалось установить, что эти различия связаны с выбором базовой линии для проведения сравнения. При использовании глобальных подходов «по умолчанию», при расчете динамики продуктивности проводится сравнение последнего трехлетнего периода (2013-2015 гг) со средними значениями за предыдущие 12 лет (2001-2012 гг.), а также учитываются изменения в наземном покрове и тренды запасов органического углерода. Поскольку последние два показателя на территории Туркменистана изменяются в этот период крайне незначительно (о чем свидетельствуют расчеты с помощью Trend.Earth), то можно считать, что основной вклад в динамику НБДЗ вносит изменение только одного показателя – продуктивности земель. Однако и этот показатель тоже не всегда дает достоверную картину, поскольку, например, в число «недеградированных» земель за фиксированный период времени (например, последние 15-20 лет) могут попадать земли, истощенные и испорченные в более ранние годы.



**Рис. 2.** Оценка показателя ЦУР 15.3.1 для Туркменистана по глобальным данным за 2001-2020 гг.



Продемонстрировать динамику продуктивности земель для территории Туркменистана можно на диаграмме, полученной также с использованием данных Trend.Earth, но составленной с использованием метода скользящего среднего для пятилетних периодов, начиная с 2001-2005 и заканчивая 2016-2020 гг. (рис. 3). В качестве среднего для сравнения, для нивелирования различий, принимался весь период 2001-2020 гг.. Очевидно, что на диаграмме наблюдается не абсолютная, а относительная динамика продуктивности, однако по представленным данным легко проследить, что этот индикатор НБДЗ весьма изменчив, а, следовательно, к выбору базовой линии для его оценки следует подходить обоснованно и осторожно.



**Рис. 3.** Динамика продуктивности на территории Туркменистана в 2001-2020 гг .

*Анализ и подбор национальных показателей НБДЗ на основе нормативных документов.* Как отмечалось выше, предлагаемый модуль для расчета НБДЗ для условий Туркменистана корректно работает только в отношении индикатора динамики продуктивности. Для динамики наземного покрова и запасов органического углерода для страны в целом не выявлено значимых трендов. В «Отчете Республики Туркменистан» (2018) также отмечалось, что оценка деградации земель по глобальным данным не дает достаточно достоверной картины из-за несоответствия используемых классов наземного покрова национальным статистическим данным. Эти результаты подтверждаются и ранее полученными данными для России (Andreeva, Kust, 2020; Беляева и др., 2020): если на региональном уровне ошибки при распознавании переходов классов наземного покрова составляют не более 10-20%, то при переходе на локальный ошибки значительно искажают действительную картину. Информация о запасах углерода глобальной базы данных о почвах SoilGrid (разрешение 250 м) для верхних 30 см почвы, используемая в Trends.Earth, также отличается неточностью.

Таким образом, для раскрытия глобальных показателей в Туркменистане важны национальные индикаторы, поиск соответствия которых методологии оценки НБДЗ (Orr et al., 2017) и стал главной задачей данного исследования. Ее решение осуществлялось по двум направлениям: а) анализ законодательной и институциональной базы для выявления перечня потенциальных показателей, связанных с деградацией земель; б) анализ системы государственной статистики для выявления показателей состояния земель, по которым ведутся регулярные или периодические наблюдения.

*Анализ законодательной и институциональной базы.* В Туркменистане объективным сдерживающим фактором является отсутствие законодательно закрепленного определения

«деградации земель», что препятствует внедрению в правовые документы связанных с ним понятий. В Меджелисе страны в настоящее время находится на рассмотрении наше предложение по внедрению в национальное правовое поле определения, принятого в тексте КБО ООН. Кроме того, предлагается закрепить в кодексе «О земле» (2004) и основную концепцию НБДЗ: «Мероприятия по улучшению состояния деградированных земель осуществляются с учетом международно-признанного подхода, при котором объём и качество земельных ресурсов, необходимые для поддержания их жизненно важных экосистемных функций и услуг, а также для обеспечения продовольственной безопасности, остаются стабильными или повышаются в заданных временных и пространственных масштабах в агропромышленных экосистемах (ландшафтах)».

Анализ обновленной законодательной и нормативной правовой базы Туркменистана, включающей «Национальную стратегию об изменении климата» (2020), учреждение Правительственной комиссии по координации «Национальной системы мониторинга земной поверхности» (2021), принятие второй «Национальной лесной программы Туркменистана на 2021-2025 годы» и «Плана мероприятий по её реализации» (2021), «Национальную программу по Аралу» (2021), принятие «Закона об экологической информации» (2020), позволил установить, что соответствующими законами Туркменистана в настоящее время декларируется необходимость создания информационных систем, содержащих:

– сведения по показателям количественных и качественных характеристик земельных участков содержатся в системе мониторинга земель (Кодекс Туркменистана «О земле», 2004) и единой *государственной геоинформационной системе документированных сведений* (Закон Туркменистана «Об экологической информации», 2020);

– сведения по показателям качественного состояния пастбищ собираются в системе *государственного мониторинга пастбищ* (Закон Туркменистана «О пастбищах», 2015);

– показатели мониторинга окружающей среды в части качественного состояния земель агрегируются в системе *государственного мониторинга окружающей среды* (Закон Туркменистана «Об охране природы», 2014);

– показатели мониторинга окружающей среды в части качественного состояния земель выделены в систему *государственного земельного кадастра* (Закон Туркменистана «Об экологической информации», 2020);

– показатели количественного и качественного состояния лесного фонда должны составить систему *государственного лесного кадастра* (Закон Туркменистана «Об утверждении и введении в действие Лесного кодекса Туркменистана», 2011).

Однако в настоящее время эти заявленные системы практически не содержат перечней тематических показателей, поскольку большинство указанных информационных систем находятся только на стадии разработки. Их наполнение возможно только данными, получаемыми при ежегодном мониторинге показателей по формам статистического учета, которые пока не утверждены. При разработке этих форм, учитывая ведомственную разобщенность, важно, с одной стороны, исключить дублирование, а с другой – обеспечить взаимную проверку и координацию выбранных показателей на принципах взаимозаменяемости и взаимодополняемости.

*Анализ системы государственной статистики и архивов национальных данных.* Порядок регулярного мониторинга статистических показателей регулируется Законом Туркменистана «О статистике» (2012). В систему государственного мониторинга включены формы государственной статистической отчетности Туркменистана по тематическому принципу (Форма №1-лх – для лесов, Форма 22 – по распределению земель по категориям и угодьям сельскохозяйственных земель, Форма №1-заповедник – по землям особо охраняемых природных территорий), содержащие соответствующие показатели. Анализ этих форм показывает, что в целом в национальной системе статистического учёта в настоящее время отсутствуют показатели, ежегодный мониторинг которых полностью соответствовал бы индикаторам КБО ООН и индикатору ЦУР 15.3.1. В основном из числа показателей, по которым Туркменстатом осуществляется регулярный мониторинг, доступны показатели по распределению и использованию земель сельскохозяйственного назначения, что ограничивает мониторинг на общенациональном уровне для других категорий земель.

Тем не менее, в Туркменистане существует большой массив данных, которые могут быть при определенной интерпретации использованы для оценки НБДЗ. К их числу можно отнести:

- показатели, оцениваемые на нерегулярной основе – используемые для оценки различного рода стратегий и программ (Национальная Стратегия Туркменистана об изменении климата, Программа Президента Туркменистана по развитию сельского хозяйства на 2019-2025 гг.) и др.;
- нормативно-методические документы в области оценки качественного состояния земель относящиеся к территории Туркменистана, в том числе ретроспективные.
- результаты научных исследований, проведенных в стране за последние 50-60 лет.

Примером наиболее значимых показателей первой группы могут служить критерии выполнения Национальной Лесной программы, поскольку они показали свою эффективность в предыдущие периоды. Так, в результате работ по программе «Зелёный пояс» в период 1998-2004 годы было улучшено около 42 тыс. га земель; в период с 2005 по 2019 годы, в том числе за счет реализации первой «Лесной программы», – более 58 тыс. га; по второй «Лесной программе» на период до 2025 года запланировано улучшить около 35 тыс. га земель.

Другой пример содержится в Программе социально-экономического развития на 2019-2025 годы, которая предусматривает проведение работ по улучшению мелиоративного состояния земель на площади 289.14 тыс. га и комплексной их реконструкции на площади 4.9 тыс. га. Продолжаются работы по строительству Туркменского озера, что будет способствовать понижению уровня грунтовых вод и повышению плодородия орошаемых земель, отводу коллекторно-дренажного стока во впадину Карашор и прекращению заболачивания пастбищных земель в результате бессистемного их сброса в Каракумы, улучшению качества воды Амударьи. Капитальные вложения будут направлены также на водоснабжение пастбищ на площади 3110 тыс. га, что позволит снизить уровень деградации вокруг существующих колодцев. Будет освоено 5150 га целинных земель, дополнительный объем водохранилищ планируется довести до 151.8 млн. м<sup>3</sup>.

Примерный перечень основных доступных показателей для оценки деградации и прогноза состояния земель, полученный на основе анализа всего массива показателей и индикаторов, имеющихся на национальном уровне, представлен в таблице 1.

Возможности анализа НБДЗ по приведенному перечню возможных национальных показателей ограничиваются двумя основными причинами. Во-первых, в этом списке отсутствуют показатели, которые можно напрямую использовать для расчета НБДЗ по глобальной методологии, за исключением динамики наземного покрова, для которого не определены способы мониторинга, расчета и формы учета. Во-вторых, для некоторых национальных показателей, которые потенциально могли бы быть приняты за индикаторы-аналоги НБДЗ, отсутствуют временные ряды наблюдений, а также полный охват территории страны.

Таким образом, расчет НБДЗ по неполным национальным данным на текущий момент не осуществим. В то же время представленный список может служить инструментом для выбора национальных индикаторов-аналогов для оценки НБДЗ в рамках формирующихся систем мониторинга. Ниже рассмотрим наиболее подходящие для этих целей возможности.

### **Предложения по отбору индикаторов-аналогов и разработке способов оценки НБДЗ**

*Глобальный индикатор ЦУР 15.3.1 «Доля деградировавших земель, от всей площади суши».* Из приведенных в таблице 1 показателей, для данного индикатора наиболее перспективным представляется использование национального индикатора-аналога «Степень деградации земель, %». Однако для этого необходимо оценить его информационную обеспеченность (наличие данных и глубину мониторинга показателя), а также соответствие методологии его расчета концепции НБДЗ.

Другим вариантом оценки глобального индикатора видится обновление данных «Оценки современного состояния опустынивания на территории Туркменистана», проведенной Институтом пустынь в 1998 г. (Доклад ..., 2000) по показателям «Площадь эродированных земель (ветровая и водная эрозия)», «Площадь, подверженная техногенному опустыниванию», «Площадь заболоченных пастбищ», «Площадь засоления орошаемых земель». Сравнение современных данных с данными 1998 г. позволит оценить улучшение/ухудшение значения показателя за рассматриваемый период. В перспективе, обновление данных на базе космических снимков, наблюдений на станциях и стационарах, тематических карт и статистических материалов позволит использовать эти показатели в качестве индикаторов-аналогов при оценке НБДЗ. Остальные показатели можно использовать для корректировки расчетных данных на местном уровне.

**Таблица 1.** Перечень потенциальных показателей для оценки деградации и прогноза состояния земель (на основе анализа системы национальных индикаторов).

Показатель	Категория земель	Возможный источник информации
<b>1. Глобальный индикатор ЦУР 15.3.1 «Доля деградировавших земель, от всей площади суши», прямой учет данных</b>		
Степень деградации земель, %	Земли всех категорий	Показатель есть в перечне систем Туркменстата (Система социально-экономических показателей и метаданные), но не указывается на способы мониторинга и формы учета
Нарушение земель в связи с несельскохозяйственной деятельностью, га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Статистический ежегодник Туркменистана)
Площадь нарушенных земель	В целом для всех категорий	Туркменстат (Форма №1 – рекультивация)
Площадь рекультивированных земель (всего), га	Земли сельскохозяйственного назначения, лесного фонда, водного фонда и другие	
Площадь улучшенных малопродуктивных угодий со снятым плодородным слоем, га	Земли сельскохозяйственного назначения	
Площадь эродированных земель (ветровая и водная эрозия)	Земли всех категорий	Оценка современного состояния опустынивания на территории Туркменистана (Доклад ..., 2000)
Площадь, подверженная техногенному опустыниванию	Земли всех категорий	
Площадь заболоченных пастбищ	Земли сельскохозяйственного назначения	
Площадь засоления орошаемых земель	Земли сельскохозяйственного назначения	
<b>2. Индикатор НБДЗ «Динамика наземного покрова», с учетом принципа «полного охвата» по всем индикаторам НБДЗ</b>		
Доля земельных площадей, покрытых лесами, %	Земли всех категорий	Туркменстат (Система социально-экономических показателей и метаданные)
Лесная площадь, га	Земли всех категорий	Туркменстат (Форма №1-лх)
Посевная площадь, га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Форма 1-сх, Форма № 29-сх)
Общая площадь уборки, га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Форма № 29-сх)
Динамика площадей по видам и подвидам угодий, в т.ч. орошаемых	В пределах земель различных категорий	Туркменстат
Динамика изменения площадей сельскохозяйственных угодий	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Форма №22)
Динамика балла бонитета почв	Земли всех категорий	Не определен. Возможно Министерство сельского хозяйства и охраны окружающей среды

## Продолжение таблицы 1.

Показатель	Категория земель	Возможный источник информации
Данные о состоянии земель по категориям, угодьям и землепользователям	Земли всех категорий	Туркменстат (Форма №22)
<b>3. Индикатор НБДЗ «Динамика продуктивности земель», с учетом принципа «полного охвата» по всем индикаторам НБДЗ</b>		
Средняя урожайность, снижение в % от исходного	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Форма 1-сх, Форма № 29-сх)
Динамика сбора продукции по культурам	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Форма 1-сх, Форма № 29-сх)
Продуктивность кормовых культур, ц усл. к. ед./га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Система социально-экономических показателей и метаданные)
Продуктивность сельскохозяйственных угодий, манатов/1000 га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Система социально-экономических показателей и метаданные)
Продуктивность пашни (орошаемых земель), манатов/га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Система социально-экономических показателей и метаданные)
Продуктивность пастбищ, голов/ га	Земли сельскохозяйственного назначения	Туркменстат (Система социально-экономических показателей и метаданные). Минсельхоз (управление пастбищами)
Уменьшение биологического разнообразия заповедников/национальных парков (по наличию видов)	Земли природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения.	Туркменстат (Форма №1-заповедник). Минсельхоз (управление ООПТ)
Деградация растительного покрова	Земли всех категорий	Оценка современного состояния опустынивания, проведенная в 1998 г. Заявленная национальная система мониторинга земной поверхности
Деградация растительного покрова	Земли всех категорий	Оценки опустынивания земель по критериям (Харин, Татейши, 2004)
Динамика уровня засоленности почв	Земли всех категорий	Агрохимлаборатории в составе Минсельхоза
<b>4. Индикатор НБДЗ «Динамика запасов почвенного органического углерода», с учетом принципа «полного охвата» по всем индикаторам НБДЗ</b>		
Динамика содержания гумуса в пахотных почвах за период 10 лет	Земли сельскохозяйственного назначения	Профильные научные учреждения (формирование соответствующих национальных стандартов)
Динамика запасов ПОУ	Земли всех категорий	

В связи с этим важным является принцип выбора базовой линии для проведения такой оценки. В отличие от рекомендуемого в (Orr et al., 2017) подхода о выборе определенного временного периода, для сравнения в качестве точки отсчета в Туркменистане предлагается использовать как раз упомянутые материалы 1998 года, имеющие качественную географическую и временную привязку.

*Индикатор НБДЗ «Динамика наземного покрова».* Наиболее близкими к тематике деградации земель являются формы по статистике сельского хозяйства, в том числе данные земельного учета. В Туркменистане в основе национальной системы оценки качества земель лежит классификация земель по форме 22 статистического учета «Сведения о наличии и распределении земель по категориям и угодьям». Ранее мы показали (Лобковский и др., 2022), что имеющиеся в ней данные не позволяют использовать их напрямую для оценки НБДЗ. Эта проблема, типичная для стран постсоветского пространства, связана прежде всего с различием методических подходов оценки индикаторов НБДЗ и национальных статистических показателей. Решение этой проблемы мы видим в поиске путей взаимной адаптации национальных данных земельного учета и индикаторов оценки НБДЗ, что позволит сбалансировать оценку процессов деградации и восстановления земель для постановки задач мониторинга и принятия решений по вопросам рационального землепользования на национальном и местном уровнях.

Анализ официальной статистической отчетности показывает, что в настоящее время наиболее обеспеченными фактическими данными о состоянии земель являются следующие показатели:

- общая земельная площадь – всего и по 7 категориям земель (земли сельскохозяйственного назначения, лесного фонда, водного фонда, государственного запаса, населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иных отраслей, природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения);
- площадь сельскохозяйственных угодий, в том числе орошаемых (пашни, многолетние насаждения, залежи, сенокосы, пастбища и прочие);
- площадь территории орошаемых охраняемых лесных зон и площади лесов;
- площади земель, находящиеся в стадии реконструкции;
- площадь земель по землепользователям (дайханские (фермерские) объединения; государственные животноводческие объединения; сельскохозяйственные акционерные общества; граждане страны, получившие земли для ведения товарного сельскохозяйственного производства (в частное пользование, в долгосрочную аренду); прочие сельскохозяйственные предприятия).

Вместе с тем наша оценка с использованием космических данных показывает (обзор динамики продуктивности с 2001 по 2020 гг. по данным MODIS на начало апреля как пик роста растительности), что для экологической оценки опустынивания важное значение имеют не столько категории, сколько разновидности использования земель (табл. 2а) и их качество (табл. 2б).

**Таблица 2а.** Виды использования земель в Туркменистане.

Виды использования земель	Площадь, км <sup>2</sup>	%
Такыры	14162.89	2.98
Пустынно-пастбищные	358528.53	75.57
Горно-пастбищные	3358.83	0.71
Затопленные сбросными водами	23548.59	4.96
Ирригационные	38230.22	8.06
Горных речных долин	5920.32	1.25
Барханные пески	16196.59	3.41
Осыпи	1399.81	0.30
Солончаки	13113.12	2.76
Итого	474458.90	100

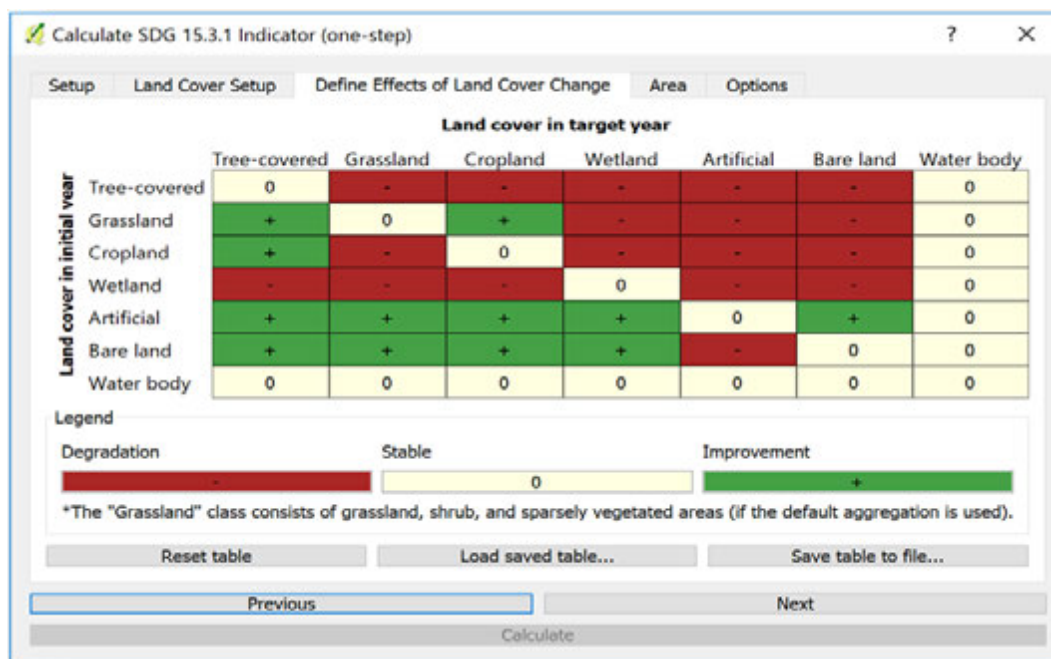
Эти виды землепользования более соответствуют диагностическим матрицам переходов, реализуемых в алгоритме модуля Trend.Earth при оценке динамики наземного покрова по 7 основным классам предусматривают оценку переходов по градации «ухудшение», «улучшение», «стабильно» (рис. 4).

Динамика переходов видов землепользования, перечисленных в таблицах 2а и 2б, с учетом их качественной оценки, представленная в матричном виде по аналогии с Trend.Earth, могла бы с успехом заменить этот генерализованный инструмент для условий Туркменистана в качестве первого

шага по адаптации национального и глобального подхода. На следующем этапе более эффективным подходом нам представляется использование видов и подвидов угодий для более дробной оценки (по сравнению с используемой в формах статистической отчетности), отражающей природно-ландшафтные особенности страны. Пример возможного перечня подвидов земельных угодий приведен в таблице 3.

**Таблица 26.** Степень деградации пустынно-пастбищных и ирригационных земель по данным MODIS с 2001 по 2020 гг. (использованы NDVI на начало апреля как пик вегетации).

Степень деградации	Площадь (км <sup>2</sup> )	%
Пустынно-пастбищные земли		
Слабая	305921.38	85.33
Умеренная	52607.15	14.67
Итого	358528.53	100
Ирригационные земли		
Слабая	9637.1	25.21
Умеренная	20318.83	53.15
Сильная	8274.29	21.64
Итого	38230.22	100



**Рис. 4.** Генерализованная («по умолчанию») матрица оценки динамики наземного покрова (Trend.Earth, 2018).

Таким образом в оценочной матрице классы наземного покрова могут быть заменены на виды/подвиды земельных угодий и их взаимный переход будет оцениваться по градации «ухудшение», «улучшение», «стабильно». Предлагаемый подход при условии корректного соответствия может быть использован для оценки динамики наземного покрова на общенациональном и местном уровне.

*Индикатор НБДЗ «Динамика продуктивности земель».* Для оценки динамики продуктивности земель по национальным индикаторам-аналогам потенциально возможны два основных подхода или их сочетание: а) адаптация данных глобальной базы вегетационного индекса NDVI для природно-климатических условий Туркменистана; б) использование национальных индикаторов-аналогов и



показателей мониторинга земель. Наш анализ показал, что для территории Туркменистана данные по NDVI можно использовать с определенными ограничениями, после выделения определенных категорий земель и землепользования, которые можно классифицировать на три группы по адекватности данного спутникового индекса для оценки эффективной продуктивности.

**Таблица 3.** Пример возможного разукрупнения перечня земельных угодий.

Виды земельных угодий (Форма 22)	Подвиды земельных угодий
1. Пашня	Орошаемые пашни
	Богарные пашни
2. Многолетние насаждения	Виноградники
	Плодовые
	Тутовые
	Прочие многолетние насаждения
3. Залежи	Залежи
4. Сенокосы	Сенокосы
5. Пастбища	Пастбища неорошаемые
	Пастбища орошаемые
	Пастбища пустынные, предгорные, горные
	Земли с/х назначения в стадии мелиоративной подготовки
6. Территория орошаемых охраняемых лесных зон и площади лесов	Лесные зоны и леса
	Пастбища на землях лесного фонда
7. Земли, находящиеся в стадии реконструкции	Под водой
	Под строениями, постройками, зданиями и сооружениями
	Нарушенные земли
8. Прочие земли	Пески
	Земли, находящиеся в стадии реконструкции

К первой группе относятся земли, для которых оценка продуктивности по NDVI эффективна в течение всего года. К таковым в основном относятся лесопокрываемые территории, территории ООПТ, поймы рек, природные горные и предгорные луга и редколесья. Вторая группа характеризуется возможностью и целесообразностью использования NDVI только для определенного сезона, который, как правило, отражает сезон вегетаций растений на пастбищах (весна и осень) и сельскохозяйственных полях (в зависимости от культур). Для земель третьей группы использование NDVI для оценки продуктивности нецелесообразно по причине низкого качества этих земель, несмотря на то, что в определенные сезоны значения вегетационного индекса могут быть относительно высокими: засоленные территории (например, галофиты на солончаках), такыры и такырные почвы.

Валидацию данных NDVI как показателя оценки продуктивности для земель первой группы целесообразно проводить по изменениям растительных рядов Л.Я.Курочкиной (2015). При этом в качестве сравнительного аналога («базовой линии» в терминологии концепции НБДЗ) можно использовать как предложенные (Ott et al, 2017) определенные временные диапазоны, так и природные фоновые территории – особо охраняемые территории разного статуса. Девять основных ООПТ страны расположены в различных природно-географических условиях и занимают 1599304 га или 3.28% от площади Туркменистана. Для земель второй группы валидация NDVI может проводиться по традиционным показателям, таким как оценка травостоя, продуктивности пастбищ, урожайность основных сельскохозяйственных культур и т.п.

Традиционными для Туркменистана индикаторами продуктивности земель, по которым, однако, в последнее время оценок не производилось, но имеются базовые данные на конец 80-х – 90-е гг.,

являются:

- *деградация растительного покрова* (Харин, Татейши, 2004), устанавливаемая с помощью таких критериев как: степень изменения растительного сообщества, доля климаксовых видов, проективное покрытие, сокращение кормов на пастбищах, потеря прироста древесины в лесах;
- *изменения в бонитете почв* (Методические указания ..., 2018), устанавливаемом по 100-балльной шкале для оценки качества орошаемых земель на основании почвенных показателей;
- *изменение уровня засоленности почв*, оцениваемого по соотношению ионов хлора и сульфатов (государственными стандартами Туркменистана TDS-26425-85 (Cl<sup>-</sup>, хлориды) и TDS-26426-85 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, сульфаты; Государственные стандарты Туркменистана, 2020) от «менее 0.03 (незасоленные)» до «более 0.60 (очень сильно засоленные (солончаки))»;
- *изменения продуктивности пастбищ* по таким показателям как запасы кормов (по группе типов и сезонам года), обеспеченность водными источниками, характер землепользования (методы выпаса, пастбищеобороты и пр.);
- *урожайность сельскохозяйственных культур* по данным государственной статистической отчетности Туркменистана по показателям: посевные площади и валовой сбор сельскохозяйственных культур, расчётный показатель урожайности.

Очевидно, что перечисленные индикаторы (или их сочетания) должны быть подобраны, установлены и в дальнейшем использоваться только для соответствующих типов земель и видов землепользования: пастбищ горных и пустынных, пашни орошаемой или богарной и т.п. Базовые данные по этим индикаторам, имеющиеся на период 80-90-х годов XX века, могут быть использованы для разработки и установления шкал продуктивности растительного покрова на основе спутниковых индексов с использованием метода ретроспективного мониторинга (Koroleva et al., 2019).

*Индикатор НБДЗ «Динамика запасов почвенного органического углерода».* Информация о запасах почвенного органического углерода (ПОУ) используемая при расчете показателя в Trends.Earth основана на данных глобальной базы данных SoilGrids и, как показали наши исследования (Куст и др., 2019; Andreeva, Kust, 2020; Беляева и др., 2020), не всегда отличается достоверностью, поскольку построена на модельных данных, не учитывающих местные условия в полном объеме. Нами выявлено, что в числе показателей ежегодного статистического мониторинга Туркменстата отсутствуют прямые показатели, оценивающие содержание ПОУ. Имеющиеся ретроспективные данные (по содержанию и запасам гумуса в почвах, мощности гумусового горизонта) весьма разрознены и не обновляются. В этой ситуации для оценки по ретроспективным национальным данным минимально допустимое значение содержания углерода в верхнем горизонте почв предлагается установить экспертным путем. По нашим оценкам, для Туркменистана его можно принять равным 0.5% и использовать как самостоятельный контрольный показатель. Валидацию значений для отдельных регионов можно провести с использованием имеющиеся данных прошлых лет (почвенные карты, карты оценки пастбищ, почвенные реестры и др.). Для оценки динамики рекомендуется рассматривать только территории, где содержание углерода превышает граничное значение, а динамику углеродного баланса рассчитывать с использованием моделей – углеродных «калькуляторов», например EX-АСТ, СВР, и другие.

*Возможности использования дополнительных индикаторов с учетом национальной специфики.* Кроме индикаторов-аналогов предлагаемых в (Org et al., 2017) глобальных индикаторов НБДЗ, в ходе исследования экспертным путем были выявлены и предложены важные для страны дополнительные самостоятельные индикаторы, которые могут быть использованы по принципу «полного охвата» для оценки НБДЗ и представлять отдельные картографические слои для удобства их применения. К ним относятся: а) засоление почв и земель (не только для орошаемых земель и, в отличие от вышеописанного, не только для оценки продуктивности); б) дефляция (ветровая эрозия) почв; в) засушливость климата. Ценность дополнительных индикаторов в том, что для отдельных территорий Туркменистана при оценке НБДЗ возможна замена какого-либо неэффективного для национальной оценки глобального индикатора на альтернативный национальный индикатор из числа перечисленных. Опыт использования этих индикаторов в Туркменистане складывается из следующего.

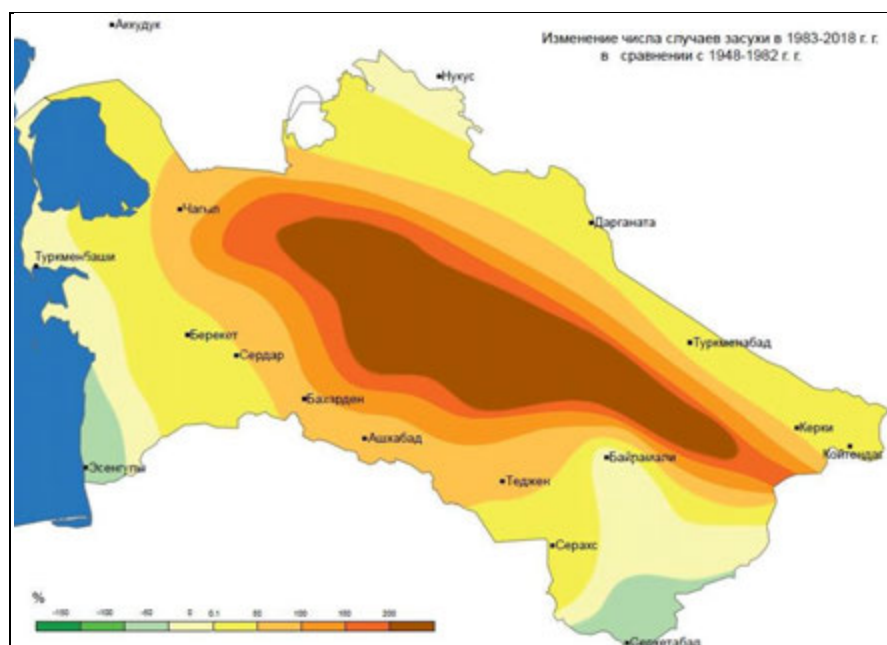
*Засоление почв и земель* удобно оценивать по комплексу показателей, предложенных

(Харин, Татейши, 2004). Это, в первую очередь, засоленность грунтовых вод, в г/л: слабая (3-6), умеренная (6-10), сильная (10-30). Засоленность оросительной воды, в г/л: слабая (0.5-1.0), умеренная (1.0-1.5), сильная (> 1.5). Сезонное накопление солей, в т/га: слабая (16-30), умеренная (30-45), сильная (45-90). Потеря урожая основной культуры, в %: < 15, умеренная (15-40), сильная (45-90). При оценке по нескольким показателям рекомендуется использовать максимально наихудшую оценку как итоговую. При этом переходы между степенями деградации можно использовать в расчетной матрице Trend.Earth.

Для оценки дефляции теми же авторами были предложены следующие показатели, все в %. Площадь, покрытая подвижными песками: слабая (менее 30), умеренная (30-70), сильная (более 70). Площадь, покрытая растениями, формирующими дернину: слабая (30-50), умеренная (10-30), сильная (< 10). Разрушение поверхностного горизонта почвы: слабая (менее 25), умеренная (25-50), сильная (> 50). Площадь, занятая котловинами выдувания: слабая (< 5), умеренная (5-10), сильная (> 10). Потеря урожая основной культуры: слабая (< 25), умеренная (25-50), сильная (> 50).

*Засушливость климата.* Природно-климатические условия Туркменистана обуславливают важное значение показателя засушливости климата среди факторов, обуславливающих деградацию земель (Состояние окружающей среды ..., 2008; Шестой национальный доклад ..., 2019; Национальная стратегия ..., 2020). Для оценки деградации земель на национальном и региональном уровнях оптимально использовать два основных климатических параметра: частота засух и частота пыльных бурь (с вариациями отдельных индексов и показателей).

Для частоты засух целесообразно применять индексы SPI (стандартизированный индекс осадков) и SPEI (стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации), расчеты которых ведутся на основании данных метеостанций и международных баз метеорологических данных. Для SPI (предоставляет только количественную оценку дефицита осадков, отсутствует компонент водного баланса почвы) используются многолетние ряды данных о месячных суммах осадков, преобразуемые в индекс вероятности осадков в любом временном масштабе. SPEI при определении засухи кроме осадков учитывает также потенциальное суммарное испарение (эвапотранспирацию). Многолетняя динамика этих индикаторов может быть использована для косвенной характеристики эффективности мер по борьбе с деградацией земель/опустыниванием (рис. 6).



**Рис. 6.** Динамика засушливости по индексу SPI (изменение случаев засухи в 1983-2018 гг. по сравнению с 1948-1982 гг.; Засуха в Туркменистане, 2019).

Преимущество показателей засушливости заключается в том, что их мониторинг при наличии метеоданных проводится относительно просто, а также в том, что эти данные являются

пространственно-распределенными, что позволяет обеспечить покрытие всей территории Туркменистана. Расчет обоих индексов рекомендуется проводить в диапазоне временных рамок от 1 до 48 месяцев (Vicente-Serrano, 2014). В качестве дополнительных климатических индексов засушливости могут быть также использованы дополнительные параметры, учитываемые в системе Гидрометеорологической службы Министерства сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана: повторяемость экстремальных засух и засух различной интенсивности и продолжительности, динамика среднегодовой температуры воздуха, динамика годового количества осадков. Подтверждение данных возможно через прямые наблюдения метеостанций, а также оценку косвенных изменений биотопов ООПТ вызванных засушливостью климата.

Оценку деградации земель на основе оценки частоты пыльных бурь возможно проводить на основе глобальных данных картографического ресурса КБО ООН (Sand and Dust ..., 2021), позволяющего оценить годовые и месячные циклы и локализовать источники возникновения пыльных бурь на территории Туркменистана. Этот ресурс позволяет также оценить дополнительный страновой индикатор «снижение частоты пыльных бурь с источниками в Туркменистане». Полученное число пыльных бурь также можно учитывать при оценке сезонного NDVI (карта пыльных бурь). Гидрометеослужба также может обеспечить систему мониторинга деградации земель такими дополнительными показателями, как: наибольшее число дней с пыльными бурями, наибольшее число дней с песчаными бурями.

### Выводы

На основании проведенного исследования сформулированы подходы и требования к разработке национальной системы показателей для установления целей и оценки достижения нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ). Основой для мониторинга целевых показателей НБДЗ должна служить разрабатываемая в настоящее время Национальная система мониторинга земной поверхности Туркменистана таким образом, чтобы система национальных индикаторов и адаптированных глобальных индикаторов НБДЗ полностью обеспечивалась и подкреплялась статистическими данными и данными геоинформационного мониторинга на всю территорию страны.

Проведен анализ и рассмотрена возможность сопоставления и интеграции глобальных и национальных данных, необходимых для оценки деградации земель и мониторинга достижения НБДЗ. Установлено, что, несмотря на новые важные данные, получаемые с использованием глобальных подходов, в настоящее время достоверный мониторинг НБДЗ по национальным данным в полной мере не осуществим, т.к. а) глобальные индикаторы и расчет показателя деградации земель 15.3.1 «Целей устойчивого развития» на период до 2030 года недостаточно подтверждаются имеющимися национальными данными; б) система имеющихся национальных индикаторов и показателей не в полной мере соответствует глобальным прокси-индикаторам динамики наземного покрова, продуктивности и запасов органического углерода в почвах; в) для тех национальных индикаторов и показателей, которые потенциально могли бы быть использованы в качестве аналогов глобальных прокси-индикаторов, отсутствует система многолетнего мониторинга для всей территории страны.

Проведенный анализ совокупности национальных индикаторов и показателей, как уже имеющихся и активно используемых в национальной статистике, так и заявленных в рамках находящихся в разработке систем государственного мониторинга природной среды, а также отраженных в различных национальных исследованиях и научных разработках прошлых лет, позволили предложить рабочий список национальных индикаторов-аналогов для глобальных индикаторов НБДЗ и пути их валидации. Рекомендовано использовать материалы исследований прошлых лет для разработки показателей космического мониторинга НБДЗ с использованием методов ретроспективного анализа. В этом случае в качестве «базовой линии» для мониторинга деградации земель могут служить картографические и фондовые данные, собранные и обработанные в конце 80-х – 90-х годах XX века. Для более точной диагностики достижения НБДЗ рекомендовано использовать материалы по оценке состояния особо охраняемых природных территорий.

Показано, что ключевым отправным моментом для оценки деградации земель является с одной стороны, принятие на законодательном уровне определения «деградации земель» для отражения его в соответствующих руководствах по оценке, а с другой стороны, разработка списка типов земель и

видов землепользования, отражаемых в матрице переходов для определения положительных и отрицательных трендов. Имеющаяся в настоящее время классификация категорий земель не в полной мере отвечает этой задаче, поэтому предложены рабочие списки для дальнейшего анализа и внедрения в систему оценки деградационных изменений.

Для совершенствования путей возможной гармонизации глобальных и национальных индикаторов предложены дополнительные и альтернативные индикаторы НБДЗ, имеющие особое значение для Туркменистана: засоление почв и земель, дефляция (ветровая эрозия) почв, засушливость климата, пыльные бури. Для этих индикаторов предложены наиболее информативные и удобные показатели.

*Финансирование.* Статья подготовлена в рамках проекта Региональной программы GIZ «Интегрированное землепользование с учетом изменения климата в Центральной Азии» (ILUCA) – сбор материала и предварительные выводы; темы Государственного задания Института географии РАН № FMWS-2022-0001 «Пространственные и временные проблемы устойчивого землепользования в контексте глобальных изменений климата» (обработка пространственных данных и формулирование основных положений и заключения).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляева М.В., Андреева О.В., Куст Г.С., Лобковский В.А.* 2020. Опыт оценки динамики деградации земель юга европейской части России с использованием методологии нейтрального баланса деградации земель // Экосистемы: экология и динамика. Т. 4. № 3. С. 145-165.
- Государственные стандарты Туркменистана. 2020 [Электронный ресурс [https://turkmenstandartlar.gov.tm/index.php?page=ru\\_2020\\_standartlar\\_3](https://turkmenstandartlar.gov.tm/index.php?page=ru_2020_standartlar_3) (дата обращения 08.11.2021)].
- Доклад по осуществлению Национальной программы действий по борьбе с опустыниванием в Туркменистане, Ашхабад. 2000 [Электронный ресурс <https://studylib.ru/doc/2096148/doklad---prais> (дата обращения 08.11.2021)].
- Закон об экологической информации. 2020 [Электронный ресурс <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/tuk196011.pdf> (дата обращения 08.11.2021)].
- Закон Туркменистана «О пастбищах». 2015 [Электронный ресурс <https://turkmenistan.gov.tm/index.php/ru/post/33916/zakon-turkmenistana-o-vnesenii-izmenenii-v-nekotorye-zakonodatelnye-akty-turkmenistana> (дата обращения 08.11.2021)].
- Закон Туркменистана «О статистике». 2012 [Электронный ресурс <https://www.parahat.info/law/2012-04-12-zakon-turkmenistana-o-statistike> (дата обращения 08.11.2021)].
- Закон Туркменистана «Об охране природы». 2014 [Электронный ресурс <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/Zakon/Nacional/Turkmenia> (дата обращения 08.11.2021)].
- Закон Туркменистана «Об утверждении и введении в действие Лесного кодекса Туркменистана. 2011 [Электронный ресурс <https://www.parahat.info/law/2015-03-12-zakon-turkmenistana-o-vnesenii-izmeneniy-i-dopolneniy-v-lesnoy-kodeks-turkmenistana> (дата обращения 08.11.2021)].
- Засуха в Туркменистане. 2019. Статистический анализ засух за последние 70 лет [Электронный ресурс <https://meteojournal.ru/zasuha-v-turkmenistane-statisticheskij-analiz-zasuh-za-poslednie-70-let/> (дата обращения 08.11.2021)].
- Кодекс Туркменистана «О земле» от 25 октября 2004 года (с изм. и доп. по сост. на 17.04.2022). 2004 [Электронный ресурс [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31342678&show\\_di=1](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31342678&show_di=1) (дата обращения 10.05.2022)].
- Курочкина Л.Я.* 2015. Мониторинг и картографирование деградации растительных формаций в экосистемах аридного Приаралья // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 5-21. [*Kurochkina L.Ya.* 2015. Monitoring and mapping of degradation of vegetation formations in the ecosystems of arid Aral Sea region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 4. Pp. 201-215.]
- Куст Г.С., Лобковский В.А., Андреева О.В., Костовска С.К.* 2019. Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Перо. 235 с.
- Лобковский В.А., Андреева О.В., Куст Г.С.* 2022. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России // Известия РАН. Серия географическая. № 86 (1). С. 9-27.
- Методические указания по проведению работ по бонитировке почв и экономической оценке орошаемых земель. 2018 [Электронный ресурс [http://www.adlia.tj/show\\_doc.fwx?Rgn=4569](http://www.adlia.tj/show_doc.fwx?Rgn=4569) (дата обращения 08.11.2021)].
- Национальная лесная программа Туркменистана. 2021 [Электронный ресурс <https://centralasia.news/10183-utverzhdena-nacionalnaja-lesnaja-programma-turkmenistana-na-20212025-gody.html> (дата обращения 08.11.2021)].

- Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием в Туркменистане. 1996 [Электронный ресурс [http://www.cawater-info.net/bk/water\\_land\\_resources\\_use/russian\\_ver/pdf/turkmenistan-npd.pdf](http://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/pdf/turkmenistan-npd.pdf) (дата обращения 08.11.2021)].
- Национальная Программа социально-экономического развития Туркменистана на 30 лет. 2022 [Электронный ресурс <https://www.oilgas.gov.tm/ru/posts/news/3953/v-turkmenistane-prinyata-natsionalnaya-programma-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-strany-na-30-let> (дата обращения 08.11.2021)].
- Национальная программа Туркменистана по Аралу. 2021 [Электронный ресурс <https://turkmenistan.gov.tm/ru/post/58015/utverzhdena-nacionalnaya-programma-turkmenistana-po-aralu-na-2021-2025-gody-i-plan-meropriyatij-po-eyo-realizacii> (дата обращения 08.11.2021)].
- Национальная стратегия об изменении климата. 2020 [Электронный ресурс <https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/CC-Turkmenistan-WEB-RU.pdf> (дата обращения 08.11.2021)].
- Отчет Республики Туркменистан. 2018. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием. Обзор эффективности и оценка системы внедрения [Электронный ресурс [https://prais.unccd.int/sites/default/files/pdf\\_reports/unccd\\_Turkmenistan\\_2018\\_0.pdf](https://prais.unccd.int/sites/default/files/pdf_reports/unccd_Turkmenistan_2018_0.pdf) (дата обращения 08.11.2021)].
- Повестка дня 2030. 2015. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция A/RES/70/1, принятая Генеральной Ассамблеей ООН 25 сентября 2015 года [Электронный ресурс [https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf) (дата обращения 08.11.2021)].
- Правительственная комиссия по координации Национальной системы мониторинга земной поверхности. 2021 [Электронный ресурс <https://turkmenportal.com/blog/35280/v-turkmenistane-sozhdadut-pravitelstvennuyu-komissiyu-po-koordinacii-nacionalnoi-sistemy-monitoringa-zemnoi-poverhnosti> (дата обращения 08.11.2021)].
- Состояние окружающей среды Туркменистана. 2008. Министерство охраны природы Туркменистана. Ашхабад. 145 с.
- Туркменстат. 2021. Государственный комитет Туркменистана по статистике [Электронный ресурс <https://www.stat.gov.tm/> (дата обращения 08.11.2021)].
- Харин Н.Г., Татейшии Р. 2004. Карта деградации засушливых земель Азии // Аридные экосистемы. Т. 10. № 24-25. С. 17-28 [Электронный ресурс [http://aridecosystems.ru/wp-content/uploads/2019/01/T10\\_N24\\_25\\_2004.pdf](http://aridecosystems.ru/wp-content/uploads/2019/01/T10_N24_25_2004.pdf) (дата обращения 08.11.2021)].
- Шестой национальный доклад по осуществлению решений Конвенции ООН о биологическом разнообразии на национальном уровне. Туркменистан. 2019. 117 с. [Электронный ресурс <http://www.cawater-info.net/> (дата обращения 08.11.2021)].
- Andreeva O., Kust G. 2020. Land Assessment in Russia Based on the Concept of Land Degradation Neutrality // Regional Research of Russia. Vol. 10. No. 4. Pp. 613-622.
- 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. Pp. 1-10. [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., Sebentsov A., Kust G., Kolosov V. 2022. Study on Climate Change, Land Degradation and Migration Nexus in Central Asia // United Nations Convention to Combat Desertification, Institute of Geography of Russian Academy of Sciences. (in print)
- Koroleva P.V., Rukhovich D.I., Shapovalov D.A. 2019. Retrospective Monitoring of Soil Waterlogging on Arable Land of Tambov Oblast in 1918-1968 // Eurasian Soil Science. Vol. 52. Pp. 834-852.
- Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovskiy V.A. 2020. Land Degradation Neutrality: The Modern Approach to Research on Arid Regions at the National Level // Arid Ecosystems. Vol. 10. Pp. 87-92. [Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А. 2020. Нейтральный Баланс Деградации Земель – современный подход к исследованию засушливых регионов на национальном уровне // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 3-9.]
- Orr B.J., Cowie A.L., Castillo Sanchez V.M. 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface // United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, Germany. 129 p.
- Sand and Dust Storms Source Base-map. 2021. United Nations Convention to Combat Desertification Электронный ресурс [<https://maps.unccd.int/sds> (дата обращения 08.11.2021)].
- Solomon M., Barger N., Cerdà A., Keesstra S., Markovic M. 2018. Assessing land condition as a first step to achieving land degradation neutrality: A case study of the Republic of Srpska // Environmental Science & Policy. Vol. 90. Pp. 19-27.
- Tier Classification for Global SDG Indicators, 22 May 2019. 2019 [Электронный ресурс [https://unstats.un.org/sdgs/files/Tier\\_Classification\\_of\\_SDG\\_Indicators\\_22\\_May\\_2019\\_web.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/files/Tier_Classification_of_SDG_Indicators_22_May_2019_web.pdf) (дата обращения 08.11.2021)].
- Trends.Earth. 2018. Enabling the Use of Global Data Sources to Assess and Monitor Land Degradation at Multiple Scales [Электронный ресурс <http://trends.earth/docs/en/> (дата обращения 08.11.2021)].

- Verburg P.H., Metternicht G., Allen C., Debonne N., Akhtar-Schuster M., Inácio da Cunha M., Karim Z., Pilon A., Raja O., Sánchez Santivañez M., Şenyaz A.* 2019. Creating an Enabling Environment for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface // United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, Germany. 77 p.
- Vicente-Serrano Sergio M.* Expert Developer Guidance. 2014. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (Spei) [Электронный ресурс <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei?qt-climatedatasetmaintabs=1#qt-climatedatasetmaintabspdf/tm-nr-06-ru.pdf> (дата обращения 08.11.2021)].



**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ЗЕМЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЗАПАДНОЙ ЗОН РЕСПУБЛИКИ ТЫВА**

© 2022 г. А.Д. Самбуу, А.О. Оксюлюк, А.Ю. Калдар-оол

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения РАН  
Россия, 667007, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117/а. E-mail: sambuu@mail.ru*

Поступила в редакцию 26.01.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Представленная эколого-экономическая оценка земель сельскохозяйственного назначения Республики Тыва разработана с учетом теоретических основ экономической оценки стоимости земель и методов стоимостной оценки экологически значимых факторов. По сельскохозяйственному и природно-экономическому районированию Восточно-Сибирского региона, Республика Тыва отнесена к степной овцеводческо-скотоводческой зоне. Для более рационального размещения и научно-обоснованной специализации сельскохозяйственного производства территория Тувы разделена на 4 сельскохозяйственные зоны (Экономика Тувинской АССР, 1973). Сельскохозяйственные угодья района исследования входят в Центральную сельскохозяйственную зону, преимущественно земледельческую подтайгу, животноводческо-зерновую степь и в Западную сельскохозяйственную зону, преимущественно животноводческо-зерновую. Это наиболее крупные, освоенные и густонаселенные части республики, где сосредоточена большая часть пахотных земель, 2/3 сенокосов и пастбищ, более 80% населения республики. Территории сельхозугодий находятся в пределах сухостепной, степной и лесостепной природно-климатических зон. Климат отличается наибольшей степенью аридности. Основными типами почв на пахотных землях являются каштановые супесчаные почвы, подверженные ветровой эрозии – 60%, черноземы – 23% и аллювиальные дерновые почвы – 15%. Выполненная оценка показывает, что общий ущерб от деградации почв для Центральной и Западной сельскохозяйственных зон республики оценивается в более 3.5 млрд. рублей, что составляет около трети стоимости земель, относящихся к сельскохозяйственным угодьям республики. Выявлено снижение стоимости земель за период с 2012 по 2017 гг. для Тандинского (54.1%) и Чеди-Хольского районов (47.2%), что связано с деградацией почв.

*Ключевые слова:* эколого-экономическая оценка, деградация почв, сельскохозяйственная зона, котловина, Республика Тыва.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-132-139**

**EDN: VJJWSB**

Эколого-экономическая оценка деградации земель – новое развивающееся направление на стыке естественных и экономических наук. Деградация земель является глобальной проблемой, которая приводит к таким последствиям, как снижение валового внутреннего продукта стран, ухудшение экономического положения местного населения, снижение продовольственной безопасности, изменение климата и потеря биоразнообразия (Lee et al., 2014). Фундаментальным исследованиям деградации земель в России посвящены многие работы сотрудников Почвенного института имени В.В. Докучаева (Соболев, 1948, 1970; Базилевич, Панкова, 1967; Научные основы ..., 2013; Карманов, Булгаков, 2012; Яковлев и др., 2016). Исследования по разработке методов эколого-экономической оценки земель в стране проводятся на протяжении более 20 лет, и в настоящее время существуют более 10 методов стоимостной оценки земель в рамках трех подходов, принятых в международной практике: сравнительном, затратном и доходном (Оценка ..., 1999; Куст, 2020). Базовой основой экономических методов управления земельными ресурсами является кадастровая стоимость, которая определяется в ходе государственной кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий путем капитализации расчетного рентного дохода. В зависимости от воздействия разных типов экологических факторов в России существуют различные методики оценки ущербов. Для эколого-экономической оценки деградации сельскохозяйственных земель республики мы использовали

«Методику определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994).

Целью работы является эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных земель Центральной и Западной сельскохозяйственных зон Республики Тыва с учетом их деградации и экологического ущерба.

### Объекты и методы исследования

Тыва – горная страна с колебаниями высот от 520 до 3970 м н.у.м. БС, вследствие чего наблюдается большая ландшафтная неоднородность территории. По преобладанию тех или иных ландшафтов территория Тывы принадлежит к двум широтно-географическим зонам Евразии: таежно-лесной и степной (Носин, 1963). Проявление широтной зональности выражено в межгорных котловинах, находящихся примерно на одних и тех же гипсометрических уровнях. Вследствие тех же зонально-климатических причин создаются различные ряды вертикальных природных зон на горах.

Объект исследования – сельхозугодия Республики Тыва. Согласно группировке районов и хозяйств Тывы по сходным природно-экономическим условиям (Солдатов, 1967), исследуемые территории сельскохозяйственных угодий входят в Центральную зону, преимущественно земледельческую подтайгу, животноводческо-зерновую степь, а также в Западную зону, преимущественно животноводческо-зерновую (рис. 1). Зоны расположены в основном в Центрально-Тувинской котловине – наиболее обширной из межгорных котловин Тывы с преобладанием равнинных, увалистосопочных низкогорных элементов рельефа, включая низкие предгорья по краям котловины. Территории сельхозугодий находятся в пределах сухостепной, степной и лесостепной природно-климатических зон. Климат отличается наибольшей степенью контрастности: малоснежная зима, жаркое и сухое лето, большая амплитуда абсолютных и суточных температур – характерные особенности климата котловины (Агроклиматические ресурсы ..., 1974; табл. 1).

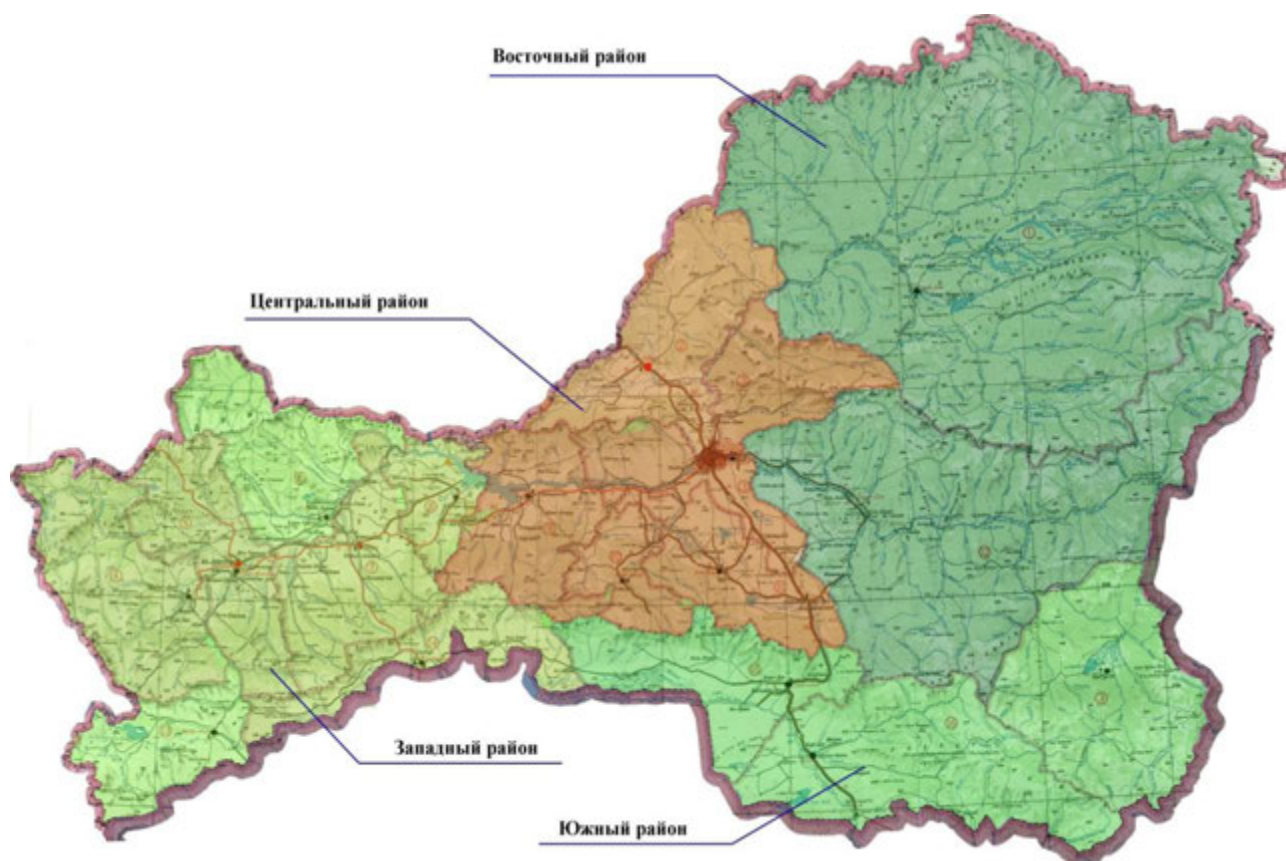


Рис. 1. Схема сельскохозяйственного районирования территории Тывы.

Почвы межгорных котловин Тывы относятся к степной зоне суббореального пояса Евразии с преобладанием преимущественно групп степного и пустынно-степного почвообразования

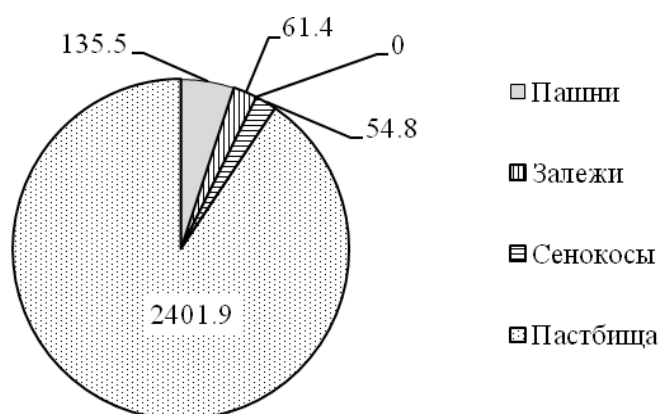
(Носин, 1963). Основными типами почв на пахотных землях Центрально-Тувинской котловины являются каштановые супесчаные, подверженные ветровой эрозии – 60%, черноземы – 23% и аллювиальные дерновые – 15%.

**Таблица 1.** Метеорологическая и агрохимическая оценка Центрально-Тувинской котловины.

Показатель	Сухостепная зона	Степная зона	Лесостепная зона
Высота над уровнем моря, м	600-800	500-900	900-1100
Сумма эффективных температур выше 10°C	2158	1795	1725
Годовая сумма осадков, мм	150-220	200-250	300-350
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0.7	1.0	1.3
Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см к началу вегетации, мм	26	33	45
Число суховейных дней	52	43	27
Продолжительность безморозного периода, дней	100-120	100-110	90-100

Земельный фонд Республики Тыва по состоянию на 01.01.2021 составляет 16860.4 тыс. га, общая площадь земель сельскохозяйственного назначения – 3363.9 тыс. га (19.9% от общей площади земельного фонда республики). Из них 2653.6 тыс. га (78.9%) приходится на сельскохозяйственные угодья, 710.2 тыс. га (21.1%) – на несельскохозяйственные. В составе сельскохозяйственных угодий площади пашни составляют 135.5 тыс. га, залежей – 61.4 тыс. га, сенокосы – 54.8 тыс. га, пастбища – 2401.9 тыс. га (Статистический ..., 2021).

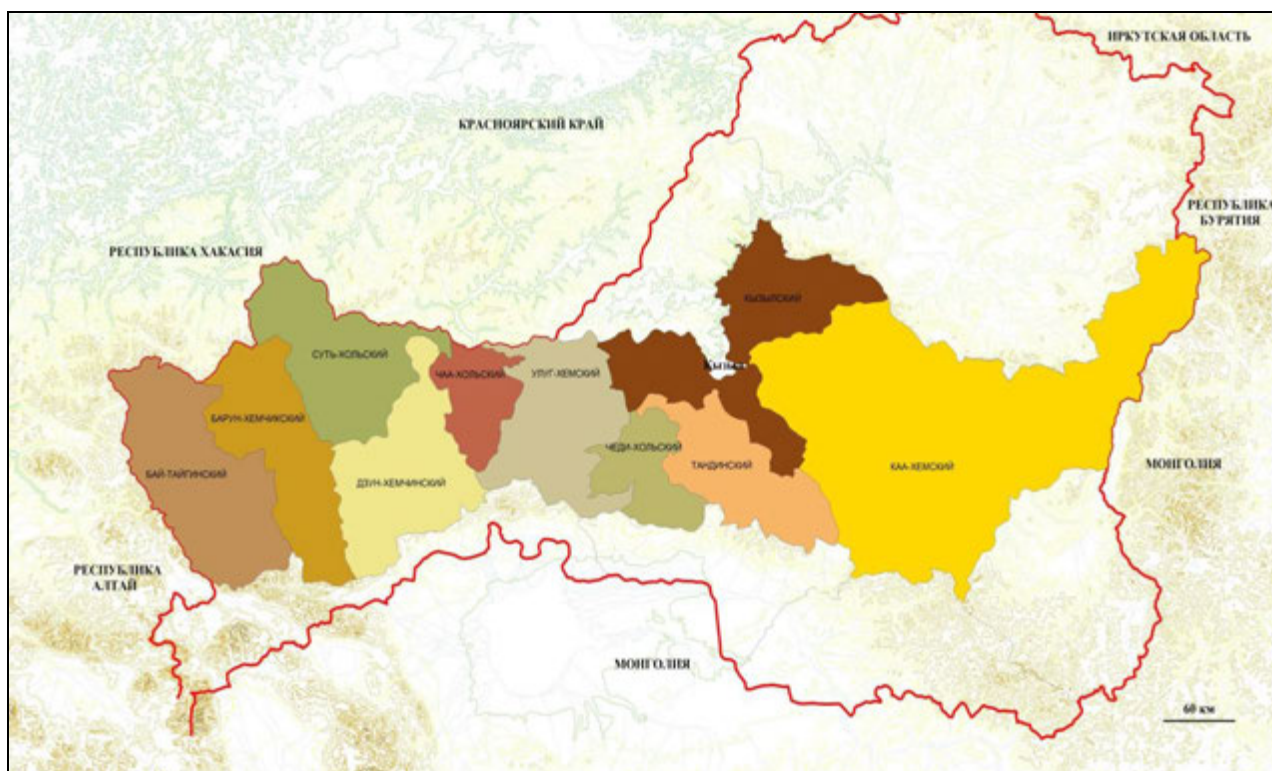
После реформирования сельского хозяйства страны с 1991 года перевод сельскохозяйственных земель на самококупаемость в Туве привел к исключению из оборота 284.6 тыс. га пашни. Переход с планового ведения хозяйства к рыночному повлек за собой резкое уменьшение площади сельскохозяйственных угодий. Так, с 1990 г. по 2020 г. площадь сельхозугодий сократилась с 3.9 млн. га до 2.6 млн. га (Кожууны и города ..., 2016; Государственный доклад ..., 2021). Сокращение площади пашни происходит за счет увеличения залежных земель и частично перевода пашни в земли государственного земельного запаса (Белек и др., 2017). В настоящее время из всех видов сельхозугодий преобладают пастбища (рис. 2).



**Рис. 2.** Структура сельскохозяйственных угодий Республики Тыва, тыс. га (Доклад ..., 2020).

Эколого-экономические оценки сельскохозяйственных земель выполнены для ряда регионов страны (Макаров и др., 2016, 2017а, 2017б, 2018, 2019, 2020; Яковлев и др., 2016; Бондаренко, 2016; Бадмаев, 2016; Цветнов и др., 2019; Makarov et al., 2021). Для Республики Тыва подобная оценка проводится нами впервые (Дабиев, Самбуу, 2020). Оценка деградации почв сельскохозяйственных

земель районов (кожуунов) двух зон республики (рис. 3) выполнена согласно «Методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994). Методика доступна в использовании расчетных данных: привязка к кадастровой и экономической оценке сельскохозяйственных земель, применение экологических коэффициентов, которые зависят как от экологической ситуации в территориях, так и в зависимости от степени изменения деградации почв. Источником информации являются литературные данные, региональные доклады о состоянии и использовании земель, статистические данные (Кожууны и города ..., 2016; Доклад о состоянии ..., 2020; Государственный доклад ..., 2021; Социально-экономические показатели ..., 2019; Статистический ежегодник ..., 2019, 2020, 2021; Статистический сборник ..., 2021).



**Рис. 3.** Карта-схема районов Центральной и Западной сельскохозяйственных зон Республики Тыва.

Для оценки используются следующая формула (Методика ..., 1994):

$$Ущ = Нс \cdot S \cdot Кэ \cdot Кп + Дх \cdot S \cdot Кв$$

где Ущ – размер ущерба от деградации почв и земель (тыс. р.); Нс – норматив стоимости (кадастровая или рыночная стоимость); Дх – годовой доход с единицы площади (тыс. р.); S – площадь деградированных почв и земель (га); Кэ – коэффициент экологической ситуации территории; Кв – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель; Кс – коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель; Кп – коэффициент для особо охраняемых территорий.

При деградации почв и земель в пределах особо охраняемых территорий региональными органами могут вводиться повышающие коэффициенты (Кп) к нормативам стоимости: на земли природно-заповедного фонда – 3.0, на земли природоохранного, оздоровительного и историко-культурного назначения – 2.0, на земли рекреационного назначения – 1.5, на прочие земли – 1.0 (Методика определения ..., 1994). Для оценки экологического ущерба сельскохозяйственным землям мы использовали коэффициент экологической ситуации и значимости состояния почв – 1.1, коэффициент восстановления почв и земель – 0.9 (Методика определения ..., 1994; Постановление Правительства РФ ..., 2014);

### Результаты и их обсуждение

Центральная и Западная сельскохозяйственные зоны Тувы – наиболее крупные, освоенные и густонаселенные части республики, где сосредоточены 63% пахотных земель, 2/3 сенокосов и пастбищ, проживают более 80% населения республики.

Для административных районов Центральной и Западной сельскохозяйственных зон Тувы мы выполнили предварительные оценки деградации сельскохозяйственных земель. При расчёте кадастровой стоимости учитывались сводные данные и поправочные коэффициенты (табл. 2-5), которые необходимы как производные в вышеприведённой формуле.

**Таблица 2.** Кадастровая стоимость и площадь сельхозугодий (в т.ч. деградированных) по районам Республики Тыва.

Районы (кожууны)	Площадь с/х угодий, га (Статистический ежегодник ..., 2020)	Кадастровая стоимость, руб./га (Постановление ..., 2017)	Водная эрозия	Дефляция	Смешанное проявление эрозии и дефляции	Засоление	Площадь деградированных с/х угодий, га (по данным ФГБУ ГСАС «Гувинская» за 2019-2021 гг.; Государственный доклад..., 2020)	Степень деградации, %
Бай-Тайгинский	248559	3500	1900	56500	5000	230	63630	25.6
Дзун-Хемчикский	254241	3400	1000	99700	500	1100	102300	40.2
Кызылский	235292	7400	1100	160000	1990	2000	165090	70.2
Сут-Хольский	122040	3900	1000	64550	770	1880	68200	55.9
Тандинский	118100	4800	1000	81970	640	790	84400	71.5
Чаа-Хольский	166665	4500	2280	98940	270	310	101800	61.1
Чеди-Хольский	116081	3900	33000	35000	1000	1200	70200	60.5

**Таблица 3.** Годовой доход с единицы площади по районам Республики Тыва.

Районы (кожууны)	Доход от продукции сельского хозяйства, тыс. руб. (Статистический сборник ..., 2021)	Площадь сельхозугодий, га (Статистический ежегодник ..., 2021)	Годовой доход с единицы площади, руб./га.
Бай-Тайгинский	355922	248559	1431.94
Дзун-Хемчикский	551541	254241	2169.36
Кызылский	533254	235292	2266.35
Сут-Хольский	452654	122040	3709.06
Тандинский	378679	118100	3206.43
Чаа-Хольский	440651	166665	2643.93
Чеди-Хольский	198646	116081	1711.27



Расчёт ущерба (в рублях) производился по вышеприведённой формуле. Для примера возьмём Бай-Тайгинский район:  $N_c$  – норматив стоимости есть кадастровая стоимость (табл. 2) – 3500 руб./га,  $S$  – площадь деградированных сельхозугодий – 63630 га,  $K_э$  – коэффициент экологической ситуации территории Республики Тыва, которая входит в состав Восточно-Сибирского экономического района РФ и составляет 1.1. Коэффициенты вводятся для учета суммарного воздействия, оказываемого деградацией почв и земель на экологическую обстановку. Территориальные органы Минприроды России и Роскомзема совместным решением осуществляют корректировку коэффициентов, а также вводят необходимые показатели по типам деградации почв и земель, исходя из природно-климатических условий (Методика определения ..., 1994);  $K_c$  – коэффициент пересчёта от степени деградации почв и земель (от 0 до 1), в Бай-Тайгинском районе степень деградации почв сельхозугодий составляет 25.6%, т.е. поправляющий коэффициент – 0.26;  $K_p$  – 1.0 (в данном случае рассматриваем сельхозугодья, т.е. прочие земли);  $D_x$  – годовой доход с единицы площади, руб./га (табл. 3) – 1431 руб./га.;  $K_v$  – коэффициент пересчёта в зависимости от периода восстановления земель на примере Бай-Тайгинского района составляет 0.9 (1 год; табл. 4). Производим расчёт: ущерб (Бай-Тайгинский район) = 35.0 тыс. руб. x 63630 га x 1.1 x 0.25 x 1.0 + 1.431 тыс. руб. x 63630 га x 0.9 = 61243.8 тыс. руб. + 81949.0 тыс. руб. = 143192.8 тыс. руб. (табл. 5).

**Таблица 4.** Значения коэффициента пересчёта ( $K_v$ ) в зависимости от периода времени по восстановлению почв и земель (Методика определения ..., 1994).

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчёта	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчёта
1 год	0.9	8-10 лет	5.6
2 года	1.7	11-15 лет	7.0
3 года	2.5	16-20 лет	8.2
4 года	3.2	21-25 лет	8.9
5 лет	3.8	26-30 лет	9.3
6-7 лет	4.6	31 и более лет	10.0

**Таблица 5.** Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения районов Центральной и Западной зон Республики Тыва с учётом деградации почв и экологического ущерба.

Районы (кожууны)	Кадастровая стоимость, тыс. руб./га	Ущерб, рассчитанный по формуле, тыс. руб.	% потерь
Бай-Тайгинский	869 956.5	143 192.8	16.4
Дзун-Хемчикский	864 419.4	352 740.6	40.8
Кызылский	1 741 160.8	1 277 367.3	73.3
Сут-Хольский	475 956.0	388 576.3	81.6
Тандинский	566 880.0	559 926.4	98.7
Чаа-Хольский	749 992.5	549 536.7	73.2
Чеди-Хольский	452 715.9	288 795.7	63.7
<b>Всего по Центральной и Западной зонам</b>	<b>5 721 081.1</b>	<b>3 560 135.8</b>	<b>63.9</b>

### Выводы

В результате расчетов экологический ущерб сельскохозяйственным землям Центральной и Западной сельскохозяйственных зон Республики Тыва оценивается более чем в 3.5 млрд. рублей, что составляет 62.2% от кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий. Наибольший ущерб в процентном

соотношении выявлен в центральных земледельческих районах: Тандинском (98.7%), Кызылском (73.3%) и староземледельческом Чаа-Хольском (73.2%). Наибольший ущерб в денежном выражении – в Кызылском (1.2 млрд. руб.), Тандинском (0.5 млрд. руб.) и Чаа-Хольском (0.5 млрд. руб.) районах. Наименьший ущерб и в процентном, и в денежном выражении отмечается в животноводческом Бай-Тайгинском районе (16% и 0.1 млрд руб. соответственно).

Эти стоимостные потери следует учитывать для расчёта рыночной стоимости, которая напрямую зависит от кадастровой. По данной методике можно рассчитать ущерб и для других категорий земель, меняя поправочные коэффициенты.

Таким образом, для развития сельскохозяйственной отрасли республики необходимы не только капитальные вложения в основные средства предприятий агропромышленного комплекса, к которым относятся здания и сооружения, оборудование, сельскохозяйственная техника и т.д. Мы провели предварительные оценки для некоторых районов Центральной и Западной сельскохозяйственных зон республики, но, тем не менее, результаты оценки показывают, что необходимо дальнейшее изучение процессов деградации сельскохозяйственных угодий для проведения научно-обоснованных мероприятий по улучшению их качественного состояния.

*Финансирование.* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-29-05208\19 мк «Эколого-экономическая оценка деградации сельскохозяйственных земель Республики Тыва».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматические ресурсы Красноярского края и Тувинской АССР. 1974. Л.: Гидрометеиздат. 211 с.
- Бадмаев А.Г.* 2016. Эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных угодий в республике Бурятия с учётом деградации почв и экологического ущерба // Записки Забайкальского отделения Русского географического общества. С. 137-146.
- Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* 1967. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. № 12. С. 113-123.
- Белек А.Н., Соловьева В.М., Порядина Е.А.* 2017. Агроэкологический мониторинг почв земледельческой территории Республики Тыва // Агрохимический вестник. № 2. С. 55-57.
- Бондаренко Е.В.* 2016. Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 25 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва в 2020 году. 2021. Кызыл: Министерство природных ресурсов и экологии. 115 с.
- Доклад о состоянии и использовании земель в Республике Тыва в 2019 году. 2020. Кызыл: Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Тыва. 96 с.
- Дабиев Д.Ф., Самбуу А.Д.* 2020. Эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных угодий Убсу-Нурской котловины с учетом деградации почв // Фундаментальные исследования. № 4. С. 21-25.
- Доклад о состоянии и использовании земель Республики Тыва в 2019 г. 2020. Кызыл: Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Тыва. 98 с.
- Карманов И.И., Булгаков Д.С.* 2012. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М.: ООО «АПР». 121 с.
- Кожууны и города Республики Тыва: Статистический сборник. 2016. Кызыл: Тывастат. 309 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.: МАКС Пресс. С. 11-17.
- Макаров О.А., Цветнов Е.В., Ермияев Я.Р.* 2016. Эколого-экономическая оценка земель: методология и перспективы развития // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 4. С. 14-28.
- Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Бондаренко Е.В., Кубарев Е.Н., Чистова О.А., Ермияев Я.Р.* 2017а. Апробация методики эколого-экономической оценки деградации земель // Агрохимический вестник. Т. 3. № 3. С. 55-59.
- Макаров О.А., Яковлев А.С., Строков А.С., Цветнов Е.В., Ермияев Я.Р.* 2017б. Методология эколого-экономической оценки деградации земель на различных иерархических уровнях административно-хозяйственного устройства России // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 3. С. 29-36.
- Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р., Куделин В.Н., Марахова Н.А.* 2018. Экономическая оценка действия и бездействия по отношению к деградированным землям в Белгородской области // Земледелие. № 7. С. 3-5.
- Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р., Куделин В.Н.* 2019. Эколого-



- экономическая оценка деградации земель в Тульской области // Проблемы агрохимии и экологии. № 1. С. 44-52.
- Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., Красильникова В.С., Щербакова Л.С. 2020. Оценка ущерба от деградации почв и земель субъектов Российской Федерации // Земледелие. № 6. С. 3-6.
- Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. 1994. М.: Комитет Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству. 8 с.
- Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. 2010. Утверждена приказом Минприроды России № 238 от 8 июля 2010 г.
- Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Теоретические и методические основы воспроизводства плодородия. 2013 // Фрид А.С., Королева И.Е., Булгаков Д.С., Карманов И.И., Шишконокова Е.А., Грибов В.В. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. Т. 2.
- Носин В.А. 1963. Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР. 342 с.
- Оценка земельных ресурсов. 1999 / Ред. В.П. Антонова, П.Ф. Лойко и др. М.: Институт оценки природных ресурсов. 364 с.
- Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. 1993. Утв. Ком. Рос. Федерации по земел. ресурсам и землеустройству и М-вом охраны окружающей среды и природ. ресурсов Рос. Федерации в ноябре 1993 г. М.: Б. 30 с.
- Постановление Правительства РФ от 24 декабря 2014 г. N 1471 "О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления".
- Постановление Правительства Республики Тыва № 139 от 06.04.2017. Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения Республики Тыва [Электронный ресурс <https://base.garant.ru/47803174/#friends> (дата обращения 14.11.2021)].
- Соболев С.С. 1948. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 308 с.
- Соболев С.С. 1970. Методика полевого опыта по борьбе с водной и ветровой эрозией почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. ВАСХНИЛ. 44 с.
- Солдатов В.П. 1967. Размещение и специализация сельского хозяйства Тувинской АССР. Автореф. дисс. ... к. э. н. М. 20 с.
- Социально-экономические показатели городских округов и муниципальных районов Республики Тыва в 2018 году. 2019. Красноярск: Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в Республике Тыва. Статистический сборник. № 1.33.077РТ. 124 с.
- Статистический ежегодник Республики Тыва за 2018 год. 2019. Кызыл: Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва.
- Статистический ежегодник Республики Тыва за 2019 год. 2020. Кызыл: Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва.
- Статистический ежегодник Республики Тыва за 2020 год. 2021. Кызыл: Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва.
- Статистический сборник «Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в Республике Тыва» № 1.34.021РТ. 2021. Кызыл. 84 с.
- Экономика Тувинской АССР. 1973 / Ред. С.В. Клопов. Кызыл: Тувинское книжное издательство, Тувинский научно-исследовательский институт языка, литературы и истории. 377 с.
- Яковлев А.С., Макаров О.А., Киселев С.В., Молчанов Э.Н., Белугин А.Ю., Богданова Т.В., Бондаренко Е.В., Буйволова А.Ю., Булгаков Д.С., Гиоргадзе С.Р., Глазунов Г.П., Дубровина И.А., Евдокимова М.В., Ермияев Я.Р., Заболотнева К.М., Красильников П.В., Красильникова В.С., Мирзабаев А.М., Огородников С.С., Пасикова А.С., Савин И.Ю., Сидорова В.А., Сорокин А.С., Строков А.С., Цветнов Е.В., Шишконокова Е.А., Юркевич М.Г., Яхтанигова Т.Б. 2016. Эколого-экономическая оценка деградации земель. М.: МАКС Пресс. 252 с.
- Цветнов Е.В., Марахова Н.А., Макаров О.А., Строков А.С., Абдулханова Д.Р. 2019. Апробации подхода к определению общественной ценности земель в качестве основы для проведения эколого-экономической оценки ущерба // Почвоведение. № 10. С. 1269-1277.
- Lee H., Honda Y., Lim Y.-H., Guo Y.L., Hashizume M., Kim H. 2014. Effect of Asian Dust Storms on Mortality in Three Asian Cities // Atmospheric Environment. No. 89. P. 309-317.
- Makarov O.A., Strovkov A.S., Tsvetnov E.V., Abdulkhanova D.R. 2021. Approbation of Various Approaches to Environmental and Economic Assessment of Soil and Land Degradation. Vol. 862. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. P. 1-9.

УДК 631.417.1 (487)

## ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ И ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ТУВЫ

© 2022 г. Т.Н. Прудникова

*Тувинский научный центр*

*Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Энергетиков, д. 4. E-mail: tprudnikova@inbox.ru*

Поступила в редакцию 09.02.2022. После доработки 01.07.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Многолетние исследования автора позволили отнести традиционно скотоводческие аридные территории Центральной Азии к областям широко развитого в прошлом земледелия. На территории Центральной Монголии, Тувы известны многочисленные следы оседлого земледельческого населения – например, городища раннего средневековья. Убсунурская котловина с развеевыми песками и основной ее водоток, долина р. Тес-Хем, расположенные на северо-западе Монголии, специально не рассматривались ранее с точки зрения присутствия здесь древнего земледелия. Тем не менее, автором на обозначенной территории были обнаружены следы настоящей земледельческой цивилизации. Разнообразие оросительных систем, следов древних поселений и городищ, особенности древних агроландшафтов предполагают проведение полноценных исследований древней истории этого края, изучение последствий антропогенного воздействия на окружающую среду. В предлагаемой статье представлены отдельные земледельческие объекты, особенности которых представляют большой интерес для понимания истории развития человеческой цивилизации как на территории Убсунурской котловины, бассейна р. Тес-Хем, так и Центральной Азии в целом. Работа основана на дешифрировании космических снимков (Google.Earth, Infokart, Syssoft), ландшафтных наблюдениях, использовании геологических, географических, археологических, исторических методов, топонимики, комплексных почвенных исследований. Палеогеографическая характеристика представлена на основе карпологических анализов.

Объектами для комплексных исследований предлагаются земледельческие поселения и ирригационные системы в верховье долины р. Тес-Хем (Монголия), приуроченные к зонам молодых тектонических разломов, полю развития кайнозойских базальтоидов, на абс. отм. около 1700 м, а также поселение в нижнем ее течении, состоящее, согласно дешифрированию, из небольших глиняных сооружений, не затронутое более поздним антропогенным воздействием (Монголия). Весьма информативным представляется исследование земельных наделов в районе оз. Шара-Нур (Убсунурская котловина, Тува), приуроченных к низинным торфяникам и оторфованным почвам. В аналогичных оторфованных почвах на территории соседней Монголии ранее нами были обнаружены зерновки пшеницы. Мощное антропогенное воздействие на окружающую среду (вырубка леса, использование агроирригационных ландшафтов под пастбища с последующим перевыпасом) способствовало деградации почв, понижению грунтовых вод, формированию опустыненных ландшафтов, угасанию земледелия. Разработанные автором комплексные исследования древнего земледелия закладывают основы для ландшафтной археологии аридных территорий Центральной Азии.

*Ключевые слова:* Северо-Западная Монголия, Убсунурская котловина, древние земледельческие объекты, следы поселений, земельные наделы, оросительные каналы, Цэцэрлэг, Шара-Нур, Тес-Хем, кайнозойский вулканизм.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-140-152**

**EDN: НКТОУР**

По результатам наших исследований аридные, традиционно скотоводческие территории Северо-Западной Монголии и Тувы, являлись в прошлом областью развитого земледелия. Ранее в Убсунурской котловине автором был обнаружен не известный ранее город древних земледельцев, обширные площади агроландшафтов, разнообразные и разновозрастные типы оросительных систем,

земледельческие поселения (Прудникова, 2018). Продолжая тему исследования древнего земледелия Центральной Азии, хотим остановиться на нескольких земледельческих объектах приграничной южной Тувы и Северо-Западной Монголии, изучение особенностей которых позволит в будущем объяснить отдельные стороны в истории развития земледелия. Такими объектами, несущую бесценную информацию о прошлом, являются район хребта Агардаг, в результате воздымания которого была подпружена р. Нарийны-Гол, что привело к заболачиванию территории, образованию низинных торфяников – хороших пашенных угодий, а также оросительные системы и приуроченные к ним поселения в низовье и верховье р. Тес-Хем – основного водотока Убсунурской котловины. В нижнем течении – это небольшой, густозаселенный в прошлом остров. В верховье реки привлекательными являются объекты с названием Цэцэрлэг, что в переводе с монгольского значит «сад», приуроченные к областям проявления новейшей тектоники и современного базальтоидного вулканизма (рис. 1).



**Рис. 1.** Обзорная карта территории исследований (Ресурсы Google, 2022). Условные обозначения: 1, 2, 3 – объекты, предлагаемые для комплексных исследований, 1-1 – точка 53, 1-2 – точка отбора почвенных проб в районе хребта Агардаг.

### Материалы и методы

Работа осуществлялась по разработанной автором методике комплексного исследования ландшафтов на аридных территориях Центральной Азии, проведенной на стыке геологических, географических наук и основанной на дистанционных методах исследования. Для дешифрирования космических снимков, распознавания особенностей ландшафтов с выбором ключевых участков, использовались находящиеся в свободном доступе ресурсы Google.Earth, Infokart и Syssoft, для анализа геологической изученности территории – материалы Государственной геологической съемки РФ (Геологическая карта, 1963), опубликованные издания и научные статьи (Геншафт, Салтыковский, 2000; Монгольская Народная Республика, 1990). Проведен исторический анализ результатов датирования лав Жомболукского лавового поля (Восточный Саян, работы Института физики Земли СО РАН, г. Иркутск; Аржанников, 2017). Особенности гидрологического режима, тектоники исследуемой площади были распознаны на космоснимках и в отдельных случаях подтверждены полевыми наблюдениями. Применены топографические, геоморфологические, ландшафтные, педологические методы, карпологический анализ – для выявления особенностей палеогеографии, выполненный в Красноярском институте леса имени В.Н. Сукачева СО РАН, Сибирском НИИ геологии, геофизики и минерального сырья г. Новосибирска, сравнительный анализ, исследование топонимики, материалов по истории и археологии Центральной и Средней Азии, отчеты и архивы русских путешественников.

Для исследования древнего земледелия в Убсунурской котловине автором было пройдено 16 почвенных разрезов, около 10 закопуш, из которых было произведено 5 радиоуглеродных датировок погребенных почв, 5 карпологических анализов.

Среди дистанционных методов был использован преимущественно ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков (визуальное дешифрирование). Для дешифрирования применено сочетание полевых и камеральных работ. Разработанная методология была успешно применена при исследовании ландшафтов Тувинской впадины, Убсунурской котловины, Котловины Больших Озер и Центральной Монголии, Таримской впадины (Прудникова 2017, 2018, 2020).

### Результаты и обсуждение

*Хребет Агардаг, озеро Шара-Нур.* Следы земельных наделов были обнаружены в северо-восточной части Убсунурской котловины в районе хребта Агардаг-Тайга в восточной прибрежной зоне соленого озера Шара-Нур, расположенного у подножий хребта (рис. 2). Поля небольшие (длина – первые десятки метров), компактно расположенные, неправильных очертаний. Количество земельных наделов достаточно велико.



**Рис. 2.** Участки полей в восточной прибрежной зоне озера Шара-Нур (Ресурсы Google, 2022), координаты центральной точки: 50° 14' 32.13", 94° 38' 15.91", дата съемки 03.17.2007, высота 927 м н.у.м. БС.

В настоящее время это аридные пустынные ландшафты с примитивными почвами и участками опустыненных степей на светло-каштановых почвах, часто перекрытых эоловыми наносами. Древесная растительность и постоянные источники пресной воды отсутствуют. Присутствие полей предполагает существование ранее более влажных, благоприятных для земледелия природно-климатических условий или ирригации. Причинами изменений условий среды могли стать: климатические флуктуации, способствующие изменению гидрологического режима рек, а также иссушение территории из-за тектонической перестройки района. В четвертичное время произошло поднятие блока земной коры, вмещающего хребет Агар-Даг, в результате чего русло р. Нарын, протекающей в настоящее время западнее оз. Шара-Нур, переместилось в юго-западном направлении вдоль границы поднятого блока (Прудникова, 2015).

Более влажный климат должно было поддерживать присутствие леса на этой территории. Существование лесостепных ландшафтов на аридных территориях Убсунурской котловины в недалеком прошлом было подтверждено результатами палеоботанических исследований на древних агроландшафтах юго-западнее озера Шара-Нур в верховье реки Нарын, которая на монгольской территории называется Нарийны-Гол (Прудникова, 2017).

Большое количество разновозрастных древних курганов, следы земельных наделов позволяют говорить о значительной численности населения, проживавшего здесь в прошедшие эпохи, а значит, и большой потребности в дереве как топливе и источнике стройматериала, что привело к сведению леса. Уничтожались леса и во время многочисленных военных действий: Центральная Азия –



территория постоянного столкновения западных и восточных цивилизаций.

Существует еще одна причина сосредоточения земельных наделов к восточной оконечности озера. Упомянутая выше долина р. Нарийны-Гол в своем верхнем течении контролируется зоной Эрзино-Агардагского тектонического разлома. Указанный разлом является сложно построенной дизъюнктивной структурой, которая протягивается от Котловины Больших озер Монголии до Бусийнгольской впадины (Аржанников, 2017). В результате четвертичных движений блока земной коры, вмещающего хребет Агардаг-Тайга, произошло подпруживание верховий реки Нарийны-Гол, что отчетливо дешифрируется на космоснимках, заболачивание территории, и формирование подпрудного озера. По геологическим данным, возраст этого озера соответствует верхнему звену четвертичного периода – QIII (Объяснительная записка ..., 1975). Впоследствии река выработала выход к оз. Убсу-Нур, в результате чего подпрудное озеро было спущено, болото частично осушено. Современное соленое озеро Шара-Нур голоценового возраста (QIV, рис. 3) – небольшой его остаток. О первоначальных значительных размерах озера свидетельствуют озерные отложения, присутствующие далеко за пределами его водной поверхности (QIII, рис. 3). Это илы и озерные глины, часто наполненные раковинами пресноводных моллюсков – первоначально озеро было пресным.



**Рис. 3.** Геологическая карта района оз. Шара-Нур, масштаб 1: 200000 (Объяснительная записка ..., 1975). Условные обозначения: Q – озерные отложения. QIII – верхнее звено четвертичного периода, QIV – голоцен.

Распознанные земельные наделы сосредоточены в озерной котловине и приурочены к оторфованным почвам, образовавшимся на заболоченной территории бывшего озера (QIII). Преобразованные в низинные торфяники отложения приозерной равнины, оторфованные почвы, использовались древними земледельцами. Торф хорошо удерживает влагу, содержит питательные вещества. Осушенные низинные торфяники – отличная пашня для выращивания сельскохозяйственных культур (Прудникова, 2015). Ныне торфяники и древние поля развееаны или занесены современными песчаными наносами (рис. 4).

Река Нарийны-Гол в верхнем течении до настоящего времени находится в подпруженном состоянии, отдельные ее участки заболочены. Важно сказать, что на юго-западном фланге озера в настоящее время находятся 3 небольших пресных озерка, вероятно, образовавшихся в результате разгрузки артезианских вод по ослабленным зонам разломов. Присутствие напорных вод подтверждается пробуренной на берегу Шара-Нура скважиной. Озера – источники пресной воды для скота, огромное скопление которого провоцирует деградацию почв и опустынивание ландшафтов.

Земледелие – очень сложная и весьма трудоемкая отрасль в хозяйственных практиках населения и его успешному развитию способствует сильная государственная власть. При ослаблении государственности земледелие приходит в упадок. В развитой земледельческой отрасли в известной

степени всегда привлечен подневольный труд, рабы, военнопленные, переселенцы, перемещающиеся с войсками... Таким периодам, господству империй, соответствуют весьма протяженные оросительные системы, требующие больших затрат человеческих усилий.



**Рис. 4.** Развееванные оторфованные почвы на южном фланге оз. Шара-Нур, 2021 г. (фото Т.Н. Прудниковой).

Очень интересным и показательным нам кажется описываемая выше земледельческая территория, приуроченная к оз. Шара-Нур. Очертания земельных наделов в окрестностях озера Шара-Нур представляют, на наш взгляд, картину свободных землепашцев. Небольшие участки земельных наделов, принадлежащие, вероятно, одному хозяину.

Эта территория была обжита человеком в глубокой древности. Среди развееванных оторфованных почв присутствуют неолитические артефакты (нуклеусы, скребки), достаточно обильна скифская керамика (рис. 5). Керамика, вероятно, имеет местное происхождение. Озерные отложения (глины, илы) могли быть использованы для ее производства.

Следы земледельческой деятельности были распознаны и исследованы нами ранее на территории соседней Монголии, в верховьях р. Нарийн-Гол, преимущественно по левому ее борту, протекающей среди развееванных и слабо закрепленных песков. Земельные наделы сосредоточены в зоне подпруживания реки и также приурочены к развееванным торфяникам, оторфованным почвам. Карпологический анализ торфяников, вышелегающих наносов и почв наиболее представительного разреза (точка 53), определил присутствие лесостепных ландшафтов на исследуемой территории (Прудникова, 2017). В развееванных оторфованных почвах на глубине 35-27 см присутствовали *зерновки пшеницы*, что подтверждает присутствие земледелия в центральной, крайне аридной, части Убсунурской котловины. Материал был отобран из расчистки естественного берегового обнажения правого борта верховий р. Нарийн-Гол (Монголия, 17-18.06.2013, высота – 883 м н.у.м. БС, точка 53, координаты 50° 11' 09", 47° 94' 17" 58.99"). О видовом составе растительности свидетельствуют приведенные ниже отдельные анализы.

Глубина 75-60 см. Образец № 13. Торфяник. Содержание ископаемых остатков флоры в остаточной фракции: *Picea obovata* Ledeb. (16 фрагментов хвои, 8 фрагментов коры), *Pinus sylvestris* L. (5 обломки чешуек шишек, 13 мелких угольков древесины), *Larix sibirica* Ledeb. (2 фрагмента хвои), *Betula alba* L. (1 фрагмент чешуйки женской сережки), *Carex pediformis* C.A. Mey. (2), *Carex* sp. (3), *Arabis pendula* L. (2), *Campanula rotundifolia* L. (1), *Artemisia commutate* Bess. (3), *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub (3).

Глубина 45-35 см. Образец № 6. Светло-серый мелкозернистый песок с незначительными растительными остатками. Содержание ископаемых остатков флоры и фауны в остаточной фракции: *Pinus sylvestris* L. (1 маленький обугленный фрагмент древесины), *Chenopodium album* L. (2),

*Astragalus* sp. (2 листовки), *Asteraceae* gen.indet. (3), *Bithynia* (5 раковин).



**Рис. 5.** Артефакты, обнаруженные на территории, примыкающей к южной оконечности оз. Шаранур, 2021 г. (фото Т.Н. Прудниковой).

Глубина 35-23 см. Образец № 7. Серый мелкозернистый песок с растительными остатками. Содержание ископаемых в остаточной фракции: *Pinus sylvestris* L. (4 мелких уголька древесины), *Padus avium* Mill. (4), *Fragaria viridis* Duch. (2) *Salsola* sp. (3), *Suaeda* sp. (1), *Eleocharis* sp. (2), *Carex enervis* C. A. Mey. (2), *Draba nemorosa* L. (2), *Triticum* sp. (2), *Atriplex* sp. (1), *Chenopodium album* L. (39), *Ch. rubrum* L. (2).

Глубина 23-05 см. Образец № 8. Светло-серый мелкозернистый песок с незначительными растительными остатками. Содержание ископаемых в остаточной фракции: *Pinus sylvestris* L. (3 фрагмента пробковой коры), *Padus avium* Mill. (2), *Chenopodium album* L. (21), *Ch. rubrum* L. (2), *Aconitum barbatum* Pers. (2), кожа выделанная обугленная (8 фрагментов).

Согласно результатам палеогеографических анализов, растительный покров представляли елово-лиственнично-злаково-осоковые сообщества, а их окружение было сформировано остепненными сосняками. Изменения, выявленные вверх по почвенному профилю, показали, что с течением времени происходило уменьшение видового состава в растительном покрове, происходила аридизация и быстрая смена природных условий.

На территории Тувы на правом борту р. Нарийн-Гол в почвенном разрезе речной террасы нами также были отобраны почвенные пробы из горизонтов, соответствующих уровню древних пашен на территории Монголии. Результаты отдельных палеоботанических исследований, выполненные в Сибирском НИИ геологии, геофизики и минерального сырья г. Новосибирска в 2020 г., приведены ниже.

*Образец 5. Точка «Агардаг 1».* Юго-Восточная экспозиция хребта Агардаг. Правый борт р. Нарийн-Гол, зона Эрзино-Агардагского разлома, перекрытая делювиально-пролювиальным шлейфом, зона подпруживания р. Нарийн-Гол, около 7 км от точки 53 по азимуту 59° 31', 50° 13' 07.36", 94° 23' 22.05".

Почвенный разрез «Агардаг 1» отражает картину сейсмических событий в пределах Эрзино-Агардагского разлома и представлен перемежающимися суглинистыми и щебнистыми отложениями. На глубине 30-35 см на границе щебнистого горизонта и сформированными на них почвами, перекрытыми в свою очередь, современными наносами, был отобран материал для



палеоботанических исследований.

*Chenopodium album* L. – более 100 семян (аномально большая концентрация), *Chenopodium rubrum* L. – 12 семян, *Moehringia trinervia* (L.) Clairv. – 1 семя, *Camelina microcarpa* Andr. ex DC. – 1 семя, семейство Brassicaceae *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus – 1 семя.

Присутствие в погребенных почвенных горизонтах макроостатков *Camelina microcarpa* Andr. ex DC., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus, *Chenopodium album* L. (более 100 семян) на современной аридной территории говорит об иных климатических условиях и антропогенном вмешательстве в окружающую среду в прошлом, т.е. о развитии земледелия. Вышеуказанные виды относятся к сорным, часто присутствующим на пашнях вместе с культурными злаками, что косвенно подтверждает присутствие земледелия на этой территории.

В настоящее время торфяники и оторфованные почвы в основной своей массе развеяны, чему способствует широко развитое скотоводство, приводя к мощнейшей эрозии почвенный покров, от которого практически ничего не осталось. Земледелие существовало здесь до того, как скотоводство стало приоритетной частью хозяйства местного населения.

*Долина р. Тес-Хем, приозерная котловина.* Следы древнего земледелия, распознанные нами, наблюдаются по всему горному обрамлению Убсунурской котловины, в долинах рек, на обширных опустыненных равнинах. Установлено сосредоточение оросительных систем в широкой долине р. Тес-Хем западнее хр. Агардаг, где при выходе в озерную котловину Убсу-Нура река распадается на многочисленные русла и протоки. Размеры и формы орошаемых участков самые разнообразные. Здесь же присутствуют следы многочисленных построек, тяготеющих к оросительным системам, образующих поселения, усадьбы, объекты непонятного назначения.

Весьма убедительным объектом для будущих комплексных исследований древнего земледелия является обнаруженное нами небольшое поселение в нижнем течении реки на существовавшем ранее острове среди многочисленных протоков. В настоящее время русло реки, омывающее в прошлом, остров, переместилось на юг, но пересохшие каналы, соединяющие русла, согласно дешифрированию, хорошо сохранились. На космоснимках отчетливо распознаются следы построек преимущественно прямоугольной формы размером около 10 м. Сооружения, согласно наблюдениям на аналогичных объектах, были построены из глины, достаточно хаотично, и, вероятно, не кочевниками (рис. 6). Здесь жили древние земледельцы, люди, строившие каналы, обрабатывающие поля.



**Рис. 6.** Земледельческое поселение в долине р. Тес-Хем (Ресурсы Google, 2022). Масштабная линейка приведена в нижнем левом углу снимка.

Распознанный объект интересен тем, что территория поселения не затронута чабанскими стоянками, «сохранилась в первозданном виде», и рисунок многочисленных построек представляет

древнюю топографию поселения. Последующее изучение позволит определить возраст объекта, особенности хозяйственных практик и палеогеографии, возможно, этническую принадлежность древних земледельцев.

К сказанному можно добавить, что в нижнем течении реки Тес-Хем находится большое количество не менее интересных поселенческих объектов древних земледельцев.

*Верховье долины р. Тес-Хем.* Следы земледельческих поселений и обширных агроландшафтов дешифрируются в долине р. Тес за пределами Убсунурской котловины до самых ее верховий. На одном из ее правых верхних притоков на высоте около 1700 м н.у.м. БС, недалеко от современного поселения Цэцэрлэг, что в переводе с монгольского означает «сад» (рис. 7), дешифрируются крупная оросительная сеть и приуроченные к ней следы поселения.



**Рис. 7.** Следы земельных наделов и крупного поселения в верховье р. Тес-Хем (Ресурсы Google, 2022).

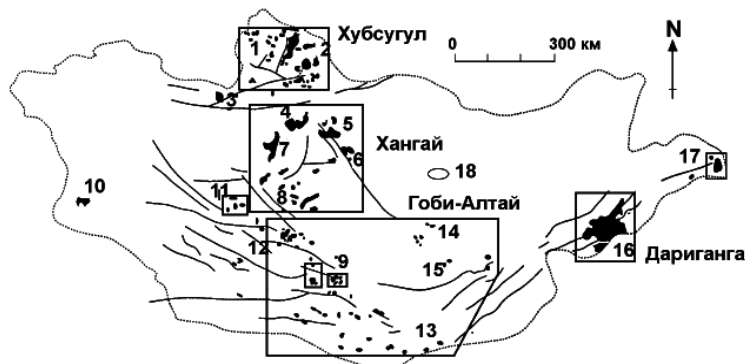
Высота 1700 м н.у.м. БС не предполагает благоприятных условий для земледелия. Для того чтобы здесь было создано крупное земледельческое хозяйство, нужны особые условия. Возможно, причина постройки здесь сложной ирригационной системы – расположенный неподалеку вулканический центр четвертичного базальтоидного магматизма кайнозойской вулканической провинции Центральной Азии (3 – Тесхемский ареал; рис. 8, 9), а также вероятный повышенный тепловой поток неотектонических зон. Цэцэрлэг находится в зоне сочленения разломов на участке их сейсмогенного обновления, к которому приурочены эпицентры сильных землетрясений магнитудой до 8 баллов по шкале Рихтера (Монгольская народная Республика, 1990). На участках растяжений земной коры могут присутствовать зоны повышенного теплового потока.

Работами Института физики Земли СО РАН, г. Иркутск, был определен возраст лав Жомболокского лавового поля (Восточный Саян), относящегося к северо-западному ареалу современного базальтового магматизма восточной Сибири и Монголии, начало формирования которого относится к концу позднего плейстоцена (табл. 1; Аржанников, 2017). Согласно проведенному выше анализу возраста, излияния базальтовых лав в Жомболоке происходили относительно недавно, с VIII по XI вв. н.э. – время господства уйгуров, средневековых енисейских кыргызов и киданей, что не отрицает вулканическую активность как в более раннее, так и в более позднее время. Активизация времени раннего средневековья могла спровоцировать магматическую деятельность, а также возможное функционирование гидротерм на Тес-Хемском ареале, если они не имели место быть ранее.

С.П. Михеев, в отчете о поездке в Северо-Западную Монголию и Урянхайскую землю в 1910 г., также упоминает о поствулканической деятельности вулканов: «На протяжении 30 верст Тесин-гол

течет в западном направлении, а затем поворачивает на северо-запад. Здесь при повороте раскинуто несколько озер – остатков некогда действовавших грязевых вулканов...».

Необходимо также отметить, что достаточно близко к описываемой территории, находятся горячие источники Тарыс, расположенные на отрогах нагорья Сангилен (Тува).



**Рис. 8.** Схема положения ареалов кайнозойского базальтового вулканизма Монголии. *Условные обозначения:* 1 – Западное Прихубсугулье, 2 – Восточное Прихубсугулье, 3 – Тэсийнгольский, 4 – Хануйгольский, 5 – Орхон-Селенгинский, 6 – Угейнурский, 7 – Тарят-Чулутуинский, 8 – Южно-Хангайский, 9 – Долиноозерский, 10 – Барун-Хурайский, 11 – Дзабханский, 12 – осевая зона Гобийского Алтая, 13 – Северо-Гобийский, 14 – Мандал-Гобийский, 15 – Ундэр-Шильский, 16 – Дариганга, 17 – Нумургийнгольский (Халхингольский), 18 – Хэнтэйский. Прямоугольниками показаны обобщенные лавовые поля (Геншафт, Салтыковский, 2000).



**Рис. 9.** III – Тесемский (Тесеингольский) ареал кайнозойского базальтового вулканизма Монголии (Монгольская народная Республика, 1990).

Таким образом, возможно, мы имеем уникальный образец использования природного тепла для развития земледелия около 1000 лет назад! На горных склонах, прилегающих к вулканическому очагу, была создана грандиозная оросительная система на высоте 1700 м. н.у.м. БС и, судя по результатам дешифрирования, был создан сад или, по крайней мере, большое огородническое хозяйство.

О значительном возрасте поселения Цэцэрлэг, приближая его к средневековой эпохе, связанной с магматической активизацией, говорят следующие данные. Карл Риттер (2007), описывая сведения о Посольстве казаков Ивана Петлина и Петунки Киселева к Алтын-Хану в 1619 г. (Лусан-кит на р. Тесе) отмечал, что незадолго до прибытия в Сибирь Мессершмидта и Миллера (1735 г.) на левом берегу Тес находились постоянные китайские пикеты для охранения монголов. На первой таблице

специальной карты Уляссутая (1818 г.) от истоков Селенги вдоль правого берега р. Тес обозначены 11 таких пикетов. Многие названия пикетов и, вероятно, места их расположения, по мнению автора, соответствуют современным населенным пунктам. На территории современной Тувы это Хантакоту – нынешний Хандагайты, Самугол – Самагалтай, Эрсун – современный Эрзин. Далее вверх по Тес-Хему на территории Монголии следует Баян-Булак или Баян-Ула, и выше по течению на правобережье р. Тес-Хем находится населенный пункт Цэцэрлэг, что, вероятно, соответствует Цзирле, отмеченному К. Риттером в своей книге (Прудникова, 2017а). К указанным точкам приурочены большие площади земельных наделов и орошаемых земель, а также следы древних поселений, некоторые из которых перекрывают орошаемые участки.

**Таблица 1.** Результаты датирования радиоуглеродным методом ( $^{14}\text{C}$ ; Аржанников, 2017).

Лабораторный номер	Номер образца	Материал	Метод датирования	$^{14}\text{C}$	Калиброванный возраст, лет назад
СОАН-7408*	HG-04-01	Растение	LSC	6240±120	6879-7421
ОхА-22574**	Ока-08-01	Уголь	AMS	11190±55	12904-13167
AEON 1628***	JMB 13-6	Дерево	AMS	1245±25	1082-1268
СОАН-9159*	JMB 13-7	Дерево	LSC	1120±55	935-1153
СОАН-9160*	JMB 13-9	Дерево	LSC	1095±40	928-1082

**Примечания к таблице 1:** предварительная обработка образцов для радиоуглеродного датирования выполнена с использованием оборудования ЦКП «Геохронология и геодинамика» Института земной коры СО РАН. Полученные в процессе исследований радиоуглеродные даты были откалиброваны в программе Calib Rev 7.0.4 (Stuiver, Reimer, 1993) с доверительным интервалом  $\pm 2\sigma$ . \* – определение остаточной активности углерода выполнено в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя (ИГМ, г. Новосибирск) на установке QUANTULUS-1220 (Liquid Scintillation Counters). Для расчета возраста использован период полураспада  $^{14}\text{C}$ , равный 5570. Возраст рассчитан от 1950 г. \*\* – Радиоуглеродное AMS датирование выполнено в лаборатории Оксфордского университета (OXSFORD). \*\*\* – радиоуглеродное AMS датирование выполнено в лаборатории AEON (г. Туксон, США).

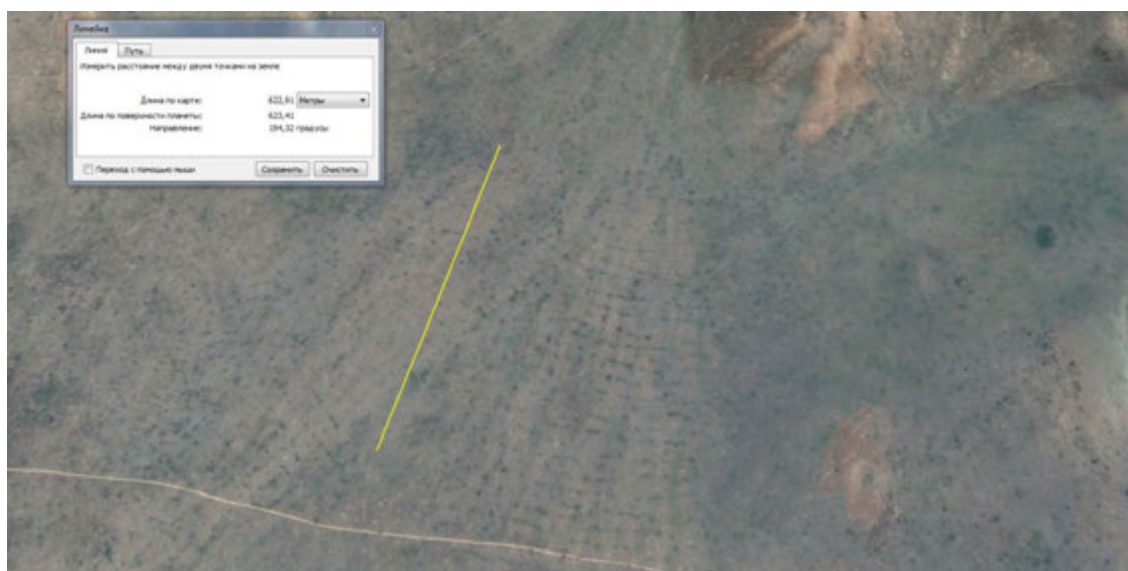
Еще один населенный пункт Цэцэрлиг (Архангай), находящийся уже в Центральной Монголии в долине р. Урд Тамирын Гол, расположен вблизи крупного средневекового городища, от которого, вероятно, позаимствовал свое название. В 30 км от городища, вниз по течению, Урд Тамирын Гол принимает правый приток, опять же, Цэцэрлэг и в бассейне этого Цэцэрлэга имеют место быть горячие источники – Цэнхэр, входящие в число крупнейших термальных источников Монголии. «Цэнхэр – представляет собой долину, испещренную геотермами. Она простирается в аймаке Архангай на высоте 1860 м н.у.м. БС, где ее окружают горы и густой лиственный лес. Средняя температура воды в местных источниках составляет  $+85.5^\circ\text{C}$ » (Термальные источники Монголии, 2020). Этот факт подтверждает правомочность нашего предположения о возможной связи орошаемого земледелия в верховье р. Тес с источниками природного тепла, гидротермами.

Совершенно потрясающая картина древнего земледелия, вероятно, относится ко времени раннего средневековья, эпохе уйгурского каганата (Кызласов, 1965, 1969, 1979, 1981, 1984), что, конечно же, может подтверждать картина уйгурской столицы Кара-Болгасун, окруженная полями. По результатам дешифрирования космоснимков, практически вся территория Монголии распаханна (Прудникова, 2020).

*Цэцэрлиг (Цицерлик), левый приток р. Тес-Хем.* На географической карте Монголии имеют место быть несколько объектов с названием Цэцэрлэг (Цэцэрлиг) и все эти объекты объединяет древнее земледелие. Помимо описанных выше поселений и рек, необходимо рассказать об еще одной реке Цэцэрлэг, левом притоке р. Тес, расположенном ниже одноименного населенного пункта. Указанный приток долины р. Тес представляет собой еще один феномен земледельческой деятельности прошлого. Достаточно посмотреть на снимки поверхности этой территории из космоса. Обширные



земельные наделы, поднимающиеся по горным склонам, говорят, по крайней мере, об иных климатических условиях, упорстве и мастерстве древних земледельцев (рис. 10). Капитан генерального штаба С.П. Михеев (1910), путешествуя по Цэцэрлигу (Цицерлику), ничего не упоминает о существовании здесь земледелия, а к началу XX в. память о нем совершенно стерлась.



**Рис. 10.** Земельные наделы в долине р. Цэцэрлиг (Ресурсы Google, 2022).

Современные технологии, взгляд на поверхность Земли из космоса, позволяют увидеть картину из прошлого, следы совершенно невероятной человеческой деятельности, не сопоставимые с реальностью. Огромное количество земельных наделов предполагает проживание здесь большого количества населения. Крупные поселенческие объекты нами здесь не были распознаны, но в долине р. Цэцэрлиг (левый приток р. Тес) и за её пределами дешифрируются элементы, напоминающие следы небольших жилищ, возможно, глиняных построек, полуземлянок. Сопоставляя их расположение с древними каналами, границами земельных наделов, можно сделать заключение, что первоначально были построены каналы, обозначены земельные участки и, уже, потом произошел массовый наплыв населения. Согласно Л.Р. Кызласову (1998), «после гибели Второго Восточнотюркского каганата, на высоких плоскогорьях Центральной Азии возникло новое сильное государство тюркоязычных племен и народностей – Уйгурский каганат (745-840 гг.). Объявив себя наследниками Восточнотюркского каганата, правители уйгуров и их народ сумели, как выяснилось ныне, в середине VIII в. вызвать не только неожиданный, скачкообразный взлет собственной культуры, но и придать мощное ускорение культурному развитию соседних народов Южной Сибири

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 4 (93)

и Центральной Азии: азам, чикам, тюркам, древним хакасам, кимакам, карлукам, курыканам и др.»

Прежде всего, в Уйгурии удалось впервые перевести в оседлое состояние часть скотоводческого населения страны. Это сопровождалось невиданным до того размахом строительства городов, замков, стационарных поселений, храмов и монастырей. Особое развитие получила государственная сеть почтовых трактов со станциями.

Размах строительства городов, крепостей и селений в центральноазиатском государстве уйгуров в VIII в. отмечали еще арабские географы. Например, Тамим ибн Бахр ал-Мутавваи, побывавший в Ордубалыке на реке Орхоне, описал, что он ехал «двадцать дней среди сплошных деревень и многочисленных построек. Большая часть населения там – огнепоклонники, придерживающиеся вероучения магов. Среди них есть и зиндики, следующие учению Мани. После этих дней он прибыл в город царя... это огромный, укрепленный город, вокруг которого населенные сельские волости и сплошные деревни» (Кызласов, 1998). Если результаты нашего дешифрирования космоснимков в долине р.Цэцэрлиг верны, мы находим подтверждение слов Тамим ибн Бахр ал-Мутавваи.

Совсем недавно, в долине р. Тес, при выходе ее через хребет Агиртаг-Ула в Убсунурскую котловину, на территории Монголии, на космоснимках нами было обнаружено новое городище, приуроченное к древним агроландшафтам, не отмеченное историками и географами ранее. Неподалеку от городища, в долине р. Тес, на гранитном острове, находится древняя крепость, по нашему мнению, построенная в уйгурское время и используемая в более поздний период, как один из центров распространенной уйгурской культуры земледелия.

Помимо этого, заслуживает внимания еще один объект, расположенный в прибрежной зоне оз. Шара-Нур. При ландшафтных наблюдениях в восточной оконечности озера нами были обнаружены остатки небольшой глинобитной платформы, окруженные водой. Возможно, это естественное образование, естественное обнажение озерных глин, выведенное на поверхность неотектоническими процессами, но следов молодых разломов здесь распознать не удастся. В то время как постройки крепостей на островах известны в Туве, это Пор-Бажин на оз. Тере-Холь, Малгаш-Бажин в долине р. Хемчик.

### Выводы

Выделенные нами особенности земледельческих объектов: низинные торфяники и оторфованные почвы с зерновками пшеницы, расположенные среди разветвленных ландшафтов, при присутствии достаточно обильной скифской керамики, а также следы поселенческих объектов, вовлеченных в системы орошения, безусловно, заслуживают внимания, нового комплексного изучения. Впервые предлагается версия об использовании в Центральной Азии в прошлом природного тепла для создания земледельческого хозяйства, что, без всякого сомнения, требует серьезного изучения. Очень интересным нам кажется исследование «древних садов Центральной Азии» – объектов с названием Цэцэрлег (Цэцэрлиг). Картина древнего земледелия на обозначенной территории говорит о большой численности населения в прошлом и плодородии почв.

Активное воздействие человека на окружающую среду (сведение леса, скотоводство, способствующее дефляции почв, войны) привело к изменению природно-климатических условий, опустыниванию территории. Тем не менее, ресурсы этого региона позволяют восстановить земледельческое хозяйство, которое станет мощным развивающим элементом экономики, новым источником питания, положительным элементом для восстановления природной среды.

Работа автора по исследованию древнего земледелия и трансформации ландшафтов Центральной Азии, основанная на использовании природоведческих и обществоведческих дисциплин, новых дистанционных методов, закладывает основы для ландшафтной археологии. Предъявленные науке новые объекты создают несомненный стимул для разнородных полевых исследований, включая археологические обследования и раскопки, что позволит открыть забытые страницы истории Центральной Азии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аржанников С.Г. 2017. Палеосейсмогенная активизация Большеозерского сегмента Эрзино-Агардагского разлома // Вулканология и сейсмология. № 2. С. 56-66.
- Аржанников С.Г., Иванов А.В., Аржанникова А.В., Демонтерова Е.И., Жоливе М., Воронин В.И., Буянтуев В.А., Осолков В.А. 2017. Возраст Жомболокского лавового поля (Восточный Саян) по дендрохронологическим и радиоуглеродным данным // Геология и геофизика. Т. 58. № 1. С. 27-47.

- Геншифт Ю.С., Салтыковский А.Я.* 2000. Кайнозойский вулканизм Монголии // Российский журнал наук о Земле. Т. 2. № 2. С. 153-183.
- Геологическая карта: М-46-ХVII. 1963. Серия Западно-Саянская. Масштаб 1:200000 / Ред. Г.П. Александров. СПб.: Ленинградская картфабрика ВАГТ. 1 л.
- Кызласов Л.Р.* 1959. Средневековые города Тувы // Советская археология. № 3. С. 66-80.
- Кызласов Л.Р.* 1969. История Тувы в средние века. М.: МГУ. 212 с.
- Кызласов Л.Р.* 1979. Древняя Тува. М.: МГУ. 208 с.
- Кызласов Л.Р.* 1981. Культура древних уйгур (VIII-IX вв.) // Степи Евразии в эпоху Средневековья. Серия: Археология СССР. М. С. 52-54.
- Кызласов Л.Р.* 1984. История Южной Сибири в средние века. М.: Высшая школа. 166 с.
- Кызласов Л.Р.* 1998. Северное манихейство и его роль в культурном развитии народов Сибири и Центральной Азии. Вестник МГУ. История. № 3. С. 8-36.
- Михеев С.П.* 1910. Отчет о поездке в Северо-Западную Монголию и Урянхайскую землю / Ред. Болховитинов. СПб.: Военная типография. 176 с.
- Монгольская Народная Республика. 1990. Национальный атлас. Улан-Батор, М.: АН МНР, АН СССР. 144 с.
- Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1:200000, лист М-46-17. 1975. Геологическая карта СССР. Серия Западно-Саянская / Ред. и сост. В.И. Меткин, В.М. Немцович, Г.П. Александров. 69 с.
- Прудникова Т.Н.* 2017б. Древнее земледелие и китайские караулы долины р. Тес-Хем. УСН. Т. 9. № 3. С. 179-181.
- Прудникова Т.Н.* 2017а. Древнее земледелие и особенности палеогеографии Убсунурской котловины // География и Природные ресурсы. № 1. С. 143-151.
- Прудникова Т.Н.* 2018. К вопросу о древнем земледелии аридных территорий Центральной Азии: земледелие Убсунурской котловины // Археология, этнография и антропология Евразии. Т. 46. № 1. С. 66-75.
- Прудникова Т.Н.* 2020. Древнее земледелие и трансформация ландшафтов Центральной Азии: монография. СПб.: Сциентиа. 196 с.
- Прудникова Т.Н., Аюнова О.Д.* 2015. Природная среда древних земледельцев Убсунурской котловины // Историческая география России: ретроспектива и современность комплексных региональных исследований (к 100-летию серии «Россия. Полное географическое описание нашего отечества»): Материалы V Международной конференции, 25-28 марта 2015 г., Санкт-Петербург. С. 323-328.
- Риттер К.* 2007. Землеведение Азии. Тыва Дептер. М. Т. 2. С. 156-157.
- Ресурсы Google. 2022 [Электронный ресурс <https://support.google.com/earth> (дата обращения 14.01.2022)].
- Термальные источники Монголии. 2020 [Электронный ресурс <https://womanadvice.ru/termalnye-istochniki-v-mongolii> (дата обращения 14.01.2022)].



**КАРТИРОВАНИЕ ПАСТБИЩ ДИКИХ КОПЫТНЫХ  
В ЗАПОВЕДНИКЕ БАРСАКЕЛЬМЕС (КАЗАХСТАН)**

© 2022 г. Л.А. Димеева\*, Ж.К. Салмуханбетова\*, Д.В. Малахов\*\*

\*Институт ботаники и фитоинтродукции Министерства экологии, геологии  
и природных ресурсов Республики Казахстан

Казахстан, 050040, г. Алматы, ул. Тимирязева, д. 36-д

E-mail: l.dimeyeva@mail.ru, zhuldyz.kanatkyzy@mail.ru

\*\*Институт зоологии, Министерство образования и науки

Казахстан, 050060, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, д. 93. E-mail: d\_malakhov\_73@mail.ru

Поступила в редакцию 02.05.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

В статье представлена среднемасштабная карта кормовых угодий кластерного участка Каскакулан заповедника Барсакельмес, где обитают дикие копытные – куланы, сайгаки и джейраны. Для разработки карты использовались данные наземных исследований и дистанционного зондирования. При обработке спутниковых данных применялась авторская методика и набор спектральных индексов. На основе дешифрирования космоснимков разработаны карты сезонной урожайности пастбищ, которые рассматривались при расчете валовой урожайности. Легенда к карте кормовых угодий представляет собой систему заголовков, которые учитывают зональность, эколого-физиономические типы растительности и почвенные условия. Типы пастбищ отражены в легенде 15 номерами, для каждого приводится валовая урожайность на сезоны года. Карта может быть использована для оценки кормозапаса территории и определения допустимого количества диких копытных для поддержания экосистем в сбалансированном состоянии.

*Ключевые слова:* Аральское море, кормовые ресурсы, дистанционное зондирование, урожайность, среднемасштабная карта.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-153-162**

**EDN: HLTHXW**

Заповедник Барсакельмес был организован на одноименном острове в Аральском море в 1939 году для сохранения диких копытных сайгака (*Saiga tatarica*, Linnaeus, 1766) и джейрана (*Gazella subgutturosa* Güldenstaedt, 1780). В 1953 году на остров интродуцировали туркменского кулана (*Equus hemionus onager* Boddaert, 1785). Все эти виды включены в Красный список Международного союза охраны природы и природных ресурсов (IUCN SSC, 2017, 2018; Kaczensky et al., 2020).

В процессе высыхания моря в конце 1990-х годов территория острова объединилась с материком. В поисках водных источников животные мигрировали. Территорию компактного местообитания куланов – бывший остров Каскакулан и прилегающую осушенную полосу моря, присоединили к заповеднику в 2006 г. Общая площадь заповедника увеличилась в 10 раз. На Каскакулане расположены три артезианские скважины, которые являются важным ресурсом для водопоя животных.

Дикие копытные – сайгаки, джейраны и куланы хорошо приспособлены к суровым пустынным условиям заповедника, являются основными компонентами его экосистем. Растительные ресурсы пустынь – естественный источник кормов диких животных, обитающих в заповеднике.

Флора сосудистых растений заповедника включает 293 вида, из них на Каскакулане отмечено 134 вида (Димеева, Алимбетова, 2007). В спектре ведущих семейств преобладают представители амарантовых, сложноцветных, злаковых, крестоцветных, гречишных, бобовых, (Amaranthaceae, Asteraceae, Poaceae, Brassicaceae, Polygonaceae, Fabaceae). Ценными кормовыми растениями являются полынь белоземельная (*Artemisia terrae-albae*), кейреук (*Salsola orientalis*), изень (*Kochia prostrata*),

пырей (*Agropyron fragile*, *A. desertorum*), ковыль (*Stipa lessingiana*, *S. richteriana*). Растительность острова Каскакулан представлена сообществами с участием полыни белоземельной с эфемероидами (*Artemisia terrae-albae*<sup>1</sup>, *Tulipa biflora*, *T. borszczovii*, *Takhtajaniantha pusilla*, *Poa bulbosa*), биюргунниками (*Anabasis salsa*), саксаульниками (*Haloxylon ammodendron*) и сарсазанниками (*Halocnemum strobilaceum*). Вблизи скважин формируется луговая растительность (*Phragmites australis*, *Saussurea salsa*, *Atriplex littoralis*). Фитоценоотическое разнообразие осушенного дна моря характеризуется уникальным сочетанием растительных сообществ и группировок, представляющих стадии первичных сукцессий. Вблизи коренного берега восточного побережья на такыровидных почвах сформировались итсигеково-поташниковые, селитрянково-итсигековые и климакоптерово-саксауловые (*Anabasis aphylla*, *Kalidium caspicum*, *Nitraria schoberi*, *Haloxylon ammodendron*, *Climacoptera aralensis*, *C. ferganica*) сообщества. Приморские солончаки зарастают солянками (*Suaeda microphylla*, *Halogeton glomeratus*). На такыровидных почвах с навейным песчаным чехлом широкое распространение получили саксаульники, в которых субдоминантами являются многолетние и однолетние солянки (*Halocnemum strobilaceum*, *Salsola nitraria*, *Halostachys belangeriana*). На бугристых песках отмечены сообщества псаммофитов (*Coryspermum aralo-caspicum*, *Eremosparton aphyllum*, *Atriplex pratovii*, *Stipagrostis pennata*; Димеева, 2007).

В заповеднике Барсакельмес, когда он еще был островом, на площади 186 км<sup>2</sup> численность сайгака резко менялась по годам от 50 до 2000 особей. Численность джейранов в 70-х годах колебалась от 120 до 400 голов. В 1980 г. на острове обитало более 200 куланов (Елисеев, 2007). С тех пор площадь особо охраняемой территории увеличилась в 10 раз. Учетом 2021 года было установлено, что в заповеднике насчитывается 690 куланов, 47 сайгаков, 171 джейран. Пастбищной нагрузке подвергаются вновь присоединенные к заповеднику земли кластерного участка Каскакулан, а на территории бывшего острова выпас практически отсутствует.

Изучением кормовой базы диких копытных до катастрофического снижения моря занимались сотрудники заповедника (Васенко, 1950; Демченко, 1950; Рашек, 1977; Жевнеров, 1984). На основе этих исследований мы установили, что копытные используют в пищу 105 видов растений, из них 35 видов поедаются сайгаками, 78 – джейранами и 71 – куланами. Предпочтения копытных животных схожи. На первом месте – виды семейства злаковых (Poaceae), на втором – амарантовых (Amaranthaceae), на третьем месте сложноцветные (Asteraceae), крестоцветные (Brassicaceae) и бобовые (Fabaceae). Также совпадают сезонные предпочтения в питании. Весной животные питаются эфемерами и эфемероидами, особенно злаками, зелеными побегами ковыля. Летом в рационе появляются терескен (*Kraschenionnikovia ceratoides*), плоды селитрянки (*Nitraria schoberi*) и эфедры (*Ephedra distachya*). Осенью чаще всего употребляются в пищу солянки и полынь, зимой – однолетние побеги саксаула, многолетние солянки и полынь. Сезонная урожайность пастбищ изучалась в период комплексной экспедиции Ленинградского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена в 70-80-е годы прошлого столетия (Романова и др., 1979). После миграции животных на сопредельную территорию изучение кормовой базы не проводилось. Целью наших исследований было определение урожайности основных растительных сообществ и картирование кормовых угодий кластерного участка Каскакулан для определения современного состояния пастбищ диких копытных.

#### Объекты и методы исследований

Барсакельмесский заповедник расположен в северной части восточного побережья Аральского моря, состоит из трех кластерных участков «Барсакельмес», «Каскакулан», «Дельта» (рис. 1).

Объектами изучения служили растительные сообщества, представляющие собой естественные кормовые угодья. Полевые исследования были организованы в начале июня 2019 г. с участием сотрудников заповедника. Описания растительных сообществ проводились в 29 точках. На участках с типичным для исследованной территории растительным покровом были заложены 14 площадок по учету урожайности. Маршруты обследования были привязаны к существующим дорогам, дешифрирование растительного покрова всей территории было проведено на основе космических снимков и наземных данных. Кроме того, для выявления контуров карты кормовых угодий были

<sup>1</sup> Номенклатура видов растений приводится в соответствии с интернет-ресурсом «The World Flora Online» (2022).

использованы 27 геоботанических описаний прошлых лет (2003-2015 гг.).

Применяли методы исследования: геоботанические, флористические, пастбищные, картографические, ГИС-технологии и дистанционное зондирование (Быков, 1978; Сочава, 1979; Курочкина и др., 1986; Берлянт, 1997).

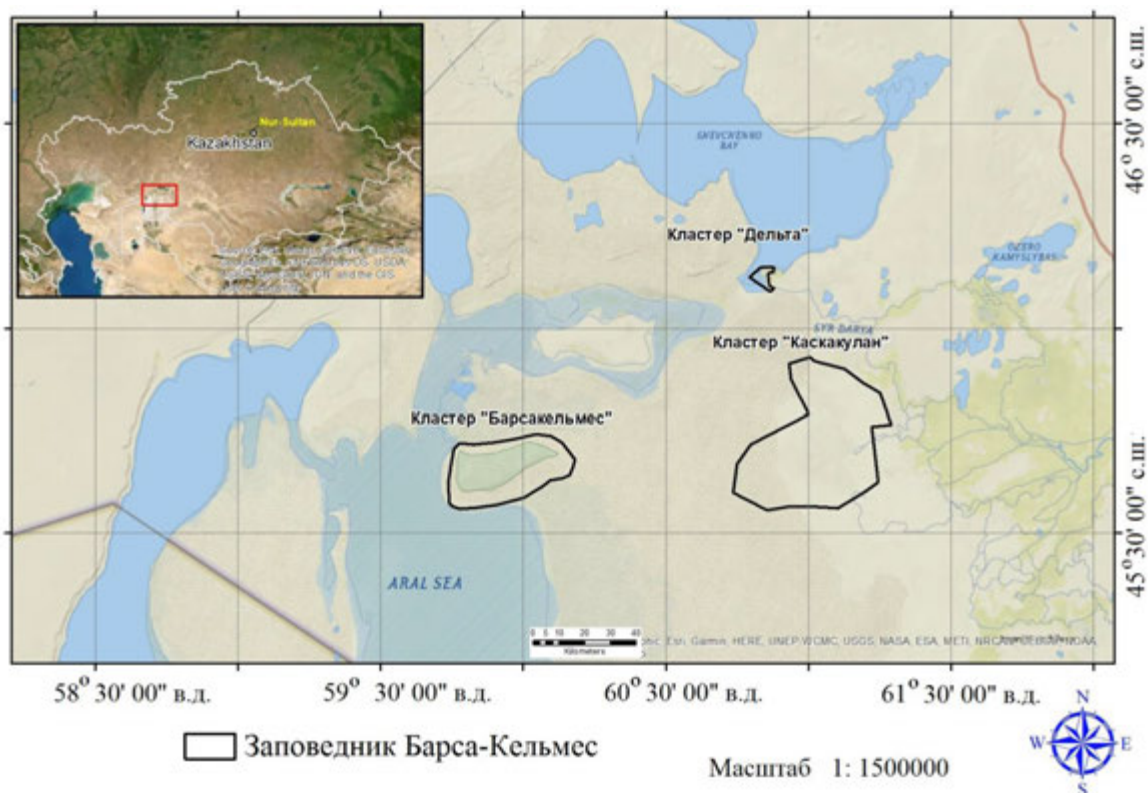


Рис. 1. Местонахождение заповедника Барсакегельмес.

Растительность пастбищ изучалась с использованием традиционных методов полевых геоботанических исследований. Для каждого растительного сообщества устанавливались: географические координаты, ландшафт, почвы, водный режим, общее проективное покрытие (ОПП), ярусность, степень трансформации, полный флористический состав, для каждого вида растений – фенофаза, жизненное состояние (по 5-балльной шкале), обилие (по шкале Друде), размещение (по шкале Б.А. Быкова), высота, габитус. При идентификации видовой принадлежности растений использовали «Иллюстрированный определитель растений Казахстана» в 2 томах (1969-1972) и «Флору Казахстана» в 9 томах (1956-1966).

Определение урожайности кормовой массы проводилось методами укусов и модельных кустов (Раменский и др., 1956; Браун, 1957; Нечаева, 1957; Инструкция ..., 1996).

Полевое картирование растительности осуществлялось сочетанием детально-маршрутных исследований и метода ландшафтно-экологического профилирования с использованием топографической основы и космоснимков. При обработке спутниковых данных применялась авторская методика (Малахов, Исламгулова, 2014, 2015). Для расчета и анализа основных пастбищных показателей применялся набор спектральных индексов: Salinity Index, Water Index, Top Soil Grain Size, Water Concentration in Green Biomass (NDWI), Bare Soil Index (Penuelas et al., 1993; Yilmaz et al., 2008; Gao, 1995).

### Результаты и обсуждение

*Определение кормовой массы в полевых условиях.* Изучение накопления кормовой массы проводилось в первой декаде июня 2019 г. Последовательность определения запасов кормовой массы включала следующие этапы: закладка стандартных площадок или выбор модельных кустов; срезание кормовой массы; взвешивание сырой фитомассы, сушка, взвешивание сухой фитомассы; пересчет

полученных данных в центнеры на гектар.

В таблице 1 приведены данные урожайности основных растительных сообществ кластерного участка Каскакулан.

**Таблица 1.** Урожайность кормовой массы растительных сообществ.

Координаты	Растительное сообщество	ОПП (%)	Численность (куст./га)	Виды	Сырой вес (ц/га)	Сухой вес (ц/га)
1	2	3	4	5	6	7
45° 39' 30.0'' с.ш. 60° 57' 45.1'' в.д.	Тростниковое ( <i>Phragmites australis</i> )	100		Тростник	<b>146.3</b>	<b>53.6</b>
45° 39' 36.7'' с.ш. 60° 57' 48.4'' в.д.	Солянково-эфемерово-жантакое ( <i>Alhagi pseudalhagi</i> , <i>Tulipa buhseana</i> , <i>Koelpinia linearis</i> , <i>Climacoptera brachiata</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> )	80		Жантак Климакоптера Эбелек Эфемеры Адраспан <b>Всего:</b>	16.9 3.3 0.9 5.2 5.2 <b>31.5</b>	2.4 1.3 0.4 3.3 1.4 <b>8.8</b>
45° 39' 28.0'' с.ш. 60° 57' 45.1'' в.д.	Биюргуновое ( <i>Anabasis salsa</i> )	35-40		Биюргун Солянки Эфемеры <b>Всего:</b>	13.8 1.8 1.8 <b>17.4</b>	5.8 1.2 0.8 <b>7.8</b>
45° 39' 35.7'' с.ш. 60° 57' 41.0'' в.д.	Группировка тамарикса с галофитным разнотравьем и эфемерами ( <i>Tamarix elonagata</i> , <i>Artemisia scopiformis</i> , <i>Aeluropus littoralis</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>Climacoptera aralensis</i> , <i>Lycium ruthenicum</i> , <i>Alhagi pseudalhagi</i> )	80	600	Тамарикс Полынь прутьевидная Ажрек Эфемеры Климакоптера Дереза Жантак <b>Всего:</b>	21.9 8.3 3.7 1.7 1.3 2.3 3.3 <b>42.5</b>	5.7 4.0 1.5 1.7 0.5 0.3 1.1 <b>14.8</b>
45° 38' 53.5'' с.ш. 60° 58' 54.1'' в.д.	Группировка селитрянки ( <i>Nitraria schoberi</i> )	60	2400 м <sup>2</sup> /га	Селитрянка	<b>26.3</b>	<b>4.8</b>
45° 39' 02.2'' с.ш. 60° 58' 40.7'' в.д.	Псаммофитно-кустарниковое ( <i>Astragalus brachypus</i> , <i>Calligonum</i> spp., <i>Convolvulus subsericeus</i> )	60-70	300 4000 4000	Жузгун Астрагал Вьюнок <b>Всего:</b>	2.0 3.6 2.4 <b>8.0</b>	0.6 1.1 1.1 <b>2.8</b>
45° 39' 25.2'' с.ш. 60° 59' 13.5'' в.д.	Эфемерово-саксауловое ( <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Senecio noeanus</i> )	70-80	700	Саксаул	<b>5.9</b>	<b>1.9</b>
45° 39' 28.5'' с.ш. 60° 59' 49.4'' в.д.	Сарсазановое ( <i>Halocnemum strobilaceum</i> )	40-50		Сарсазан	<b>44.0</b>	<b>15.0</b>
45° 39' 26.8'' с.ш. 61° 01' 04.6'' в.д.	Соляноколосниковое ( <i>Halostachys belangeriana</i> )	25	600	Соляноколосник	<b>9.1</b>	<b>1.8</b>
45°39'24.3'' с.ш. 61°01'43.1'' в.д.	Саксаульник угнетенный ( <i>Haloxylon ammodendron</i> )	40	800	Саксаул	<b>6.5</b>	<b>1.8</b>
45°39'35.0'' с.ш. 61°04'06.0'' в.д.	Саксаульник (низкорослый) с поташником ( <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Kalidium capsicum</i> )	30	1200 700	Саксаул Поташник <b>Всего:</b>	<b>1.6</b> <b>2.6</b> <b>4.2</b>	<b>0.7</b> <b>0.6</b> <b>1.3</b>

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7
45°40'17.6'' с.ш. 61°06'16.7'' в.д.	Сарсазановое ( <i>Halocnemum strobilaceum</i> )	40		Сарсазан	54.7	21.9
45°42'49.7'' с.ш. 61°12'02.3'' в.д.	Группировки солянок ( <i>Suaeda microphylla</i> , <i>Climacoptera lanata</i> , <i>C. brachiata</i> )	35		Солянки	32.3	8.2
45°44'56.7'' с.ш. 61°13'19.8'' в.д.	Эфемерово-саксауловое ( <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Senecio poeanus</i> )	60-70	1500	Саксаул	12.2	4.1

Оценка накопления кормовой массы методами дистанционного зондирования. Для вычисления сезонной урожайности были использованы снимки Landsat OLI (USGS, 2022). Применение авторской методики (Малахов, Исламгулова, 2014, 2015) и поправочные сезонные коэффициенты (Лебедь, 1989) позволили составить карты урожайности пастбищ на разные сезоны (рис. 2).

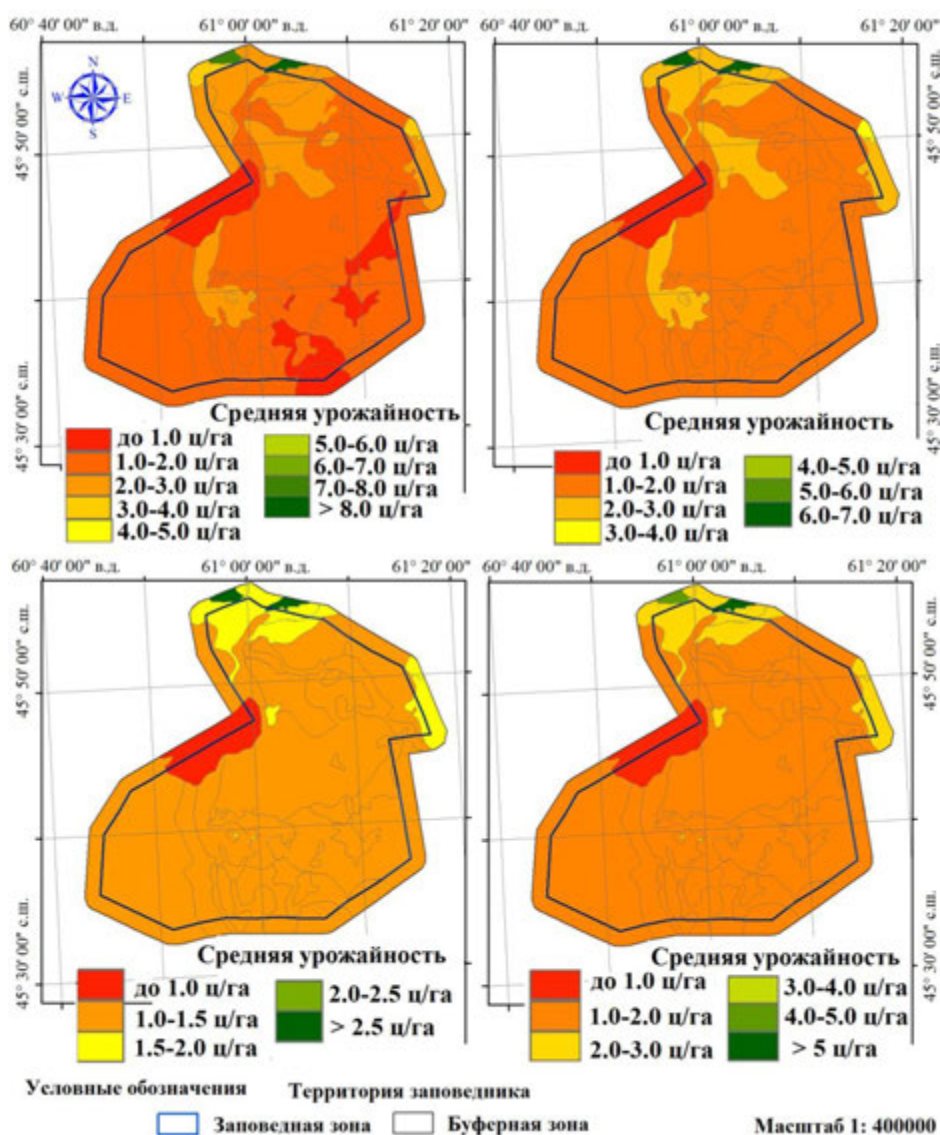
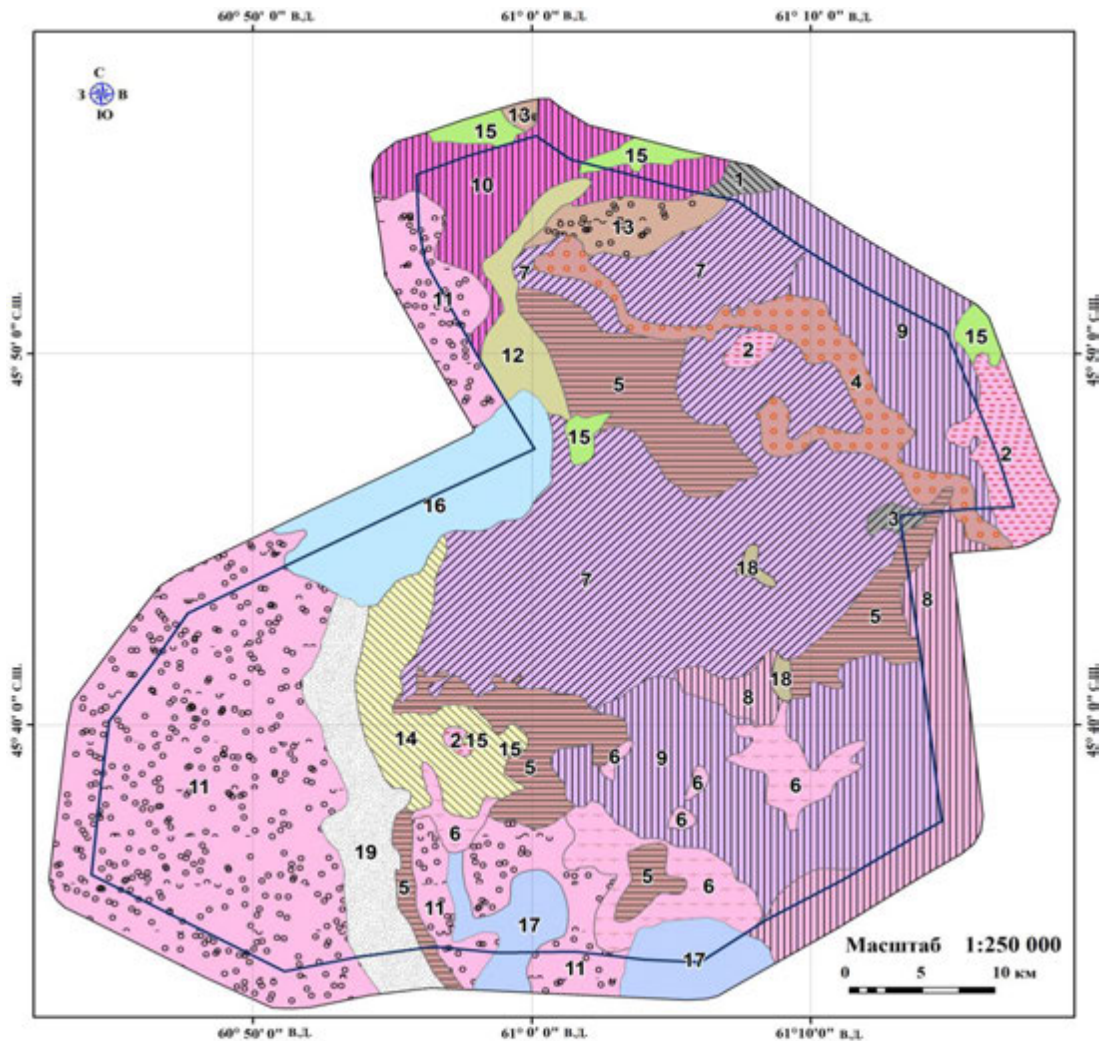


Рис. 2. Карты урожайности пастбищ на сезоны года.



Полученные по спутниковым данным результаты расчетов урожайности имеют усредненный характер. Для каждого растительного контура урожайность пересчитывалась с исходных растров, содержащих фактическую урожайность с применением функции «Зональная статистика» программного пакета ArcGIS. Такой подход позволяет нивелировать нехарактерные в целом для контура флуктуации значений урожайности, например, повышение значений урожайности возле колодцев, или, наоборот, их снижение на отдельных участках, лишенных растительного покрова вследствие деятельности человека.

*Карта кормовых угодий.* Разработка карты кормовых угодий кластерного участка Каскакулан (рис. 3) включала следующие этапы: систематизацию геоботанических описаний, экспертное дешифрирование космоснимка, составление контурной карты, разработку легенды к карте.



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Тип пастбищ		Прочие категории		Территория заповедника	
1	6	11	16 Солончаки соровые	Заповедная зона	
2	7	12	17 Солончаки приморские без растительности	Буферная зона	
3	8	13	18 Такыры		
4	9	14	19 Пески барханные		
5	10	15			

Рис. 3. Карта кормовых угодий кластерного участка Каскакулан.

Были проанализированы имеющиеся картографические материалы: «Карта кормовых угодий Казахстана» М 1: 2 000 000 (1978), «Карта растительности Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной зоны)» М 1: 2 500 000 (1995), «Карта почв» (Ерохина, 2016), «Карта растительности» М 1: 350 000 (Рачковская, Егембердиева, 2016), «Карта растительности Кызылординской области» М 1: 1 500 000 (Димеева, 2019). Структура легенды к карте (табл. 2) основана на принципах «Карты кормовых угодий Казахстана» (1978), в которой для каждого выдела карты показана урожайность на сезоны (весна, лето, осень, зима). Сезонная урожайность рассчитывалась на основе коэффициентов (Инструкция ..., 1996), опубликованных данных (Димеева, 1990, 1994) и расчетов спутниковой информации (рис. 2). Для каждого контура приводится валовая урожайность, которая складывается из фитомассы видов сообщества. Легенда к карте кормовых угодий представляет собой систему заголовков, состоит из 15 номеров. Каждый номер легенды соответствует типу пастбищ. Наиболее крупные разделы легенды соответствуют зональным (Пустынные пастбища) или интразональным (Луговые пастбища) условиям формирования кормовых угодий. Заголовки второго уровня соответствуют эколого-физиономическим типам растительности, соответствующим определенным почвенным условиям.

**Таблица 2.** Легенда к карте кормовых угодий кластерного участка Каскакулан.

№	Типы пастбищ	Валовая урожайность (ц/га)			
		весна	лето	осень	зима
<b>ПУСТЫННЫЕ ПАСТБИЩА</b>					
Полукустарничковые пастбища на бурых, серо-бурых пустынных почвах и солончаках пустынных					
1	Белоземельнополынные ( <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>Peganum harmala</i> )	3.1	3.3	2.9	1.5
2	Биюргуновые ( <i>Anabasis salsa</i> , <i>Climacoptera brachiata</i> , <i>Tulipa biflora</i> )	2.0	3.7	3.2	2.7
3	Белоземельнополынно-биюргуновые комплексные ( <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Anabasis salsa</i> , <i>Climacoptera brachiata</i> )	2.5	3.3	3.0	1.8
Саксауловые пастбища на такыровидных почвах					
4	Саксауловые, солянково-саксауловые, итсигеково-саксауловые с участием соляноколосника и поташника ( <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Suaeda microphylla</i> , <i>Climacoptera lanata</i> , <i>C. brachiata</i> , <i>Salsola foliosa</i> , <i>Anabasis aphylla</i> , <i>Halostachys belangeriana</i> , <i>Kalidium capsicum</i> )	1.1	3.8	3.1	1.9
Саксауловые пастбища на песках пустынных равнинных и приморских засоленных					
5	Эфемерово-саксауловые, однолетнесолянково-саксауловые ( <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>E. triticeum</i> , <i>Lepidium perfoliatum</i> , <i>Suaeda acuminata</i> , <i>Atriplex ornata</i> )	2.8	7.1	5.7	3.6
Солянковые пастбища на такыровидных и такыровидных почвах с навейным песчаным чехлом, солончаках приморских					
6	Сарсазановые ( <i>Halocnemum strobilaceum</i> , <i>Girgensohnia oppositiflora</i> , <i>Climacoptera aralensis</i> , <i>C. lanata</i> )	5.4	18.0	16.2	10.8
7	Соляноколосниково-сарсазановые, сарсазаново-соляноколосниковые с поташником и однолетними солянками ( <i>Halocnemum strobilaceum</i> , <i>Halostachys belangeriana</i> , <i>Kalidium capsicum</i> , <i>Climacoptera aralensis</i> , <i>C. ferganica</i> )	1.9	4.7	3.7	3.3
8	Соляноколосниково-поташниковые ( <i>Kalidium capsicum</i> , <i>Halostachys belangeriana</i> , <i>Climacoptera aralensis</i> )	1.0	2.4	1.9	1.7



## Продолжение таблицы 2.

№	Типы пастбищ	Валовая урожайность (ц/га)			
		весна	лето	осень	зима
9	Соляноколосниково-поташниковые и сарсазановые с саксаулом и эфемерами ( <i>Kalidium capsicum</i> , <i>Halostachys belangeriana</i> , <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Salsola nitraria</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>Strigosella circinata</i> )	1.0	2.6	2.2	1.7
10	Однолетнесолянковые ( <i>Suaeda acuminata</i> , <i>Bassia hyssopifolia</i> , <i>Atriplex pratovii</i> , <i>Climacoptera aralensis</i> )	4.1	8.2	7.4	5.7
11	Разреженные группировки однолетних солянок ( <i>Suaeda acuminata</i> , <i>Atriplex pratovii</i> )	<1	<1	<1	<1
Галофитнокустарниковые пастбища на песках приморских засоленных					
12	Селитрянковые и гребенщиковые с эфемерами ( <i>Nitraria schoberi</i> , <i>Tamarix laxa</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>E. triticeum</i> , <i>Hyalea pulchella</i> , <i>Anisantha tectorum</i> )	1.9	4.8	3.8	2.4
Галофитнокустарниковые пастбища на солончаках луговых и лугово-болотных обсыхающих почвах					
13	Селитрянковые, гребенщиковые, соляноколосниковые с однолетними солянками ( <i>Nitraria schoberi</i> , <i>Tamarix hispida</i> , <i>T. laxa</i> , <i>Halostachys belangeriana</i> , <i>Suaeda acuminata</i> , <i>Climacoptera aralensis</i> , <i>C. brachiata</i> )	1.4	3.2	2.5	1.7
Псаммофитнокустарниковые пастбища на песках пустынных равнинных и приморских засоленных					
14	Псаммофитнокустарниковые с участием саксаула и гребенщика ( <i>Astragalus brachypus</i> , <i>Calligonum</i> spp., <i>Convolvulus subsericeus</i> , <i>Eremosparton aphyllum</i> , <i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Tamarix hispida</i> )	1.9	2.8	2.3	1.4
ЛУГОВЫЕ ПАСТБИЩА					
Травяные пастбища на лугово-болотных засоленных почвах и солончаках луговых					
15	Тростниковые, галофитноразнотравные с гребенщиком ( <i>Phragmites australis</i> , <i>Karelinia caspia</i> , <i>Alhagi pseudalhagi</i> , <i>Artemisia scopiformis</i> , <i>Tamarix elongata</i> , <i>Saussurea salsa</i> )	12.4	25.1	14.0	12.2

## Выводы

Результатом исследований в заповеднике Барсакельмес стала Карта кормовых угодий кластерного участка Каскакулан, который является местообитанием диких копытных – куланов, сайгаков и джейранов. Для разработки карты использовались полевые исследования по оценке продуктивности пастбищ и данные дистанционного зондирования. На основе дешифрирования космоснимков разработаны карты сезонной урожайности пастбищ, которые стали основой для расчёта валовой урожайности каждого типа кормовых угодий.

Оценка кормовых ресурсов необходима для успешного управления пастбищами, чтобы сбалансировать количество пасущихся животных со способностью пастбищ обеспечивать корм на устойчивой основе. К числу важных характеристик пастбищ, кроме их урожайности, относится оптимальная нагрузка скота на пастбища, которая определяется как площадь пастбища, необходимая для выпаса одного животного за месяц или за весь пастбищный период (Байшоланов и др., 2020). Кроме того, для управления пастбищами важное значение имеет оценка топографических характеристик территории, расстояние до водных источников, кормовые предпочтения и суточное потребление корма каждым видом животных. Продолжением исследований может стать оценка кормозапаса и скотоемкости территории заповедника, которая позволит рассчитать допустимое количество поголовья диких копытных для поддержания экосистем в сбалансированном состоянии.

*Финансирование.* Исследования проводились при финансовой поддержке Фонда Микаэля Зуккова (Succow Foundation / Greifswald, Germany) через Ассоциацию сохранения биоразнообразия Казахстана и Международный фонд спасения Арала в Республике Казахстан.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Байшолонов С.С., Абдрахметов М.А., Аблайсанова Г.М.* 2020. Оценка уязвимости пастбищ Южного Казахстана к изменению климата // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. № 1 (375). С. 190-203.
- Берлянт А.М.* 1997. Геоинформационное картографирование. М.: МГУ. 60 с.
- Браун Д.* 1957. Методы исследования и учета растительности. М.: Издательство иностранной литературы. 316 с.
- Быков Б.А.* 1978. Геоботаника. Алма-Ата: Наука. 288 с.
- Васенко Е.П.* 1950. Экология и распространение сайги. Питание // Труды государственного заповедника Барса-Кельмес. Алма-ата. Вып. 1. С. 38-115.
- Демченко Л.А.* 1950. Растительность острова Барса-Кельмес как кормовая база копытных // Труды государственного заповедника Барса-Кельмес. Алма-ата. Вып. 1. С. 6-37.
- Димеева Л.А.* 1994. Динамика урожайности фитоценозов осушенного дна Аральского моря // Известия НАН Республики Казахстан. Серия биологическая. № 5. С. 17-24.
- Димеева Л.А.* 2019. Карта растительности Кызылординской области (М 1:1 500 000). Веб-атлас Кызылординской области [Электронный ресурс <http://isca.kz/ru/analytics-ru/3122> (дата обращения 25.04.2022)].
- Димеева Л.А.* 2007. Первичные сукцессии растительности в заповеднике «Барсакельмес» // Труды Барсакельмесского государственного природного заповедника. Алматы. Вып. 2. С. 81-94.
- Димеева Л.А.* 1990. Продуктивность и химизм // Комплексная характеристика пастбищ пустынной зоны Казахстана. Алма-Ата: Наука. С. 171-175.
- Димеева Л.А., Алимбетова З.Ж.* 2007. Анализ флоры заповедника «Барсакельмес» // Труды Барсакельмесского государственного природного заповедника. Вып. 2. С. 10-34.
- Елисеев Д.О.* 2007. Современное состояние фауны позвоночных острова Барсакельмес и ее динамика за последние 50 лет // Труды Барсакельмесского государственного природного заповедника. Вып. 2. С. 107-128.
- Ерохина О.Г.* 2016. Почвы // Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. Караганда: Типография Форма Плюс. С. 22-23.
- Жевнеров В.В.* 1984. Джейран острова Барсакельмес. Алма-Ата: Наука. 144 с.
- Иллюстрированный определитель растений Казахстана. 1969-1972. Алма-Ата: Наука. Т. 1. 644 с.; Т. 2. 571 с.
- Инструкция по проведению крупномасштабных (М 1: 1 000-1: 100 000) геоботанических изысканий природных кормовых угодий Республики Казахстан. 1996 / Ред. Б.С. Оспанов. Алматы: Гос. НПЦ земельных ресурсов и землеустройства. 232 с.
- Карта кормовых угодий Казахстана. М 1: 2 000 000. 1978 / Ред. Е.И. Баканач, Д.И. Подольский, В.И. Терехов. Алма-Ата: КИО «КазГипроЗем». 1 л.
- Карта растительности Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной зоны). М 1: 2 500 000. 1995 / Ред. Е.И. Рачковская. СПб.: БИН им. Комарова. 3 л.
- Курочкина Л.Я., Османова Л.Т., Карибаева К.Н.* 1986. Кормовые растения пустынь Казахстана. Алма-Ата: Кайнар. 208 с.
- Лебедь Л.В.* 1989. Рекомендации по организации и проведению аэрофотометрических обследований сельскохозяйственных угодий Казахстана. Алма-Ата. 71 с.
- Малахов Д.В., Исламгулова А.Ф.* 2014. Параметрическое дешифрирование изображений пастбищ: опыт применения данных дистанционного зондирования низкого и среднего разрешения // Оптика атмосферы и океана. № 27 (7). С. 587-592
- Малахов Д.В., Исламгулова А.Ф.* 2015. Вычисление сезонных кормозапасов в заказнике «Алтын-Дала» на основе спутниковых данных Landsat // Степи Северной Евразии: материалы VII Международного симпозиума. Международный степной форум Русского географического общества. С. 505-508.
- Нечаева Н.Т.* 1957. Методика учета запаса кормов на пустынных пастбищах. Ашхабад: Изд-во АН ТССР. 24 с.
- Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А.* 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы. 472 с.
- Рачковская Е.И., Егембердиева К.Б.* 2016. Растительность // Атлас функционального зонирования Аральского района Кызылординской области. Караганда: типография Форма Плюс. С. 24-25.
- Рашек В.А.* 1977. Сезонные особенности питания кулана на острове Барса-Кельмес // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. Т. 82 (2). С. 8-16.
- Романова Н.Н., Касаткина Н.С., Шарина Г.А., Кузнецов Л.А.* 1979. К характеристике продуктивности

- биоргуново-серопольной экосистемы // Стационарные исследования экосистем Северного Приаралья. Л.: Изд-во ЛГПИ им. А.И. Герцена. С. 28-43.
- Сочава В.Б. 1979. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука. 190 с.
- Флора Казахстана. 1956-1966. Алма-Ата: Наука. Т. 1. 354 с.; Т. 2. 292 с.; Т. 3. 460 с.; Т. 4. 548 с.; Т. 5. 515 с.; Т. 6. 465 с.; Т. 7. 497 с.; Т. 8. 447 с.; Т. 9. 640 с.
- Gao B. 1995. Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space // Proceedings of SPIE 2480. Pp. 225-236. [Электронный ресурс <https://doi.org/10.1117/12.210877> (дата обращения 27.04.2022)].
- IUCN SSC Antelope Specialist Group. 2017. *Gazella subgutturosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017. P. e.T8976A50187422. [Электронный ресурс <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-2.RLTS.T8976A50187422.en> (дата обращения 27.04.2022)].
- IUCN SSC Antelope Specialist Group. 2018. *Saiga tatarica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018. P. e.T19832A50194357. [Электронный ресурс <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T19832A50194357.en> (дата обращения 27.04.2022)].
- Kaczensky P., Lkhagyasuren B., Pereladova O., Hemami M., Bouskila A. 2020. *Equus hemionus* (Amended Version of 2015 Assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2020. P. e.T7951A166520460. [Электронный ресурс <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T7951A166520460.en> (дата обращения 27.04.2022)].
- Penuelas J., Filella I., Biel C., Serrano L., Save R. 1993. The Reflectance at the 950-970 nm Region as an Indicator of Plant Water Status // International Journal of Remote Sensing. No. 14. Pp. 1887-1905.
- The World Flora Online. 2022 [Электронный ресурс <http://www.worldfloraonline.org/> (дата обращения 27.04.2022)].
- USGS. EarthExplorer. 2022 [Электронный ресурс <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 25.04.2022)].
- Yilmaz M.T., Hunt E.R., Jackson T.J. 2008. Remote Sensing of Vegetation Water Content from Equivalent Water Thickness Using Satellite Imagery // Remote Sensing of Environment. No. 112. Pp. 2514-2522.

**О ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ АГРАХАНСКОГО ЗАЛИВА  
И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ**

© 2022 г. Д.В. Магрицкий\*, А.В. Гончаров\*, В.М. Морейдо \*\*\*, М.А. Самохин\*,  
А.С. Абдусамадов \*\*\*, С.В. Купцов\*, Г.С. Джамирзоев\*\*\*\*, \*\*\*\*\*,  
О.Н. Ерина\*, Д.И. Соколов\*, В.С. Архипкин\*, М.А. Терешина\*,  
В.В. Сурков\*, А.А. Семенова\*

\*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

\*\*Институт водных проблем РАН

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

\*\*\*Волжско-Каспийский филиал «Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии»

Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 1

\*\*\*\*Государственный заповедник «Дагестанский»

Россия, Махачкала, ул. Гагарина, д. 120

\*\*\*\*\*Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН

Россия, Кабардино-Балкарская республика, 360051, г. Нальчик, ул. И. Арманд, д. 37а

Поступила в редакцию 11.05.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

На протяжении XX века, в результате сочетания природных и антропогенных факторов, произошла значительная деградация Аграханского залива на восточном побережье дельты Терека. Проведенные авторами в 2018-2020 гг. комплексные исследования позволили установить основные причины этой деградации, охарактеризовать современное состояние водоема и научно обосновать рекомендации по его улучшению. Показано, что в результате обмеления и сокращения площади водного зеркала, залив утратил свое прежнее значение нерестово-выростного водоема, обеспечивающего Западно-Каспийский регион молодью ценных промысловых пород рыб. Уловы к 2018 г. упали в 10 раз по сравнению с началом XX в.; практически исчезли осетровые. Особенно неблагоприятным оказывается состояние северной части залива, которая превратилась в группу обмелевших водоемов, мало связанных между собой и с морем.

Исследование гидролого-морфологических, гидробиологических, рыбохозяйственных, гидрохимических параметров показало, что улучшение состояния водно-болотных угодий на месте бывшего залива возможно. Детальный анализ водного баланса с использованием многовариантных лимнологических расчетов показал, что имеется достаточное количество воды для обводнения и частичного восстановления водных объектов гидрографической системы Аграханского залива. Расчистка заиленных и заросших каналов, углубление и обвалование сохранившихся водоемов, направление необходимых объемов речной воды в Северный и Южный Аграхан (в соответствии с рассчитанным графиком подачи), позволит уменьшить зарастание и заиление водных объектов, восстановить водообмен между ними, улучшить качество воды, возродить рыбное хозяйство региона, улучшить условия обитания многих редких и охраняемых видов животных, увеличить рекреационную привлекательность региона.

*Ключевые слова:* Аграханский залив, Каспийское море, рыбное хозяйство, деградация залива, качество воды, экологическое состояние, экологическая реабилитация, нерестово-выростные водоемы, редкие виды, гидрологическое моделирование.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-163-178

EDN: IBMCGO

В XX в. в результате сочетания природных и антропогенных факторов произошли существенные изменения строения и гидрологического режима устьевых областей рек Волги, Терека, Сулака, Дона, Кубани, Сыр-Дарьи, Аму-Дарьи (Михайлов и др., 2018). Значительной трансформации подвергся Аграханский залив, расположенный в устье р. Терек (Горелиц, Землянов, 2011; Устья рек ..., 2013).

Еще в первой четверти XX в. этот водоем представлял собой типичный морской залив. Его площадь (при уровне Каспийского моря -25.6 м н.у.м. БС и средней водности Терека) составляла около 340-350 км<sup>2</sup>, глубины доходили до 3-4 м, вода в заливе была ближе к пресной, особенно во время сгонов. Начало периода деградации Аграханского залива относится к 1914 г. (рис. 1), когда во время катастрофического половодья у станицы Каргалинской произошел прорыв русла Терека в сторону залива (Байдин и др., 1971; Устья рек ..., 2013). В последующие годы в этом направлении формировался новый главный рукав дельты Терека – Каргалинский Прорыв. До 1940 г. наносы Терека не достигали залива, откладываясь в обширных разливах между ним и станицей Каргалинской. Площадь водной поверхности залива в середине – конце 1930-х гг. все еще составляла около 342 км<sup>2</sup>. Примерно с 1940 г. формирование русла Каргалинского Прорыва практически завершилось, и в среднюю часть залива начали поступать в огромном количестве терские наносы, среднемноголетний ежегодный сток которых оценивается в 18 млн. т. Их активное отложение в заливе вело к превращению части морской акватории в сушу так называемой дельты Аликазгана, к зарастанию мелководий. К 1956 г. русло главного рукава приблизилось к западному берегу Аграханского полуострова, и дельта фактически разделила Аграханский залив на две части. Окончательное разделение произошло в 1977 г. вследствие искусственного перенаправления сброса терских вод в море с северного (в Северный Каспий) на восточное (в Средний Каспий) через канал Прорезь, пересекающий Аграханский п-ов в средней части. Эти события происходили на фоне сильного падения уровня моря (почти на 3 м к 1977 г.), с повторным дополнительным снижением после 1995 г. (до -28.2 м н.у.м. БС в 2020 г.). В настоящее время залив разделен Каргалинским Прорывом на две отдельные неравноценные части – Северный и Южный Аграхан, обладающие своими особенностями. Площадь открытого водного зеркала разобщенных водоемов составляет всего 146 км<sup>2</sup>, площадь обводненного тростника – еще 112 км<sup>2</sup>, остальная часть занята сушей.

Произошедшие изменения повлекли за собой неблагоприятные гидрологические, экологические и социально-экономические последствия (Сердце Нижнетеречья ..., 2014; Магрицкий и др., 2019). Усиление этих последствий, особенно для Северного Аграхана, связано с продолжающимся падением уровня моря, усилением засушливости Прикаспия, с неудовлетворительным состоянием каналов и отсутствием притока речных вод (Samokhin et al., 2020; Семенова и др., 2020). Предотвратить негативные явления возможно путем проведения гидротехнических мероприятий, однако для их разработки требуются серьезные научные обоснования.

В 2018-2020 гг. авторами проведено комплексное исследование с целью определения современного гидроэкологического состояния Аграханского залива и разработки предложений для его улучшения. В задачи исследования входило:

- изучение морфометрических и гидрологических параметров водных объектов;
  - анализ химического состава воды и донных отложений, характеристика их загрязнения;
  - определение гидробиологических показателей – видового состава, численности и биомассы фито- и зоопланктона, зообентоса; состава и степени развития крупной водной растительности;
  - характеристика рыбного населения водоемов и разработка предложений по улучшению условий воспроизводства рыб;
  - исследование распространенности на данной территории редких и охраняемых видов животных и оценка их реакции на предполагаемое увеличение водности;
  - разработка предложений по экологической реконструкции водных объектов.
- Полученные результаты представлены в данной статье.

### **Материалы и методы**

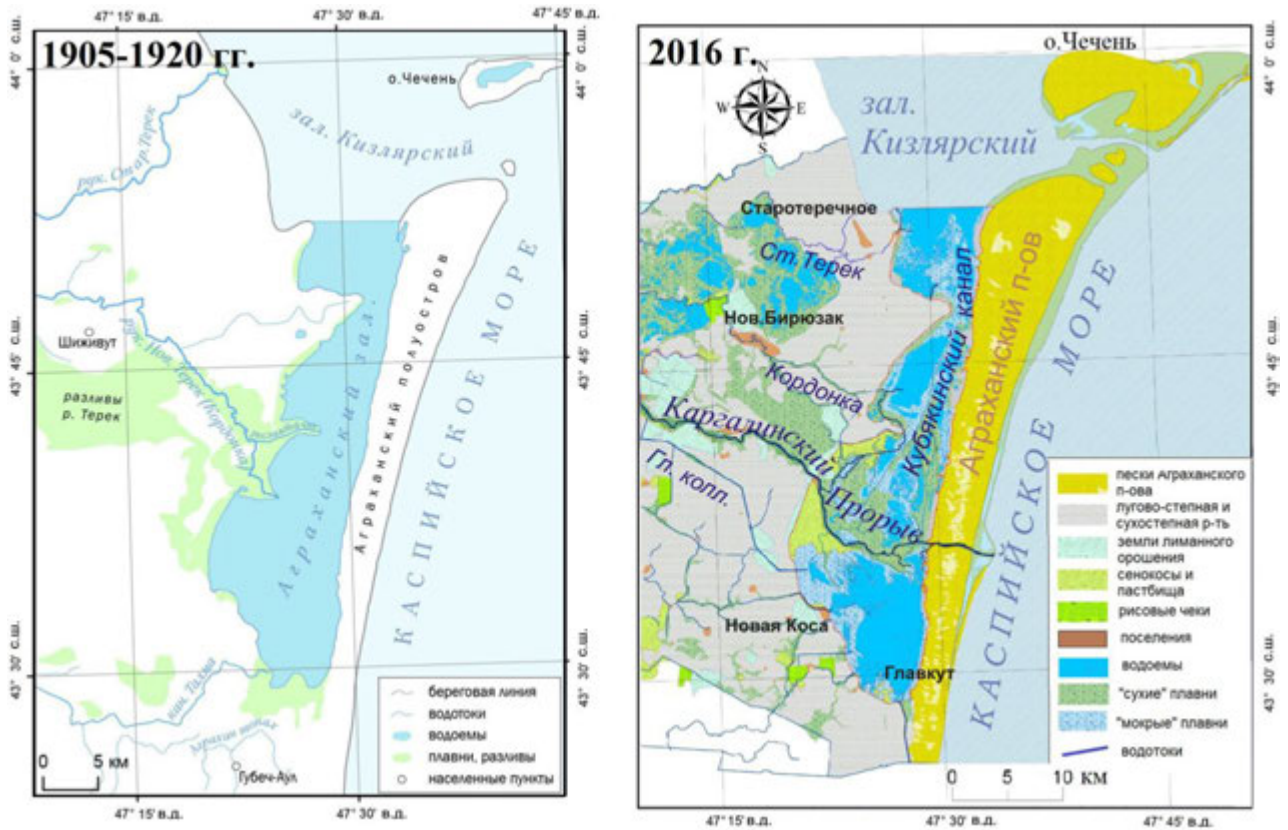
Основная часть огромного и уникального массива данных о современном состоянии бывшего Аграханского залива, гидрологических процессах и их основных природных и антропогенных факторах была собрана авторами в ходе 9 экспедиционных выездов на объект исследования в период с июля 2018 г. по август 2020 г. Во время них были открыты 6 гидростов на озерах и каналах;

заложены 14 скважин для мониторинга за подземными водами. Получено 109 тыс. точек эхолотных измерений, 1775 измеренных наметкой глубин. Были проведены макромасштабная съемка с квадрокоптера, 6 серий измерений расходов воды на 8 гидростворах в каналах и 19 в Каргалинском Прорыве, 8 серий отбора проб воды на химический состав в 10 мониторинговых точках и 4 серии на 15 рейдовых станциях, измерения гидрофизических показателей на 345 вертикалях, 200 измерений мутности воды, 653 измерения мощности донных отложений, отбор на 15 станциях колонок донных грунтов и их детальное описание, 40 определений видового состава и проективного покрытия макрофитов и их описаний, вместе со взвешиванием (около 20) по общепринятой методике (Катанская, 1981). Проводился также отбор проб на фито- и зоопланктон, зообентос и перифитон (по 10-15 проб каждой группы). На 8 станциях проведен биологический анализ 3252 экз. различных видов рыб, детально изучены фондовые и литературные материалы по численности и видовому разнообразию рыбного поголовья, их динамике в XX – начале XXI в., по истории рыболовства, по изменению численности птиц в период с 2010 и по 2019 г., выполнено 88 определений условий и мест обитания птиц, 15 определений млекопитающих. В лабораториях Дагводресурсов и Географического факультета МГУ произведен химический и гранулометрический анализ 56 проб донных отложений, лабораторный анализ 111 отобранных проб воды; изучено 24 пробы воды на весовую мутность. Часть гидрологических данных была получена с постов государственной гидрометеорологической сети. Кроме того, были собраны и с разной детальностью обработаны многочисленные картографические материалы и 157 спутниковых снимка (с 1965 г.); изучены результаты прошлых экспедиционных обследований дельты Терека и его объектов, их теоретического осмысления, представленные в опубликованных работах и фондах МГУ, Государственного океанографического института, Государственного гидрологического института и иных республиканских и федеральных организациях.

Создана электронная база данных стационарных и гидрологических наблюдений на постах в дельте Терека и на побережье Каспия (с момента их открытия и до 2020 г.), а также многослойная и высокодетальная ГИС Аграханского залива и Приаграханья (на платформе QGIS). На основе последней впервые построены карты залива с историческими границами, современным ландшафтным строением и глубинами (масштаб 1: 10000), рассчитаны батиграфические кривые, построены карты водной растительности, донных отложений, качества воды. Установлены основные гидрометеорологические, внутридельтовые и внутриводоемные, а также антропогенные факторы эволюции Аграханского залива. Получены единственные в своем роде оценки по современному водному режиму водоемов Аграханского залива, по качеству вод и источникам загрязнения, по структуре водного баланса, источникам и скорости заиления. Оценено состояние гидротехнических сооружений, связанных с заливом. Построены многочисленные графики, зависимости и диаграммы. Проведено гидродинамическое численное (в программе ADCIRC) и водно-балансовое лимнологическое (в программе GLM) моделирование.

### Результаты и обсуждение

*Современные гидролого-морфологические особенности водных объектов гидрографической системы бывшего Аграханского залива.* В настоящее время бывший Аграханский морской залив не имеет черт единого водного тела и представляет собой дельтовый озерно-плавневый массив. Он разделен руслом, поймой и защитными валами магистрального рукава Каргалинский Прорыв на две обособленные и неравноценные части – северную и южную, обладающие своей гидрографической сетью, гидрологическим режимом, ландшафтами, биотой и антропогенной нагрузкой, находящиеся на разных стадиях гидролого-морфологической деградации (рис. 1). Суммарная площадь водного зеркала разобщенных водоемов в исторических границах Аграханского залива авторами оценена в 146 км<sup>2</sup>, плавней – 112 км<sup>2</sup>. Таким образом, открытая водная поверхность сократилась почти в 2.5 раза по сравнению с началом XX в. Остальные угодья – это галофитные степи, солончаки, пастбища и сенокосы, которые постепенно расширяются. Однако в реестре водных объектов и на некоторых картах Аграханский залив по-прежнему фигурирует как морской залив. Морфологическая динамика Аграханского залива иллюстрирует закономерную эволюцию приморских, лагунного происхождения водоемов в речных дельтах, многократно ускоренную масштабными колебаниями уровня Каспия, занесением наносами р. Терека, водохозяйственной деятельностью в самой дельте и биогенным загрязнением вод.



**Рис. 1.** Границы Аграханского залива в 1905-1920 гг. и в настоящее время. Условные обозначения: 1 – Северный Аграхан, 2 – Южный Аграхан.

Северный Аграхан – это, по сути, типичный дельтовый озерно-плавневый массив с увеличивающимися от года к году площадями быстро осваиваемых под сельхозугодья «сухих» плавней, прорезанный руслами бывших и действующих каналов и протоков, самым крупным из которых является Кубякинский канал и высохший Главный Аграханский Банк (Magritsky et al., 2021). Общая площадь Северного Аграхана (в его исторических границах) – 233 км<sup>2</sup>: на водное зеркало, обводненный тростник, «сухие» плавни, сенокосы, солончаки и прочее приходится, соответственно, 79.3, 70.7, 60.4, 7.7, 14.3 и 0.9 км<sup>2</sup>. Основную часть территории занимает Аграханский заказник. Длина Северного Аграхана с юга на север – почти 29-30 км; ширина в районе Чаканных Ворот – 1.9 км, в самой широкой части – 11-12 км.

Северный Аграхан включает две группы водоемов – северную, состоящую из лагун-заливов Конный култук и Кара-Мурза, и южную, с часто пересыхающими, блюдцеобразными водоемами и самым большим водоемом – озером Кузнечонок максимальной площадью до 25 км<sup>2</sup> и глубинами до 1.5 м (в 2019 г. глубины уже не превышали 0.5 м). Водообмен между ними затруднен, тогда как северный водный массив свободно связан с морем и имеет черты его водного режима. Распространены обширные заросли периодически обводняемого тростника. Погруженной водной растительности мало. Донные отложения в лагунах и оз. Кузнечонок имеют слоистую структуру, демонстрирующую историю превращения этой части залива из морского водоема в озерно-плавневый массив и сушу. Грунты засолены. Мощность донных отложений изменяется от < 0.25 м на устьевом взморье до 0.5 м в основной части Кара-Мурзы и 0.5-1.5 м в средней части.

Кубякинский канал – это канал-рыбоход, который кроме того предназначен снабжать речной водой эту часть Аграханского залива. Он имеет длину 33 км (с учетом Морского канала, выходящего в Кизлярский залив) и максимальные глубины от 3 до 4.5 м. Канал построен в конце 1970-х гг. на месте крупного рукава – Кубякинского банка. Средняя его часть в аварийном состоянии и лишена воды.

В северных водоемах, свободно связанных с Северным Каспием, ход уровней воды определяется



колебаниями уровня моря. Диапазон сезонных колебаний уровня – в среднем 20-35 см. Размах сгонно-нагонных колебаний – от 0.5 и 1 м и выше. Блюдцеобразные водоемы Северного Аграхана (в южном и среднем его отсеках) существуют за счет речных, коллекторных вод, дождевых осадков и снеготаяния. При этом каналы Кордонка и Рослабейчик, ответственные за подачу воды с западного направления (из нижнетерских озер-водохранилищ и Старотеречной мелиоративной системы), более 15-20 лет остаются в пересохшем состоянии. Кубякинский канал-рыбоход функционирует лишь при высоких уровнях в Каргалинском Прорыве и после дноуглубления в истоке. Подобное повышение уровня было отмечено в июне-июле 2019 и в мае 2020 гг., что в последнем случае привело к гибели огромного числа рыбы, успевшей зайти в него на нерест и не успевшей выйти при резком снижении уровня. Расходы в канале были измерены во время экспедиций и составляли около 3 м<sup>3</sup>/с при проектной пропускной способности в 140 м<sup>3</sup>/с. В отсутствие связи с магистральным рукавом и каналами северной части дельты Терека возможно пересыхание не только небольших водоемов, но даже оз. Кузнечонок. Именно это произошло в 2020 г., когда было потеряно больше половины площади водоема. Небольшие блюдцеобразные водоемы могут заполняться дождевой и талой водой.

Южный Аграхан – в настоящее время самое крупное по площади озеро в Республике Дагестан. Однако его нельзя считать естественным (остаточным) водоемом. Это гидротехнически замкнутый водоем, с искусственно регулируемым (через систему водоподводящих и сбросных сооружений) водным балансом, объемом, уровнем и глубинами. Он изолирован от моря и Северного Аграхана. Перепад уровней составляет ~ 2.5-3.0 м, а дно находится на одной высоте с морским уровнем. Водоем имеет ограниченный водообмен с Каргалинским Прорывом, в последние годы, с учетом падения уровня моря и врезания русла магистрального рукава, еще более затрудненный. На юге, западе и частично севере Южный Аграхан обвалован дамбами высотой до 1.5-2 м и выше. Средние глубины при отметке уровня -25.0 м н.у.м. БС составляют от 1.5 до 2 м. Глубины > 2.5 м приурочены к центральной части. Объем водоема – 0.16 км<sup>3</sup>. Он, как и Северный Аграхан, мелеет, испытывает эвтрофирование и зарастает водной растительностью. Но происходит это с существенно меньшей скоростью. Общая площадь Южного Аграхана 136 км<sup>2</sup>: на водное зеркало, обводненный тростник, «сухие» плавни, сенокосы, затопляемые солончаки и прочее в настоящее время приходится, соответственно, 66.3, 41.3, 6.5, 16.5, 2.2 и 2.9 км<sup>2</sup>.

Донные отложения неоднородны по своей структуре, происхождению и мощности. Хорошо выделяются 3-4 слоя. Заиление автохтонным материалом составляет 0.6-0.8 см/год, занесение речными наносами – на порядок больше, что наглядно подтвердило быстрое нарастание микродельты на северо-востоке Южного Аграхана с 2008 по 2017 гг. Мощность неплотных отложений варьирует от 10-20 см (в средней части и на юго-западе) до 1-2 м на севере, определяя ограничения по дноуглублению.

*Водный режим.* В течение года максимальные уровни воды наблюдаются летом и ранней осенью, минимальные – зимой и ранней весной. Диапазон их колебаний составляет 0.5 м. Почти то же было отмечено и в 1980-х гг., когда большая часть гидротехнических сооружений Южного Аграхана уже функционировала и работал пост в Новой Косе. Характер межгодовых и сезонных колебаний уровней воды находится в прямой зависимости от водного баланса, тогда как суточная изменчивость уровней имеет синоптическую природу и диапазон в 5-10 см. Приходную часть водного баланса формируют воды Главного коллектора имени Дзержинского, который собирает излишки воды с полей обширной Дзержинской ОС и сбрасывает в залив. Годовой объем притока составляет  $W_{\text{год}} \sim 280-310$  млн. м<sup>3</sup> (95-99% приходной части водного баланса), на порядок меньше составляют атмосферные осадки. Расходную часть составляют сбросы в нерегулируемый Северо-восточный и регулируемый Гаруновский (на юге) каналы, а также испарение с транспирацией. Все компоненты водного баланса были подробно изучены и количественно оценены, включая подземный водообмен.

*Гидрохимические особенности и качество воды.* Воды Южного Аграхана солоноватые (минерализация 2-4 г/л), сульфатно-магниевого, по солевому составу близки водам Главного коллектора имени Дзержинского – основного источника водоснабжения данного водоема. Сходства с морскими водами нет. Пространственное распределение химических показателей довольно однородное, только вблизи Главного коллектора могут наблюдаться отклонения. Небольшие по кратности превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) за время исследования

встречались единично для ряда показателей (фосфаты, аммоний, железо, медь, свинец – превышение рыбохозяйственных ПДК (ПДК<sub>рх</sub>) до 2 раз, нефтяные углеводороды – превышение ПДК<sub>рх</sub> до 8 раз). Но есть и элементы, по которым ПДК превышались часто и сильно. Это марганец, цинк, никель – до 5 ПДК. Для всех этих элементов ПДК превышались и в коллекторных водах, но обычно не так сильно. То есть по мере того, как вода из Южного Аграхана испаряется, загрязнения накапливаются. Это показали не только данные измерений, но и результаты лимнологического моделирования. Серьезная проблема – повышенное поступление с коллекторными водами биогенных веществ (азота, фосфора) и их накопление в водоеме, которое приводит к увеличению содержания органического вещества. По удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) качество воды характеризуется как «грязная» (класс 4б). Насыщенность вод растворенным кислородом в целом хорошая, за исключением южного отсека с сероводородным загрязнением.

Концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в донных отложениях Южного Аграхана более пространственно неоднородны, чем их содержание в воде: повышенные концентрации отмечаются в прибрежных зонах, а в центральной части озера концентрации могут быть на порядок ниже. Можно сделать вывод, что осаждение поступающих с притоком загрязнителей происходит достаточно быстро, а обратно из донных отложений они почти не выходят, даже с учетом того, что вода постоянно полностью перемешана. Тем не менее, содержание ЗВ всегда ниже ориентировочно допустимых концентраций, поэтому состояние донных отложений – удовлетворительное, не требующее вмешательства.

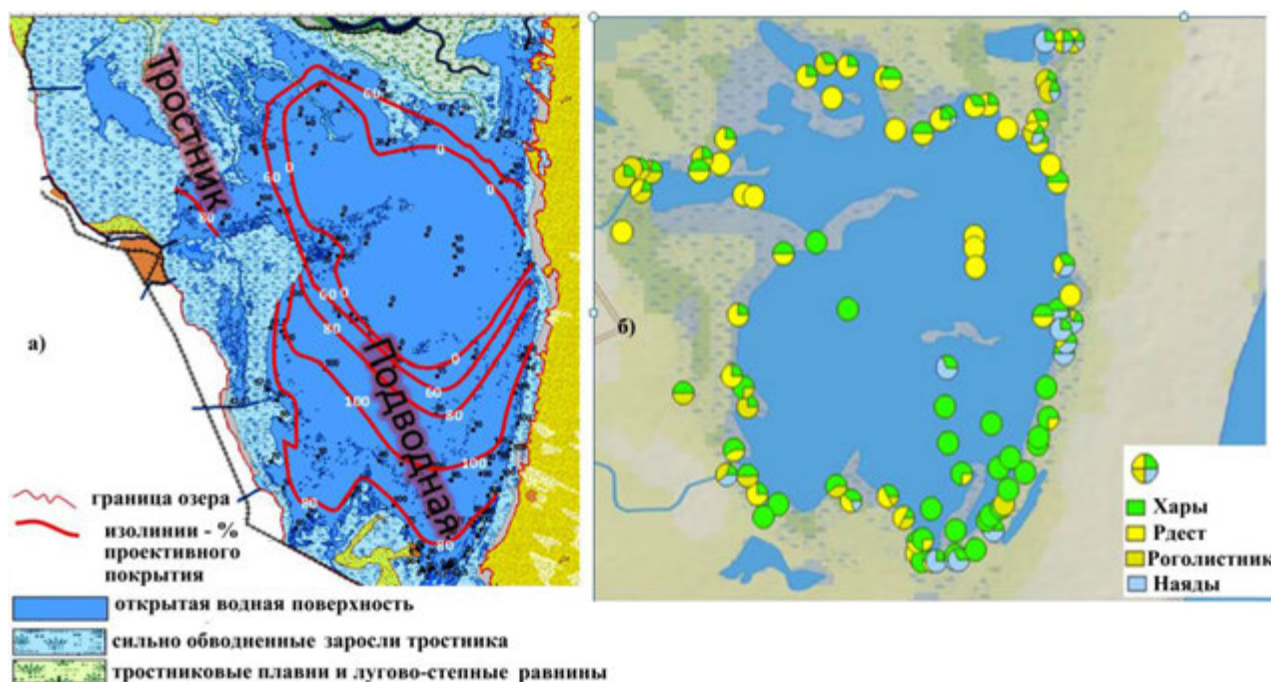
Северный Аграхан в отношении химического состава находится под влиянием как речных, так и морских вод, их геохимической трансформации в пределах занимаемой им территории. В озере Кузнечонок вода в среднем менее минерализованная, чем в Южном Аграхане, но также солоноватая – 1.5-2.5 г/л, а в Кубякинском канале и малых озерах по мере продвижения к морю достигается соленость, близкая к Каспийскому морю (11-13 г/л). По превышениям ПДК и величине УКИЗВ («грязная» – «очень грязная», класс 4а-4г), Северный Аграхан – самая загрязненная зона, превышения ПДК наблюдаются регулярно и для целого ряда показателей: хром, свинец, железо, аммоний – редко, кратность превышения ПДК<sub>рх</sub> – до 2.5; медь, никель, марганец, цинк – часто, превышение ПДК<sub>рх</sub> в 4-6 раз. Большинство из элементов, по которым превышена ПДК, встречаются и в речных водах, но есть вещества, характерные именно для морских вод. Это анионные поверхностно-активные вещества и шестивалентный хром, которые в других водных объектах почти не встречались. Также морские воды характеризуются в несколько раз более высоким содержанием органического вещества, чем воды внутренних частей залива. Степень загрязненности донных отложений в малых водных объектах к востоку от Кубякинского канала – максимальная среди всех отобранных проб: концентрации меди, цинка, ртути, свинца приближаются к величинам ориентировочной допустимой концентрации (ОДК), в двух пробах превышена ОДК по никелю. В самом Кубякинском канале, наоборот, степень загрязнения ДО металлами достаточно низкая, концентрации схожи с центральной частью Южного Аграхана. Сильного загрязнения не отмечается, состояние удовлетворительное.

*Гидробиологические особенности.* В прошлом, достаточно глубоководный Аграханский залив почти не зарастал. В настоящее время один только Южный Аграхан более чем на 70% занят водной растительностью (надводной или подводной). Больше всего подводной растительности сосредоточено в южной части водоема: площадь проективного покрытия здесь составляет 60-100% (рис. 2а). В северной и средней частях водоема проективное покрытие значительно меньше, часто меньше 20%. Различен также видовой состав растений: южная часть озера занята в основном харовыми водорослями (фото 1), в северной встречаются преимущественно рдесты.

Причина этого заключается в том, что в северную часть водоема поступают речные воды повышенной мутности, в которых недостаток света лимитирует развитие макрофитов. По этой же причине в обследованных водных объектах Северного Аграхана погруженных макрофитов практически нет. Мутность воды повышается также при увеличении количества фитопланктона, стимулируемого биогенными элементами, поступающими с притоком в Южный Аграхан.

Степень развития фитопланктона противоположна макрофитам: наибольшей биомассой характеризуются мутные воды Северного Аграхана (5-100 мг/л), наименьшей – прозрачные воды южной части Южного Аграхана (менее 1 мг/л). Причина этого, по-видимому, также заключается в

притоке речных вод, богатых биогенными элементами, благоприятствующими развитию микроскопических водорослей планктона. С другой стороны, развитие фитопланктона увеличивает мутность воды.



**Рис. 2.** Картосхема распределения водной растительности в Южном Аграхане: надводной (тростник) и погруженной (а) и видового разнообразия подводной растительности (б) по результатам исследований 2018-2020 гг.



**Фото 1.** Подводные луга из харовых водорослей в Южном Аграхане, июль 2019 г. (фото А.В. Гончарова).

Таким образом, можно утверждать, что воды Северного Аграхана являются эвтрофными (и даже гипертрофными), что определяется по биомассе фитопланктона, достигавшей 30 мг/л в 2018 г. и 100 мг/л в 2019 г. Южный Аграхан тоже можно назвать эвтрофным (высокопродуктивным) водоемом, однако уровень первичной продукции в нем определяется не фитопланктоном, а

макрофитами, средняя биомасса которых на большей части водоема составляет более  $0.8 \text{ г/м}^2$  (в абсолютно сухом весе). После отмирания растительности она разлагается бактериями, при этом из воды потребляется большое количество кислорода, образуется сероводород. Часть тростника не разлагается, откладывается на дне, способствуя обмелению и заилению (Экология зарастающего озера ..., 1999). Говоря о роли водной растительности в жизни водоема, можно отметить не только отрицательные, но и положительные ее свойства. Так, водная растительность выступает в качестве биофильтра, который снижает количество загрязняющих веществ в приходящих водах, снижает их мутность. Макрофиты являются конкурентами фитопланктона и снижают степень его развития. Водные растения служат местом для нереста рыб, укрытием молоди от хищников; рыбы питаются многочисленными организмами, поселяющимися на поверхности растений. Среди зарослей водной растительности гнездятся, выводят и выкармливают птенцов многие птицы Аграханского залива.

Оценка продуктивности беспозвоночных животных в обследованных водных объектах (необходимая для характеристики рыбохозяйственного потенциала) приводит к противоречивым результатам. Макрозообентос развит слабо, местами его практически вообще нет. Это мы объясняем отсутствием кислорода в верхних слоях иловых отложений (во многих местах чувствуется запах сероводорода). Поэтому беспозвоночные перебираются повыше – в толщу воды и заселяют поверхность макрофитов; здесь животных довольно много – до  $164 \text{ г/м}^2$  площади дна, занимаемой растениями. Таким образом, заросли водной растительности – это благоприятное место для нагула и откорма рыб. При этом сами макрофиты в живом состоянии мало кем используются, а разлагаются бактериями после отмирания (при этом потребляется кислород и может выделяться сероводород). Зоопланктон развит очень слабо – возможная причина – активное выедание рыбами; кроме того, для планктонных животных губительно сильное снижение кислорода.

Выявленные гидробиологические особенности дают основание предполагать, что в случае увеличения притока терских вод, в Северном и в Южном Аграхане уменьшится зарастаемость водных объектов, улучшится кислородный режим (особенно у дна) и условия для развития донных беспозвоночных. В Южном Аграхане приток терских вод будет способствовать увеличению биологической продуктивности (увеличится биомасса фитопланктона, зоопланктона), а подводной растительности станет меньше – её будет угнетать повышенная мутность воды и конкуренция с фитопланктоном за биогены и свет.

*Рыбы и рыбное хозяйство.* Произшедшие изменения водных объектов не могли не сказаться на рыбах и рыбном хозяйстве. Дело в том, что Аграханский залив до его обмеления, начавшегося с Каргалинского прорыва (1914 г.), обеспечивал воспроизводство рыбных запасов Терско-Каспийского района. По словам известного ихтиолога И.Ф. Правдина, «Аграханский залив есть лучший в пределах Дагестана естественный рыболовный завод и питомник для личинок и молоди, где сама природа создает великолепные условия для размножения рыб и нагула молоди, условия, которые не может создать никакой искусственный рыболовный завод» (Правдин, 1925, с. 122). Ихтиофауна Аграханского залива в то время насчитывала около 40 видов и подвидов рыб; здесь добывали осетра, севрюгу, лосося, леща, воблу, судака и других рыб.

К 1960 г. значительно сократилась площадь залива, глубина уменьшилась до 0.3-0.4 м, а на входе в залив – ещё меньше. Это явилось серьёзным препятствием проходу рыбы на нерестилища; резко ухудшились условия зимовки и нагула молоди, сократились уловы. Так, если в 1930-1934 гг. в Аграханском заливе вылавливалось до 2.7 тыс. т рыбы (при рыбопродуктивности водоема около  $100 \text{ кг/га}$ ), то затем уловы снижались, и в настоящее время они составляют около 100 т (рыбопродуктивность – около  $10 \text{ кг/га}$ ; Демин, 1963; Даниялова, Надирадзе, 1984; Абдусаматов и др., 2014).

Для изменения сложившейся ситуации предлагается осуществить рыбохозяйственную реконструкцию Аграханского залива (рис. 3). Она заключается в регулируемой подаче речной воды в Северный и Южный Аграхан, обустройстве рыбопропускных сооружений, реконструкции Кубякинского канала, обваловании и углублении водоемов в Северном Аграхане, мелиорации нерестилищ. Последняя включает локальное извлечение иловых отложений и освобождение от зарослей водной растительности; для литофильных видов рыб – подсыпку галечно-песчаного грунта.

На схеме будущего рыбохозяйственного состояния Аграханского залива (рис. 3) показаны осетровые рыбы, которые могут появиться, если будет улучшен рыбоход на Каргалинском гидроузле.



Осетровые будут проходить вверх по руслу Каргалинского Прорыва и Терека, откладывая икру на галечно-песчаных грунтах. Появившаяся молодь будет скатываться вниз по течению и, возможно, что часть ее попадёт в водоёмы Северного Аграхана, где будет нагуливать вес в благоприятных условиях. Перевернутое изображение рыбы на рисунке 3 в Северном Аграхане в его современном состоянии является указанием на то, что возможны такие ситуации, когда во время подъема уровня рыба заходит из моря на нерест, а потом гибнет при спаде воды.

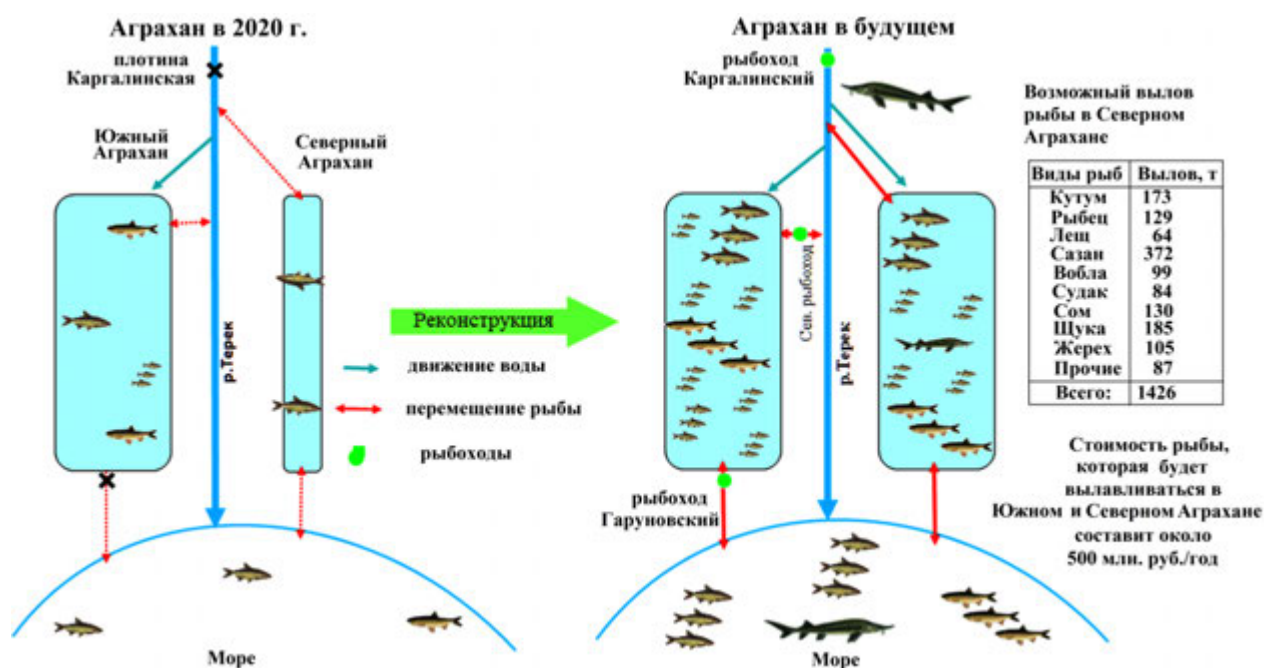


Рис. 3. Схема рыбохозяйственной реконструкции Аграханского залива.

В результате рыбохозяйственной реконструкции Аграханскому заливу возвращается функция нерестово-выростного водоема: в нем происходит нерест рыб и рост личинок, а нагул продолжается в море. Таким образом, многократно увеличивается кормовая база и рыбопродуктивность водоема. После реконструкции уловы рыб увеличатся примерно в 10 раз. Предполагаемый ежегодный вылов рыбы в Северном Аграхане, по расчетам сотрудников Каспийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, составит: для кутума – 173 т, рыбеца – 129 т, леща – 64 т, сазана – 372 т, воблы – 99 т, судака – 84 т, сома – 130 т, щуки – 185 т, жереха – 105 т, прочих – 87 т. Расчеты основаны на данных о численности молоди рыб по результатам обловов в заливе в 1980-2010 гг., когда водоем находился в относительно благополучном состоянии (Инструкции ..., 2011), и на данных о промысловом возврате от молоди, согласно методики (Приказ Минсельхоза ..., 2020). Экономическая эффективность предлагаемых рыбохозяйственных мероприятий в Северном и Южном Аграхане за счет увеличения уловов рыбы составит около 500 млн. руб. в год.

*Редкие и охраняемые виды животных Аграханского залива и Приаграханья.* Несмотря на критическое состояние экосистем, Аграханский залив продолжает оставаться территорией с высоким уровнем биологического разнообразия, является местом обитания редких и исчезающих наземных позвоночных животных, а также ценных и промысловых видов птиц и млекопитающих (фото 2).

Всего в районе исследований зарегистрировано 289 видов птиц. По богатству видового состава выделяются следующие отряды: Воробьинообразные (102 вида), Ржанкообразные (57 видов), Соколообразные (30 видов), Гусеобразные (28 видов), Аистообразные (13 видов), Журавлеобразные (13 видов). На рассматриваемой территории в разные годы в общей сложности зарегистрировано 53 вида птиц, занесенных в Красные книги России (49 видов) и Республики Дагестан (52 вида; Букреев, Джамирозев, 2016).



**Фото 2.** Колония пеликанов и бакланов на оз. Ю. Аграхан, 2022 г. (фото В.Б. Степаницкого).

В водоемах бывшего Аграханского залива и на прилегающих территориях Аграханского п-ова, острова Чечень и дельты Терека встречается 51 вид млекопитающих, в том числе: насекомоядные (4 вида); рукокрылые (10 видов); зайцеобразные (1 вид), грызуны (20 видов); хищные (13 видов), ластоногие (1 вид), парнокопытные (2 вида). К основным охотничье-промысловым видам млекопитающих исследуемого района относятся волк, шакал, обыкновенная лисица, корсак, енотовидная собака, барсук, ондатра, заяц-русак и кабан. Восемь видов млекопитающих, встречающихся на исследуемой территории, относятся к числу редких и охраняемых видов, занесенных в Красные книги Российской Федерации (2021) и Республики Дагестан (2009). В тугайных лесах низовий Терека и прилегающих зарослях тростников Аграханского залива сохранилась уникальная равнинная популяция кавказского благородного оленя.

Фауна земноводных и пресмыкающихся Аграханского залива и прилегающих территорий дельты реки Терек насчитывает 4 вида земноводных и 13 видов пресмыкающихся, в том числе: 1 вид черепах, 5 видов ящериц и 7 видов змей. Список редких и охраняемых видов амфибий и рептилий Аграханского залива и прилегающих территорий дельты реки Терек составляют обыкновенная чесночница, западный удавчик, восточная степная гадюка.

Экспертная оценка влияния предполагаемого увеличения водности Аграханского залива на биологические объекты показала следующее. В целом из 351 вида наземных позвоночных положительные последствия прогнозируются для 149 видов, нейтральные – для 171, отрицательные – для 31 вида. Из 53 редких и охраняемых видов птиц негативные последствия прогнозируются для одного вида – филина, площадь местообитаний и численность которого незначительно сократятся. Из 7 редких и охраняемых видов млекопитающих сокращение местообитаний и снижение численности прогнозируется только для одного вида – благородного оленя. Поэтому в первоочередном и обязательном порядке требуется разработать программу сохранения уникальной и единственной в Дагестане равнинной популяции благородного оленя и создать на базе государственного природного заказника «Аграханский» питомник для разведения и выпуска в природу этого редкого вида. Из ценных промысловых видов птиц и млекопитающих негативные последствия коснутся популяций серой куропатки, фазана, зайца-русака, обыкновенной лисицы и кабана. Для оптимизации охраны филина и его местообитаний, а также улучшения условий обитания некоторых ценных промысловых птиц и млекопитающих (серая куропатка, фазан, заяц-русак, обыкновенная лисица и кабан) необходимо запретить выпас скота по берегам Аграханского залива и ограничить поголовье скота в гнездовой период на Аграханском п-ове и вдоль западных границ Аграханского залива. Для предотвращения существенного снижения численности серой куропатки, фазана, зайца-русака, кабана и благородного оленя предусмотреть организацию биотехнических мероприятий по их

подкормке на территориях Аграханского заказника и ОРХ «Дагестанское». Необходимо также ввести 5-летний запрет на добычу серой куропатки, фазана, зайца-русака, лисицы и кабана на всей территории Аграханского залива за пределами Аграханского заказника. Для усиления законодательной охраны на международном уровне предлагается подготовить экологическое обоснование и заявку на придание водоемам Аграханского залива и дельты реки Терек официального статуса Рамсарского угодья.

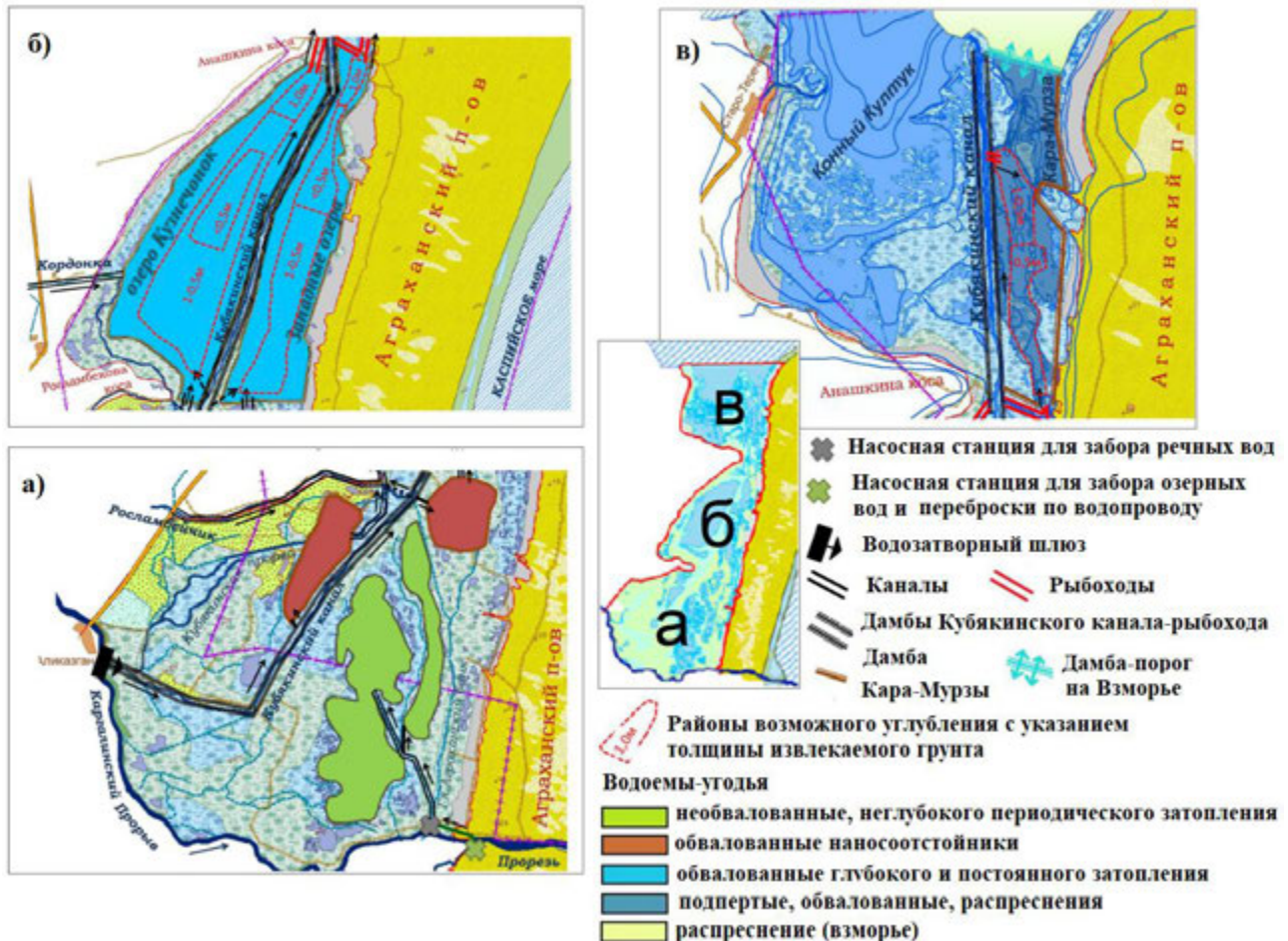
*Рекомендации по гидротехнической мелиорации Аграханского залива.* При обосновании рекомендаций для Северного Аграхана учитывалась необходимость: 1) обеспечения свободного прохода рыбы на нерест как в Каргалинский Прорыв, так и водоемы Северного Аграхана и скатывания молоди обратно в море, прежде всего, в период с марта по август, 2) увеличения площади и глубин этих самых водоемов в эти месяцы, поддержания в них пресных и солоноватоводных условий, 3) создания распресненной зоны смешения на устьевом взморье, 4) обводнения плавневых массивов, 5) сохранения безопасной и комфортной среды обитания для наземных животных, обитающих и охраняемых в Аграханском заказнике, возможности для их передвижения и стоянок, 6) согласия, в какой-то мере, с современным гидролого-морфологическим состоянием этого района и его подрайонов, 7) учета характера русловых деформаций и изменений уровней в Каргалинском Прорыве, 8) динамики уровня моря, 9) учёта уже сложившейся структуры землепользования. Главное предложение состоит в том, чтобы отказаться от одинакового подхода к гидротехнической мелиорации Северного Аграхана в отношении всей его бывшей территории/акватории, а разработать индивидуальный перечень мероприятий для каждого из его трех отсеков (рис. 4).

Для южного отсека Северного Аграхана восстановление единой водной акватории признано невозможным и нецелесообразным ввиду: 1) более высоких высотных отметок по отношению к рукаву и морю, наличия повышенных уклонов, 2) большей проницаемости почвогрунтов, 3) невозможности достичь в таком водоеме приемлемых рыбохозяйственных глубин и эффективно сохранять в них воду, 4) близости отсека к магистральному рукаву и угрозы возможных паводковых прорывов, затоплений и занесения, 5) уже сложившегося землепользования, 6) существующих биоценозов, обилие воды в которых ухудшило бы условия обитания редких и охраняемых видов животных. При этом отдельные небольшие водоемы в валах (или в естественном окружении, постоянные или периодического наполнения) могут быть в восточной его части, в подходящих депрессиях с высотными отметками, достигающими до -26.8 ... -27.4 м н.у.м. БС, и площадью около 16 км<sup>2</sup>. Вода в них может доставляться по земляному руслу бывшего Северного банка из магистрального рукава и из Северо-восточного сброса. Режим подачи – с апреля по сентябрь. Необходимые объемы – 67 млн. м<sup>3</sup>/сезон, чтобы заполнить депрессии водой для создания глубин < 0.5 м и обводнить плавни, восполнить потери на инфильтрацию и испарение. Дноуглубление здесь не предполагается. Главная задача этого мероприятия – обводнение, увлажнение территории, сохранение ее водно-болотного статуса, создание благоприятных условий для существования водных и околоводных животных и птиц. Забор воды из рукава предлагается осуществлять с помощью насосов и сбрасывать в бассейн-отстойник для наносов, а затем – в новый канал на месте бывшего Северного банка. Его ширина – 10 м, длина – 4.5 км, глубина между валами – 1.5-2 м. Это потребует объемы дноуглубления 45 тыс. м<sup>3</sup>, обвалование 9 км валов высотой не менее 1-1.5 м. Из Северо-восточного сброса, по которому сбрасываются «осветленные» воды Южного Аграхана в Каргалинский Прорыв, забирать воду предлагается с помощью насосов (не ранее июля), перебрасывать по водоводу, проложенному по опорам бывшего моста через канал Прорезь и сбрасывать в канал Северного банка, либо транспортировать по водоводу.

Для среднего отсека предлагается сезонное обводнение депрессий и существенное расширение их водного зеркала с максимальными глубинами не менее 1.5 м на месте озера Кузнечонок (к западу от Кубякинского канала) и массива Западных озер (к востоку от канала), а также строительство системы рыбоходов для прохода рыбы на нерест и возвращения обратно в Северный Каспий, ската молоди. Рыбоходы со стороны Кубякинского канала и на границе с северным (приморским) отсеком, примерные параметры которых: ширина  $B = 15$  м и глубина  $h = 1$  м, могут пройти по руслам действующих или отмерших протоков, кроме того, будут отвечать за сброс с марта по сентябрь из озер воды, и соответственно за водообновление в них. С октября по февраль их рекомендуется прекрывать, предотвращая критическое снижение уровня в создаваемых водоемах. У Западных озер



– это северный канал-рыбоход с выходом в Морской канал и лагуну Кара-Мурза. Сезон основной подачи воды и наполнения определяется датами прохода и ухода основных видов рыб – в основном с марта по сентябрь. Поддержание требуемых глубин и снижение водопотерь потребует возведения валов – отдельно вокруг озера Кузнечонка и примыкающей к нему территории, отдельно вокруг Западных озер высотой не менее 1 м – для достижения уровневой отметки -26.5 м н.у.м. БС.



**Рис. 4.** Схема и ландшафтное строение южного (а), среднего (в) и северного (в) отсеков в Северном Аграхане с предлагаемыми для них гидротехническими мероприятиями.

По границе с Кубякинским каналом таким валом будут реконструированные левобережные и правобережные дамбы самого канала-рыбохода. Объем требуемого грунта для обвалования 82.5 тыс. м<sup>3</sup>. Кроме того, для достижения необходимых глубин и увеличения числа, площади и рассредоточения плесовых участков предлагается: 1) последовательное дноуглубление в Кузнечонке и Западных озерах – с переходом от одного участка к другому (т.е. с растягиванием работ на 5-10 лет), с зонированием на районы с необходимостью углубления на 0.5 м (~ 5-6 км<sup>2</sup>), 0.5-1 м (< 20 км<sup>2</sup>) и 1 м (~ 2 км<sup>2</sup>), 2) использование извлеченного грунта на сооружение валов (в качестве дополнительного источника материала), 3) создание донных прорезей-рыбоходов. Основным источником водоснабжения для наполнения озер среднего отсека будут служить речные воды Каргалинского Прорыва, поставляемые по Кубякинском каналу. Дополнительно могла бы поступать (в оз.Кузнечонка) лишняя взвесь воды по каналам Росламбейчик и Кордонка с суммарным расходом не менее 5 м<sup>3</sup>/с, хотя их пропускная способность гораздо выше. Но это потребует серьезной гидромелиорации Нижнетерских водохранилищ, Зеньковского и Ждановского каналов, самих каналов Росламбейчик и Кордонка.

Имеется вариант подачи в средний отсек речной воды, без предварительной инженерной подготовки водоемов и их берегов для ее приема, по сути, только с целью обводнения водно-

болотных угодий, улучшения условий существования сложившихся аквальных и околоводных биоценозов без существенного улучшения рыбохозяйственных условий этой части Северного Аграхана.

В северном отсеке площадь водной акватории достаточная, связь с Каспийским морем существует. Здесь отмечается высокая соленость воды (12.5 г/л), в то время как для рыб желательна соленость меньше 3-5‰. Отмечается тесная связь уровенного режима и глубин с уровнем моря. При низком уровне моря (меньше -28.5 ... -29.0 м н.у.м. БС) и сильных сгонах на большей части Кара-Мурзы дно обнажается. Для исправления текущей ситуации предлагается следующее. Во-первых, строительство насыпного каменно-бетонного сплошного вала по существующему подводному береговому валу по морской границе Северного Аграхана (с отметками дна -28.2 ... -28.35 м н.у.м. БС), чтобы сдерживать отток воды из лагуны во время сгонов и низкого стояния уровней воды в море. Этот вал сохранял бы необходимые для рыбы глубины и, в то же время, не препятствовал бы водообмену лагуны с морем и миграции рыбы при высоком уровне моря и ветровых нагонах. Его длина, предположительно, 2 км, а высота – 0.5 м. При более низких отметках уровня в море заход рыбы в Кара-Мурзу был бы возможен по рыбоходам из Морского канала.

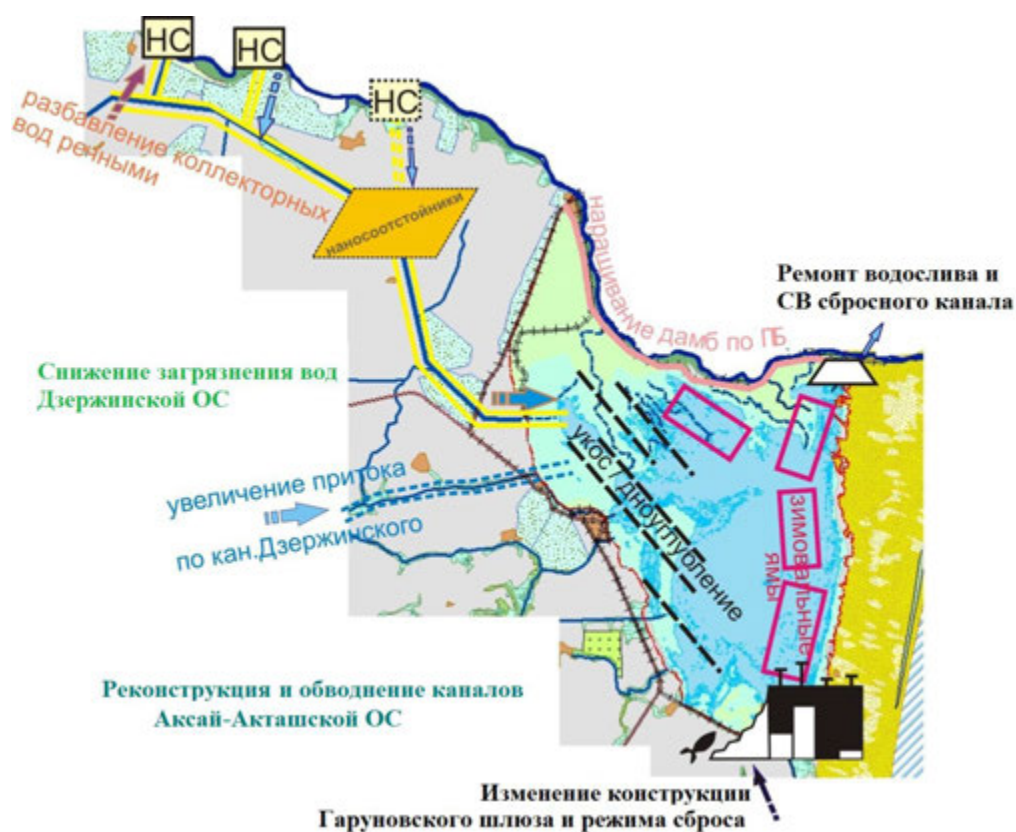
Во-вторых, необходимо также обвалование (высотой 0.5-1 м) Кара-Мурзы по восточной и южной его границе. На западе в качестве такого вала будет выступать капитальная дамба Кубякинского канала. В-третьих, необходимо распреснение вод Кара-Мурзы и взморья до целевых показателей. Вода для него будет подаваться по Кубякинскому каналу и каналам рыбоходам в объеме, зависящем от объема распресняемой призмы и фоновой величины морской солености, от «плавающей» по месяцам критической (для рыбы) величины солености (от ~ 5‰ с октября по февраль до < 3‰ в – с марта по сентябрь), от скорости водообмена с морем и полного замещения этой распресненной призмы морской водой и др. В-четвертых, на площади 2.3 км<sup>2</sup> произвести дноуглубление на 0.5 м, 1.4 км<sup>2</sup> – на 1 м.

В качестве основного тракта для транзита терских вод в сторону среднего и северного отсеков следует рассматривать только Кубякинский канал-рыбоход. Его реконструкция (освобождение от донных наносов, углубление, обвалования) должна предусматривать пропуск не менее 25 м<sup>3</sup>/с (рассчитан средний, по месяцам в/х баланс канала), глубины 1.6-1.9 м и скорости течения от 0.6 до 0.7 м/с в сезон захода рыбы на нерест. Эти расходы и их режим подачи вполне обеспечиваются расходами Каргалинского Прорыва в створе истока канала при отметке его порога -25 ... -25.5 м н.у.м. БС. при расходах воды в рукаве > 300 м<sup>3</sup>/с, которые (и выше них) встречаются каждый год в среднем с июня по август. При самотечной подаче воды в канал большие скорости течения и расходы становятся критическими, а при 500 м<sup>3</sup>/с разрушающими. Единственным выходом служит осуществление забора воды в канал только с установлением водозаторной или с регулируемым порогом плотины. Поскольку вместе с водой будут забираться терские наносы, которые будут осаждаться полностью в канале, необходима ежегодная очистка канала от наносов или следует разливать поступившие в канал речные воды на обвалованной близлежащей депрессии и обеспечивать сброс обратно в канал и в озера среднего отсека уже «осветленных» вод.

Поскольку реконструкцию водных объектов планируется произвести на территории, где обитают многие редкие и охраняемые виды животных, необходимо, по предложению Дагестанского заповедника, осуществление компенсационных мероприятий. Следует отметить, что ученые Дагестанского заповедника предлагают не проводить масштабные гидротехнические работы в Аграханском заказнике, и ограничиться только обеспечением сезонного поступления воды из Терека в Кубякинский канал.

Для Южного Аграхана (рис. 5) и реализации его рыбохозяйственного потенциала обосновано и предложено: 1) изменение величины сбросов в Гаруновский канал (в период с марта по октябрь) с целью достижения скоростей течения 0.6-0.7 м/с и глубин 1.6-1.9 м и распреснения приустьевой части Юзбаш-Сулакского коллектора, обустройство дополнительно ступенчатого рыбохода и очищение канала от водной растительности; 2) расчистка (от наносов и прибрежной водной растительности) канала Северо-восточного сброса; 3) обустройство нерестилищ в виде прибрежных песчано-галечных полос шириной 5 м по 1 км с каждой стороны от рыбоходов или по всему периметру водоема; 4) обустройство нескольких зимовальных ям; 5) сведение части тростниковых зарослей вне основных зон гнездования и стоянок перелетных птиц.

Кроме того, необходимо улучшить гидрологическую структуру приходной части водного баланса Южного Аграхана с целью достижения оптимальных для рыбы сбросов воды в рыбоходные каналы, высоты уровня поверхности и нужных глубин, распределения и улучшения качества вод водоема. Решения по изменению структуры водного баланса получены с помощью лимнологической модели GLM (General Lake Model; Hipsey et al., 2014). Максимальный расход должен поддерживаться в рыбоходах в периоды массового хода рыб на нерест в залив и размножения – в апреле-июне. В осенне-зимний период, после ската производителей и молоди в море, в рыбоходе должны поддерживаться санитарные попуски воды, необходимые для зимовки рыб. При эксплуатации только Гаруновского рыбохода это увеличит современный сток из Южного Аграхана на 2/3, а обоих рыбоходов – более чем вдвое. Для улучшения гидролого-гидрохимического режима, сокращения зарастания, развития кормовой базы, комфортного нереста и нагула рыб уровень воды в Южном Аграхане рекомендуется поддерживать близким к нормальному подпорному уровню (-25 м н.у.м. БС) либо весь год, либо в весенне-летний период. Тогда максимальные глубины в Южном Аграхане составят 1.8-2.9 м, зоны мелководий с глубинами до 1.0 м не превысят 20-25% от общей площади. Наполнение в феврале-марте создаст благоприятные условия для предстоящего нереста, а сработка на зиму позволит проводить на осушаемых мелководьях ежегодную мелиорацию нерестилищ – выкашивание жёсткой водной растительности, вспашку ложа и посев луговых трав на местах нереста сазана, леща, воблы и других видов рыб.



**Рис. 5.** Картосхема мероприятий по реабилитации Южного Аграхана.

Для снижения рисков нарушения рекомендуемого гидрологического режима Южного Аграхана рекомендуется нарастить (до высоты 2.5-3 м) и поддерживать защитные дамбы по границам водоёма (с сооружениями для авральных сбросов излишков воды и сохранения дорожного сообщения во время паводков).

Рекомендуемое увеличение сбросов при сохранении текущей структуры водного баланса Южного Аграхана неизбежно приведет к обмелению водоёма. Поэтому для поддержания рекомендуемого уровня необходимо увеличить и приток воды. Для восполнения потерь на

обводнение Гаруновского рыбохода необходимо увеличить приток на 60-75 млн. м<sup>3</sup> в год (15-19% от современного), а при обводнении также Северо-Восточного рыбохода – на 120-135 млн. м<sup>3</sup> в год (31-35%). Основной дефицит притока, который необходимо восполнить, приходится на зиму и начало весны. Увеличение притока воды в Южный Аграхан возможно за счет увеличения притока речных вод по магистральному каналу имени Дзержинского, во-вторых, за счёт разбавления дренажно-коллекторных вод Главного Дзержинского коллектора речной водой из Каргалинского Прорыва – через створы уже существующего здания насосной станции на участке ПК-660.

Необходимость использовать воды Терека для питания Южного Аграхана очевидна. Это позволит не только обеспечить необходимые объемы притока, но и распреснить Южный Аграхан, что должно будет благоприятно сказаться на качестве воды, обеспечить более комфортные условия для ихтиофауны, снизить степень зарастания водоёма, в частности харовыми водорослями. Дополнительно, если обеспечить осветление терских вод в наносоотстойниках, это снизит темпы обмеления.

Также авторы считают целесообразным: 1) снизить загрязнение вод Дзержинской оросительной системы, наладить мониторинг за стоком и качеством воды; 2) обеспечить минерализацию воды, подаваемой в Южный Аграхан, на уровне 1 мг/л (для сохранения современных гидрохимических условий Южного Аграхана) или 0.5-0.6 мг/л (для распреснения вод водоема); 3) реконструкцию и обводнение каналов Аксай-Акташской оросительной системы.

Помимо вышеуказанного, следует наладить комплексный (гидрологический, гидрохимический и экологический) мониторинг всей системы бывшего Аграханского залива.

### Выводы

За период XX – начала XXI вв. Аграханский залив дельты Терека претерпел существенную трансформацию:

– его площадь сократилась с 340-350 км<sup>2</sup> в начале XX в. до 146 км<sup>2</sup> в 2018-2019 г. (считая только площадь водной поверхности); он разделён на ряд обособленных, нередко пересыхающих, водных объектов в северной и южной частях территории;

– прежде богатое рыбное хозяйство пришло в упадок из-за того, что залив перестал выполнять функцию нерестового водоема, воспроизводства рыбных запасов; заходящие из моря на нерест в Северный Аграхан производители гибнут на обсыхающих поймах; осетровые не могут подняться к местам нереста в реке Терек, перегороженной Каргалинской плотиной; рыбы Южного Аграхана практически изолированы от Каспийского моря, их кормовая база крайне ограничена;

– водоемы обмелели, заросли, в них ухудшается качество воды, снижена продуктивность зообентоса и зоопланктона.

Вместе с тем, проведенные авторами в 2018-2020 гг. исследования свидетельствуют о том, что возможности для улучшения состояния Аграханского залива имеются. Гидрологические расчеты показали, что в регионе есть достаточное количество пресной воды, которую можно использовать для обводнения Северного и Южного Аграхана. Важно то, что предполагаемые мероприятия не внесут существенных нарушений в жизнь многочисленных редких и охраняемых животных рассматриваемой территории, входящей в состав Дагестанского государственного заповедника. Предложения по обводнению Аграханского залива основываются на том, чтобы вернуть ему функцию нерестово-выростного водоема как в южной, так и в северной частях. Такие меры помогут в значительной степени восстановить утраченный рыбохозяйственный потенциал западно-каспийского региона, способствовать развитию хозяйства, рекреации, улучшению условий обитания редких и охраняемых на данной территории видов животных. При этом необходимо предусмотреть компенсационные мероприятия для некоторых представителей местной фауны, поскольку увеличение водности может быть неблагоприятным для благородного оленя, кабана, зайца-русака, филина, фазана, серой куропатки.

*Финансирование.* Сбор и анализ материалов проводился по госконтракту с Западно-Каспийским БУ № НИР-18-01 («Исследование причин истощения Аграханского залива Каспийского моря и подготовка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению его естественного водообмена»).



Подготовка статьи осуществлена в рамках НИР кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, в рамках госзадания, № номер ЦИТИС 121051400038-1 («Анализ, моделирование и прогнозирование изменений гидрологических систем, водных ресурсов и качества вод суши.») и в рамках работы Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды», направление - Климат и окружающая среда.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаматов А.С., Мусаев П.Г., Григорьян О.П., Бархалов Р.М., Ахмаев Э.А., Таубов П.С.* 2014. Перспективные направления развития рыболовства в Терско-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне // Юг России: экология, развитие. Т. 9. № 3. С. 36-43.
- Байдин С.С., Скриптунов Н.А., Ганн Г.Н., Штейнман Б.С.* 1971. Гидрология устьевой области Терека и Сулака // Труды ГОИН. Вып. 109. 198 с.
- Букреев С.А., Джамирзоев Г.С.* 2016. Значение КОТР и ООПТ Дагестана в сохранении редких видов птиц // Инвентаризация, мониторинг и охрана ключевых орнитологических территорий России. Вып. 7. Материалы научно-практического совещания «Ключевые орнитологические территории России и проблемы их охраны», посвящённого 20-летию программы КОТР. М.: СОПР. С. 70-81.
- Горелиц О.В., Землянов И.В.* 2011. Стадийность развития дельты Терека в современных условиях // Труды ГОИНа. Вып. 213. С. 369-380.
- Красная книга Российской Федерации. Животные. 2021. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». 1128 с.
- Красная книга Республики Дагестан. 2009 / Ред. и сост. Г.М. Абдурахманов. Махачкала: ИПЭ РД. 552 с.
- Магрицкий Д.В., Кравцова В.И., Самохин М.А.* 2019. Аграханский залив в дельте Терека и его морфологическая деградация // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Москва, 3-6 сентября 2019 г. Т. 1. М.: МГУ. С. 290-291.
- Даниялова Н.В., Надирадзе А.А.* 1984. Использование биологических ресурсов Дагестанского рыбопромыслового района Каспийского бассейна. М.: Наука. 120 с.
- Демин Д.З.* 1963. Пути рыбохозяйственной реконструкции гидрографической структуры дельты р. Терек в условиях пониженного уровня Каспийского моря. С. 170-175.
- Инструкции по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания. 2011. Астрахань: КаспНИРХ. 193 с.
- Катанская В.М.* 1981. Высшая водная растительность континентальных водоёмов СССР: методы изучения. Л.: Наука. 187 с.
- Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В.* 2018. Основы гидрологии устьев рек: учебное пособие. М.: Триумф. 316 с.
- Правдин И.Ф.* 1925 Аграханский залив и его рыбохозяйственное значение. Известия отделения прикладной ихтиологии. Т. 3. Вып. 2. С. 121-124.
- Приказ Минсельхоза России от 31 марта 2020 г. № 167 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам». 2020. М. 47 с.
- Семенова А.А., Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Соколов Д.И., Ерина О.Н., Гончаров А.В., Сурков В.В., Завадский А.С., Шеремецкая Е.Д., Воронцов А.А.* 2020. Гидролого-морфологическая деградация Аграханского залива: особенности, причины, пути решения // В сб. «Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению». СПб.: Издательство ВВМ. С. 524-529.
- Сердце Нижнетеречья – озеро Южный Аграхан. 2014 / Ред. Э.М. Эльдаров. М.: Bookvika. 156 с.
- Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. 2013 // Ред. В.Н. Михайлов. М.: ГЕОС. 701 с.
- Экология зарастающего озера и проблема его восстановления. 1999. СПб.: Наука. 222 с.
- Hipsey M.R., Bruce L.C., Hamilton D.P.* 2014. GLM – General Lake Model: Model Overview and User Information. AED Report #26. Perth, Australia: University of Western Australia. 42 p.
- Magritsky D.V., Samokhin M.A., Sokolov D.I., Erina O.N., Goncharov A.V., Tereshina M.A., Surkov V.V., Moreido V.M., Arkhipkin V.S., Semenova A.A.* 2021. Modern Hydrological and Morphological State of the Agrakhan Bay and Its Adverse Changes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bristol, UK: IOP Publishing. Vol. 834. Pp. 1-8.
- Samokhin M.A., Magritskiy D.V., Sokolov D.I., Erina O.N., Goncharov A.V., Surkov V.V., Semenova A.A., Zavadskiy A.S., Vorontsov A.A., Tereshina M.A.* 2020. The Water Pools of the Agrakhan Bay Area in the Terek River Delta and Scientifically Based Measures for Their Conservation // Limnology and Freshwater Biology. No. 4. Pp. 935-936.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
САМОК ВЕСЛОНОСА (*POLYODON SPATHULA* WALBAUM, 1792)  
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЗРЕЛЫХ ООЦИТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ И РЫБОВОДНЫХ ЦЕЛЕЙ**

© 2022 г. Н.В. Судакова\*, М.А. Элнакиб\*\*\*, Н.И. Рабазанов\*\*\*\*

\*Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины  
Россия, 196084, г. Санкт-Петербург, Черниговская ул., д. 5. E-mail: sudakorm@mail.ru

\*\*Астраханский государственный университет  
Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а

\*\*\*Университет Аль-Азхар  
Египет, г. Каир, Наср Сити, ул. Наср Роад. E-mail: mahmoud.biotech@azhar.edu.eg

\*\*\*\*Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН  
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: rnuh@mail.ru

Поступила в редакцию 17.05.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Исследование направлено на оценку состояния репродуктивной функции по рыбоводно-гематологическим и морфофизиологическим показателям самок веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792), которые неоднократно созрели и отдали икру в пищевых и рыбоводных целях. Работа выполнялась в 2019-2020 годах в научно-экспериментальном комплексе аквакультуры «БИОС» в Астраханской области. Установлено, что возраст рыб, количество созреваний и межнерестовые периоды являются наиболее важными факторами, позволившими провести сравнение рыбоводно-биологических показателей самок веслоноса, созревших и отдавших икру в 2020 году. Стабильность коэффициента упитанности объясняет степень активности репродуктивной функции самок веслоноса. Достоверных различий по морфофизиологическим показателям между возрастными группами, а также между самками, от которых была получена икра различного назначения, не установлено. Анализ лейкоцитарной формулы крови исследуемых самок веслоноса показал больше лимфоидный характер и вязкоупругие свойства лейкоцитов, а также свойства агглютинации клеток были отмечены при разделении отдельных компонентов крови. Распределение типов лейкоцитов незначительно различалось в зависимости от возрастного состава ( $CV = 35.55$  и  $35.23\%$ ,  $P < 0.05$ ;  $CV = 23.96$  и  $30.92\%$ ,  $P < 0.05$ , 23 и 18 лет соответственно). Результаты гематологических исследований показали, что молодое поколение (18 лет) самок веслоноса, от которых получали икру в пищевых целях, более адаптировано, чем старше возрастное (23 лет), а развитие репродуктивной функции менее подвержено стрессовым факторам в период созревания. Иная картина наблюдается для рыб, отдавших икру в рыбоводных целях.

**Ключевые слова:** самки веслоноса, возраст созревания, межнерестовые периоды, выход икры, гемоглобин, общий сывороточный белок, лейкоцитарная формула, репродуктивная функция.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-179-188**

**EDN: JBHNP1**

Американский веслонос (*Polyodon spathula* Walbaum 1792) имеет отличительные особенности, которые заключаются в высоких темпах роста за счёт необычного способа потребления пищи путем фильтрации воды, содержащей питательные организмы, а также возможностью получения деликатесного мяса и дорогостоящей пищевой чёрной икры (Мельченков, Канидьева, 2015). В 1974 году из США (штат Миссури) в Европу впервые были ввезены личинки *Polyodon spathula* в три региона СССР: Краснодарский край (опытный завод «Горячий Ключ»), Донецкую область Украины (Донрыбокомбинат) и Астраханскую область (Икрянинский завод; Elnakeeb et al., 2021). В течение 40 лет российские ученые проводили работы по акклиматизации веслоноса, результатом которых явились рыбоводно-технологические нормативы по выращиванию веслоноса в прудах и рекомендации по



ведению племенной работы (Козлов, 1998). Веслонос, подобно осетровым рыбам, достигает половой зрелости в более позднем возрасте и крупных размерах, чем большинство других видов рыб (Беляева и др., 1997). Половая зрелость у самок наступает в 7-14 лет (около 6 лет в речных условиях) при массе 10-15 кг и общей длине 107-140 см (Элнакиб и др., 2022). Для оценки и надлежащего научного понимания активного роста и развития веслоноса в аквакультуре требуется адекватное понимание затрат на его воспроизводство. Эти же знания необходимы для сохранения вида, а не только для понимания эволюции жизненного цикла. Исследования репродуктивной функции самок веслоноса, созревших в искусственных условиях, и сравнительная оценка с показателями рыб естественного происхождения весьма актуальны для дальнейшего развития аквакультуры этого ценного вида.

Гематологические параметры рыб аквакультуры являются индикаторами изменения их здоровья, которые могут быть вызваны стрессом, болезнями и условиями выращивания, влияющими на продуктивность (Fazio, 2019; Ahmed et al., 2020). Физиологический статус самок, определённый по гематологическому показателю, как одного из наиболее распространенных биомаркеров для наблюдения за гомеостазом у рыб, особенно в периоды нереста, может быть одним из самых надёжных оценок состояния репродуктивной функции (Priborsky, Velisek, 2018).

Известно, что корреляция индекса рыб тесно связана с уровнем гемоглобина, количеством эритроцитов и сывороточным белком (Демкина и др., 1977), поскольку они увеличиваются с возрастом (Сенникова и др., 2014). В этом контексте у более молодых рыб содержание гемоглобина ниже, чем у более старших, а в межнерестовые периоды оно снижается (Архангельский, Вихляева, 1999). Физиологическое состояние рыб и степень его изменения, которое вызывается положительными или отрицательными факторами внешнего и внутреннего характеров, полнее всего оцениваются показателями крови. В связи с этим гематологические показатели в период нереста являются значимыми биологическими маркерами, характеризующими репродуктивную функцию рыб (Мельченков, 1992).

Цель исследований – оценить репродуктивную функцию веслоноса по рыбоводно-биологическим и гематологическим показателям неоднократно созревших самок в условиях прудов при получении зрелых ооцитов для пищевых и рыбоводных целей.

### Материалы и методы

Работа выполнялась в течение двух рыбоводных сезонов 2019-2020 годов в Научно-экспериментальном комплексе аквакультуры «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (рис. 1).

В нерестовой кампании 2020 года участвовали 63 самки веслоноса, которые неоднократно созрели и отдали икру в пищевых и рыбоводных целях. Отобранные производители были разделены по полу и помещены отдельно в 18 бетонных бассейнов, в которых поддерживались необходимые условия: температура воды – 16-20°C, содержание кислорода – 5.5-6.2 мг/л, pH – 7.0-7.4. Для оценки репродуктивной функции самок веслоноса определялись следующие показатели: возраст созревания, количество и периодичность созреваний и выход икры по формуле:

$$B = m/M \cdot 100\% \quad (1),$$

где  $m$  – масса икры, кг,  $M$  – масса тела самки, кг.

Определение готовности самок к нересту осуществляли путем определения коэффициента поляризации яйцеклеток методом отбора ооцитов с помощью шуповых проб. Для определения активности сперматозоидов производили отбор спермы с помощью шприца Жане или надавливания на брюшную полость в направлении уrogenитального отверстия (Mims et al., 2000).

Фиксировались морфометрические показатели (масса и длина тела), а также считывались данные электронных меток для идентификации рыб. Об эффективности выращивания веслоноса в прудах судили по коэффициенту упитанности по Фултону (Правдин, 1966), по формуле:

$$K = 100 \cdot (\text{масса, г})/(\text{длина, см})^3 \quad (2),$$

где  $K$  – коэффициент упитанности, в процентах.

Проводились исследования по оценке состояния крови по лейкоцитарной формуле, концентрации гемоглобина (Hb) и общего сывороточного белка (ОСБ). В эксперименте были задействованы 2 группы самок веслоноса, созревших в 2020 году, от которых получили икру в пищевых целях: 8 особей 1997

года рождения и 5 особей 2002 года рождения; и в рыбоводных целях: 4 особи 1997 года рождения и 5 особей 2002 года рождения. Определяли следующие показатели крови: количество форменных элементов крови, концентрацию гемоглобина, уровень сывороточных белков, лейкоцитарную формулу крови. Концентрацию гемоглобина (Hb) измеряли по концентрации цианида гемоглобина с использованием спектрофотометра PE-5400 UV/Vis. Содержание общего белка в плазме крови оценивали с помощью рефрактометра IRF-22. Классификацию лейкоцитов осуществляли визуально по мазкам крови с помощью скользящего предметного стекла (размер стекла – 24 мм × 50 мм). Мазки крови окрашивали по Паппенгейму с использованием красителя May-GrünwaldGiemsa (MGG), для изучения морфологии клеток использовали «Атлас крови рыб» (Иванова, 1983).



**Рис. 1.** Научно-экспериментальный комплекс аквакультуры «БИОС»

Статистический анализ проводился с использованием академической версии программного обеспечения XLSTAT®2019.2.1 и R (R Core Team 2016). Для анализа применялся уровень статистической значимости, установленный на уровне  $p < 0.05$  (доверительный интервал – 95%) и толерантности 0.0001. Данные представлены в виде «среднее значение ± стандартная ошибка». Для изучения гематологического профиля рыб было выполнено исследование однородности дисперсии (теста Skewness – Kurtosis) с учетом их колебаний на основе возрастной структуры рыб, как было предложено В.Д. Сенниковой с соавторами (2014).

### **Результаты и обсуждение**

Гематологические исследования выполнялись на самках, от которых получали икру в двух возрастных группах (23 года и 18 лет), что позволило выявить существенные различия между ними.

*Результаты исследований самок веслоноса, от которых получены зрелые ооциты для использования в пищевых целях.* У 13 самок веслоноса, от которых получали икру для переработки на пищевую продукцию, исследовали физиологическое состояние по рыбоводно-биологическим, гематологическим и морфофизиологическим показателям, а также изучали лейкоцитарную формулу их крови.

Полученные результаты *рыбоводно-гематологических* показателей, представленные в таблице 1, свидетельствуют, что самые высокие значения гемоглобина (113.3 г/л) были у самки № 6, которая впервые созрела в возрасте 19 лет и при втором созревании отдала наибольшее количество икры –

2.8 кг (выход – 14%). Самка веслоноса № 7, созревшая шесть раз, также имела высокие значения гемоглобина – 112.9 г/л, но от неё получили меньшее количество икры (1.3 кг, выход – 8%). Среднее содержание белка в сыворотке крови исследуемых самок составило 23.45 г/л, самые высокие значения наблюдались у особей № 1 и 4 – 32.8 и 30.6 г/л, самые низкие были у самок № 2 и 3 – 14.1 и 11.9 г/л, т.е. ниже средних значений.

**Таблица 1.** Рыбоводные и гематологические показатели самок веслоноса (*Polyodon spathula*) при получении икры в 2020 году.

№ самки	Возраст первого созревания, лет	Количество созреваний	МНП	Масса самки, кг	Масса икры, кг	Выход икры, % массы тела	Гемоглобин, г/л	ОСБ, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года)								
1	15	4	4	15.3	1.7	11	100.9	32.8
2	15	3	4	15.4	1.4	9	97.1	21.8
3	19	2	4	19.6	1.7	9	108.7	17.4
4	23	1	–	13.3	1.5	11	75.5	30.6
5	19	2	4	14.2	1.1	8	98.8	11.9
6	19	2	4	20.2	2.8	14	113.3	29.5
7	15	6	1	15.8	1.3	8	112.9	29.5
8	21	2	2	15.4	1.3	8	90.4	14.1
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет)								
9	13	2	4	13.8	1.5	11	97.1	19.6
10	9	4	3	15.3	2.0	13	75.9	16.3
11	13	2	4	16.8	резорб.	–	113.6	31.7
12	15	2	2	14.2	1.8	13	78.7	14.1
13	15	2	2	11.6	1.0	9	81.9	26.2

Обращают на себя внимание невысокие значения выхода икры, средний показатель которых составляет 9.8%, что почти в 2 раза меньше, чем у самок веслоноса из естественной среды обитания в Америке (15-25%) и в 1.5 раза ниже для акклиматизированных особей в опытном рыбоводном хозяйстве «Горячий ключ» Краснодарского края в России (Мельченков, 1992).

*Морфофизиологические показатели* у исследуемых самок веслоноса (соотношение длины и массы) были невысокими (табл. 2). Так, среднее значение коэффициента упитанности было относительно низким – менее единицы, при удовлетворительном физиологическом состоянии.

Физиологическое состояние веслоноса 2002 года рождения также было удовлетворительным, средняя концентрация гемоглобина составила 89.5 г/л, минимальные значения отмечались у особей № 10 и 12 (75.9 и 78.7 г/л), а максимальные – у самки № 11 (113.6 г/л), которая также имела наибольшую массу тела в 16.8 кг. Значения общего белка в сыворотке (ОСБ) крови были невысокими и в среднем составляли 21.6 г/л, что несколько отличается от значений ОСБ самок веслоноса первой группы.

Старшевозрастные самки веслоноса (23 года) имели массу несколько больше (свыше 16 кг) и созрели в 15 и 19 лет. Их средние показатели крови также были лучше, чем у рыб из второй, но показатель выхода икры оказался больше у самок, достигших половой зрелости раньше – в 18 лет.

*Изучение лейкоцитарной формулы крови* самок веслоноса показало, что все лейкоциты рыб подразделяются на две группы: гранулоциты и агранулоциты. Определение лейкоцитарного типов самок веслоноса в двух возрастных группах (23 года и 18 лет) позволило выявить достоверные различия между ними (рис. 2, табл. 3). В анализируемых мазках крови наблюдались молодые формы нейтрофильных гранулоцитов и эозинофилов, что интерпретируется как гиперфункциональный элемент. Напротив, у половозрелых форм были зарегистрированы разные значения уровней палочкоядерных гранулоцитов в двух группах (23 и 18 лет), что согласуется с литературными источниками (Сенникова и др., 2014).

Таблица 2. Морфофизиологические параметры веслоноса при получении икры.

Статистические показатели	Масса рыб, кг	Длина рыб, см	Коэффициент упитанности по Фультону	Концентрация гемоглобина, г/л	Общий белок в сыворотке крови, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n=8$ )					
$M\pm m$	16.15±0.9	144.88±2.1	0.41±0.06	99.7±4.47	23.45±2.9
$\sigma$	2.46	5.94	0.17	12.66	8.21
$CV, \%$	15.2	4.1	41.15	12.69	35.01
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n=5$ )					
$M\pm m$	14.34±0.9	143.2±2.3	0.45±0.04	89.44±7.06	21.58±3.3
$\sigma$	1.92	5.22	0.09	15.79	7.27
$CV, \%$	13.41	3.64	19.99	17.66	33.7

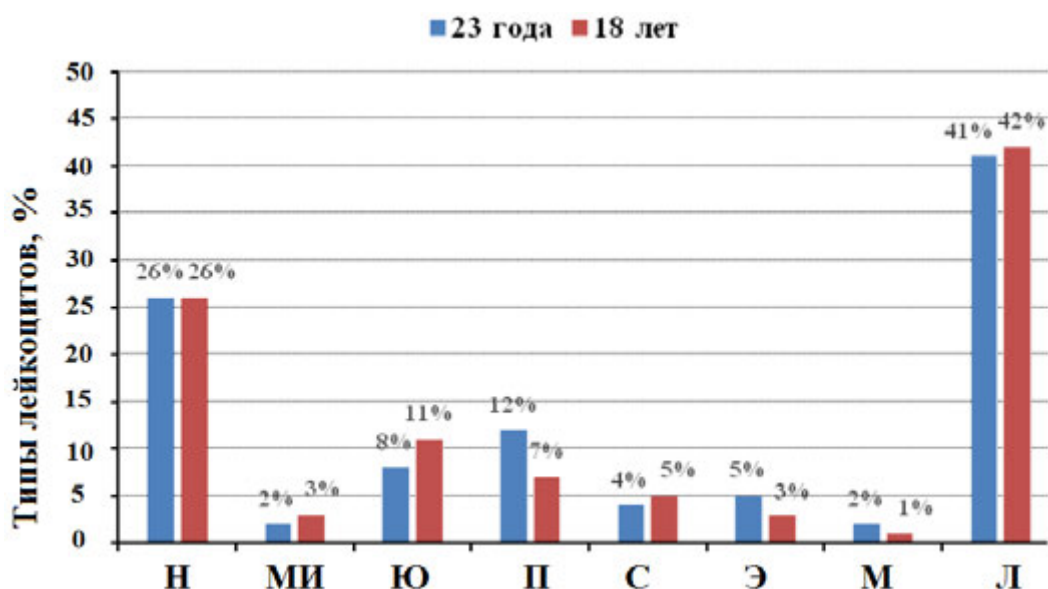


Рис. 2. Соотношение различных типов лейкоцитов у самок веслоноса. Условные обозначения для рисунков 2 и 3: Ю, П, С – юные (метамиелоциты), палочкоядерные и сегментоядерные гранулоциты, Э – эозинофилы, М – моноциты, Л – лимфоциты, Н – нейтрофилы, МИ – миелоцит.

В целом лейкоциты самок веслоноса в обеих группах показали небольшое положительное асимметричное распределение, которое, как правило, было симметричным относительно медианы (асимметрия составила  $0.23\pm 0.26$ ,  $0.12\pm 0.12$ ,  $M\pm m$ ). Эксцесс меньше единицы указывает на близость распределения к поверхности (эксцесс составил  $-0.56\pm 0.22$ ,  $-0.83\pm 0.55$ ,  $M\pm m$ ). Таким образом, распределение компонентов крови не различается по возрастному составу ( $CV = 35.55$  и  $35.23\%$ ,  $p < 0.05$ ).

Полученные результаты свидетельствуют, что у всех исследуемых самок веслоноса кровь имела лимфоцитарный характер, т. е. лимфоциты преобладали, составляя около или более половины от общего количества. У отдельных особей лимфоциты были снижены до 41-42% за счет повышения количества нейтрофильных гранулоцитов. Кроме лимфоцитов из агранулоцитов встречались и моноциты, составившие 2-4% всех лейкоцитов. Среди зернистых лейкоцитов содержание эозинофилов было в пределах 7-4%, хотя остальные пропорции компонентов лейкоцитов указывают на отсутствие

значительных различий в отношении возрастного иммунитета и стабильности, что является ожидаемым из-за воздействия на всех самок стресса в период их нереста, противоречит результатам, опубликованным В.Д. Сенниковой с соавторами (2014). Вязкоупругие свойства лейкоцитов показали, что у самок среднего возраста скорость смещения ядер при разделении отдельных компонентов крови (в зависимости от размера частиц) выше, чем у старше возрастных рыб.

**Таблица 3.** Статистические параметры распределений различных типов лейкоцитов по возрастному созреванию самок веслоноса в период нереста 2020 года.

Показатели	Возрастные группы								*Норма для самки осетра, %
	1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 8$ )				2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )				
	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV, \%$	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV, \%$	
Нейтрофилы, %	36±2.91	0.82	-1.21	22.86	36±2.59	-0.19	-2.97	16.08	18.25
Миелоцит	2.7±0.57	0.71	-0.33	50.85	4.4±1.21	0.18	-0.68	61.41	5.25
Метамиелоциты	10.9±1.75	-0.39	-1.17	45.43	14.6±2.54	0.67	0.34	38.93	1.75
Палочкоядерные гранулоциты	16.6±1.73	-0.7	-0.2	29.46	10±2.61	0.19	-2.03	58.31	1.0
Сегментоядерные гранулоциты	5.4±0.63	0.9	-1.06	32.89	7±1.1	0.17	-1.75	34.99	10.25
Эозинофилы	6.6±1.08	0.59	0.63	46.3	4.4±0.51	0.4	-0.18	25.91	2.25
Моноциты	2.4±0.48	0.73	-0.74	46.69	2.0±0.32	0	2.0	35.36	0.1
Лимфоциты	56±1.96	-0.8	-0.37	9.92	57.6±2.8	-0.44	-1.39	10.88	67.15
Смещение ядра					+				
Агглютинация	+								+

**Примечания к таблице 3 и 6:**  $\gamma_1$  – коэффициент асимметрии («skewness»),  $K$  – коэффициент эксцесса («kurtosis»; Грушко, 2009),  $CV (\%)$  – коэффициент вариации.

*Результаты исследований самок веслоноса, от которых получены зрелые ооциты для рыбоводных целей.* Результаты исследований рыбоводно-гематологических показателей свидетельствуют, что самки веслоноса были в удовлетворительном физиологическом состоянии (табл. 4). Концентрация гемоглобина варьировала, у старше возрастных среднее значение составляло 95.3±6.75 г/л.

У неоднократно созревших самок концентрация гемоглобина была больше, например, самка № 2, созревшая трижды, имела значение  $Hb = 109.8$  г/л, а у № 3, отдавшей икру один раз, этот показатель был на треть меньше – 77.3 г/л. В то же время у самки веслоноса с высоким значением гемоглобина было зафиксировано самое низкое содержание белка в сыворотке крови, что указывает на снижение темпов соматического роста и плодовитости. Замечено, что масса самки № 2 составила 11.2 кг и была ниже среднего значения (13.8 кг), а потому можно предположить, что масса рыбы и содержание сывороточного белка связаны с эффективностью воспроизводства независимо от концентрации гемоглобина, но только до тех пор, пока не опускается ниже среднего значения (95.3±6.75 г/л). Это подтверждается большим выходом икры, о чём свидетельствуют данные особи № 1 (20%) при значении гемоглобина 98.8 г/л. А у самки № 3 концентрация гемоглобина была невысокой, меньше среднего значения (77.3 г/л) при большой массе тела (15.5 кг), выход икры оказался меньше (10%).

Вторая группа самок веслоноса 2002 года рождения созрели несколько раз, кроме рыбы № 6. Их межнерестовые периоды составляли около 4 лет, что очень важно для оценки репродуктивной функции. Средние показатели концентрации гемоглобина в крови рыб этой группы составили

105.26±7.12 г/л, а содержание сывороточного белка – 24.8±1.46 г/л. Стоит отметить, что существует закономерность влияния рыбоводных показателей на выход икры. Так, самки № 5, 7 и 8 созрели несколько раз при раннем возрасте достижения половой зрелости, в среднем 12 лет, межнерестовые периоды – 4 года, а среднее значение их массы было около 14 кг, процент выхода икры – незначительный (12-11%), притом что концентрация гемоглобина была меньше среднего значения. Очевидно, что масса рыбы и концентрация гемоглобина не влияли на репродуктивную функцию, напротив, возраст достижения половозрелости, количество созреваний и период между нерестами были решающими факторами в определении результативности репродуктивной функции. Следует отметить, что у самки веслоноса № 6 отмечались высокие концентрации гемоглобина и сывороточного белка (117.2 и 29.5 г/л), но впервые она созрела позже (в 18 лет) и выход ее икры составил всего 9%. Концентрация гемоглобина и содержание сывороточного белка являются основными индикаторами физиологического состояния рыб, но не репродуктивной функции.

**Таблица 4.** Рыбоводные и гематологические показатели самок веслоноса (*Polyodonspathula*) при получении икры в 2020 году.

№ самки	Возраст первого созревания, лет	Количество созреваний	МНП	Масса самки, кг	Масса икры, кг	Выход икры, % массы тела	Гемоглобин, г/л	ОСБ, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года)								
1	23	1	1	15.3	3	20	98.8	19.6
2	20	3	2	11.2	1.1	10	109.8	11.9
3	23	1	1	15.5	1.5	10	77.3	17.4
4	23	1	1	13.3	1.5	11	95.3	21.8
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет)								
5	14	2	4	13.5	1.68	12	90.7	26.2
6	18	1	1	14.1	1.2	9	117.2	29.5
7	10	5	3	17.4	1.69	10	126.4	23.8
8	14	2	4	13.3	1.45	11	91.4	20.7
9	10	4	3	18.2	н/о	н/о	100.6	23.8

*Морфофизиологические показатели* самок веслоноса (табл. 5) свидетельствуют о невысоких параметрах коэффициента упитанности (< 1), но содержание гемоглобина и ОСБ у разновозрастных групп были выше среднего, что указывает на хорошее физиологическое состояние самок.

Эритроциты представлены зрелыми формами эритроидного ряда; это клетки эллипсоидного вида с центрально расположенным округлым уплотненным ядром темно-фиолетового цвета, содержат в цитоплазме дыхательный пигмент гемоглобин. Кроме снабжения организма кислородом и питательными веществами они осуществляют ферментативные процессы (Элнакиб и др., 2021).

При изучении клеток красной крови прослеживаются незначительные изменения. Так, увеличение размеров клеток (анизоцитоз) наблюдалось у 13% рыб, а также было отмечено изменение формы эритроцитов в виде деформации, возможно, вызванной механическим повреждением, а не пойкилоцитозом. У единичных эритроцитов (в 18% случаев) наблюдалось слегка заметное смещение ядра к оболочке. Известно, что подобные изменения клеток эритроидного ряда носят обратимый процесс и в дальнейшем эритроциты могут отделяться друг от друга, не повреждаясь.

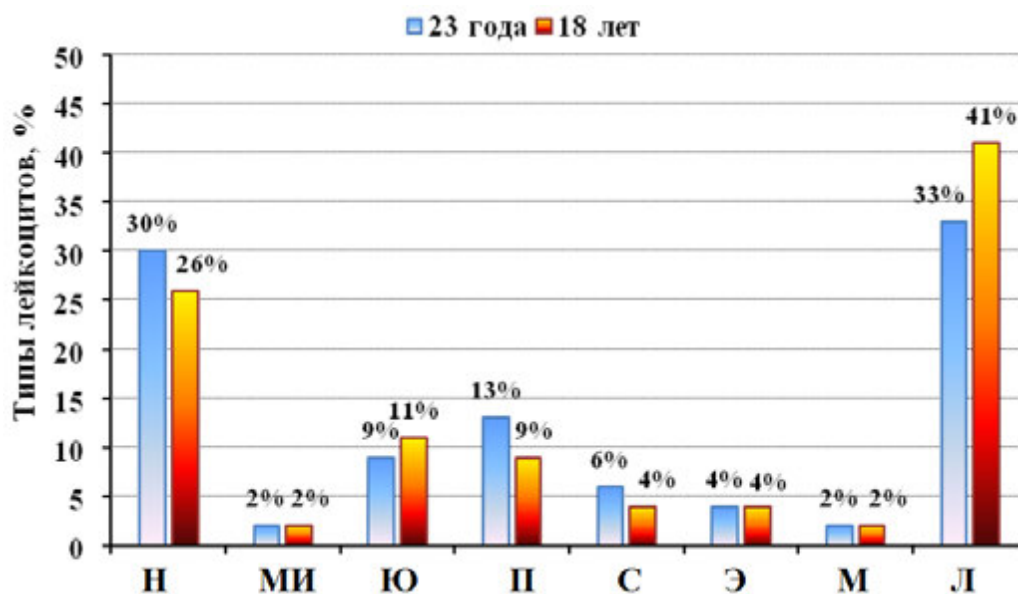
*Изучение лейкоцитарной формулы крови* показало, что у всех самок кровь имела лимфоцитарный характер, т.е. лимфоциты преобладали, составляя около или более половины всех лейкоцитов.



У отдельных особей лимфоциты были снижены до 44-49% за счет повышения количества нейтрофильных гранулоцитов. Что касается метамиелоцитов и стадии их развития, процентное значение было обратно пропорционально лимфоцитам, которые сильнее понижались у поздно созревших рыб (9%) в отличие от рыб, достигших полового созревания в среднем возрасте (11%). Из гранулоцитарного ряда клеток метамиелоцитов было больше всего у всех исследованных рыб. Напротив, пранулоциты и сегментоядерные гранулоциты, эозинофилы и моноциты были выше у самок старшего возраста, а не у самок среднего возраста (23 года – 13 и 6%; 18 лет – 19 и 12%). В обеих группах зафиксированы равные пропорции миелоцитов, эозинофилов и моноцитов (рис. 3).

**Таблица 5.** Морфофизиологические параметры веслоноса при получении икры.

Статистические показатели	Масса рыб, кг	Длина рыб, см	Коэффициент упитанности по Фультону	Концентрация гемоглобина, г/л	Общий белок в сыворотке крови, г/л
1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 4$ )					
$M \pm m$	12.83±0.75	140.25±3.33	0.46±0.01	95.3±6.75	17.68±2.12
$\sigma$	1.51	6.65	0.02	13.5	4.25
$CV, \%$	11.75	4.74	4.78	14.16	24.04
2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )					
$M \pm m$	14.14±0.9	144±3.39	0.47±0.02	105.26±7.12	24.8±1.46
$\sigma$	2.02	7.58	0.03	15.93	3.27
$CV, \%$	14.27	5.27	7.16	15.14	13.2



**Рис. 3.** Соотношение различных типов лейкоцитов у самок веслоноса.

Согласно R.A. Bullis (1993), дифференциал лейкоцитов у веслоноса имел гораздо больший диапазон, чем диапазон от 0 до 4%, о котором сообщалось для других видов рыб, и более низкий процент гранулоцитов, что соответствует данным из американской литературы (Petrie - Hanson, Peterman, 2005). Результаты однородности дисперсии с помощью теста Skewness – Kurtosis

представлены в таблице 6.

**Таблица 6.** Статистические параметры распределений различных типов лейкоцитов по возрасту созревания самок веслоноса в период нереста, 2020 год.

Показатели	Возрастные группы								*Норма для самки осетра, %
	1-я группа 1997 года (возраст 23 года, $n = 4$ )				2-я группа 2002 года (возраст 18 лет, $n = 5$ )				
	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV$ (%)	$M \pm m$	$\gamma_1$	$K$	$CV$ , %	
Нейтрофилы, %	43.5±0.87	0	-6	3.98	35.8±3.71	0.36	-1.05	23.15	18.25
Миелоцит	2.25±0.48	-0.85	-1.29	42.55	3.2±0.37	-0.51	-0.61	26.15	5.25
Метамиелоциты	13.25±1.7	1.2	1.98	25.69	15.4±2.04	-0.48	-2.9	29.61	1.75
Палочкоядерные гранулоциты	19±2.58	0	-1.2	27.18	12±1.45	-0.73	2	27	1.0
Сегментоядерные гранулоциты	9±1.78	1.33	1.5	39.54	5.2±1.16	0.5	0.8	49.78	10.25
Эозинофилы	6±0	–	–	0	5.4±0.87	0.08	-0.82	36.10	2.25
Моноциты	3±0.71	1.41	1.5	47.14	2.8±0.49	0.61	-3.33	39.12	0.1
Лимфоциты	47.5±1.32	-0.86	-0.29	5.57	56±4.12	0.1	-1.36	16.46	67.15
Смещение ядра					+				
Агглютинация	+								+

**Примечание к таблице 6:** \* – выполнено по методу М.П. Грушко (2009),  $\gamma_1$  – коэффициент асимметрии («skewness»),  $K$  – коэффициент эксцесса «kurtosis»,  $CV$  (%) – коэффициент вариации.

В работе наблюдалось слегка положительное асимметричное распределение лейкоцитов маточной стадии веслоноса для обеих групп, по-видимому, симметрично близкое к медиане (асимметрия составила  $0.32 \pm 0.38$  и  $-0.01 \pm 0.18$ ). Распределение эксцесса означает, что данные имеют тенденцию распределяться вокруг медианы в разном направлении ( $0.56 \pm 1.04$  и  $-0.91 \pm 0.62$ ).

Для сравнения мы использовали морфологическую картину русского осетра, которая в определённой степени имеет схожесть с веслоносом, поданным С.Б. Подушки (1988). У самок осетра удельный вес лимфоцитов колебался обратно пропорционально с нейтрофилами, как и у веслоноса, что наглядно прослеживается в 1-й группе. Следует отметить, что количество моноцитов было на порядок больше, а эозинофилов – в 3 раза больше, чем у самок осетра, что подтверждается рядом исследователей (Грушко, 2009; Иванова, 1983; Подушка, 1999). Но, безусловно, необходимо дополнительно исследовать дифференциальное количество лейкоцитов для разного возраста веслоноса в разное время нереста.

Таким образом, распределение компонентов лейкоцитов незначительно отличалось в зависимости от возрастного состава. Результаты показали, что у молодых самок более высокая скорость смещения ядер, чем у старшего возраста, что указывает на низкие характеристики лейкоцитов.

### Выводы

Гематологические исследования показали, что все исследуемые самки веслоноса были в удовлетворительном физиологическом состоянии, значительных различий показателей концентрации гемоглобина и сывороточного белка в крови не выявлено. Кровь, полученная от самок веслоноса, имела высокие значения показателей гемоглобина, что свидетельствует о хорошей адаптации рыб к новым условиям содержания и об их значительной выносливости. Установлено, что самки веслоноса в прудовых условиях Астраханской области достигли половой зрелости позже, выход икры также оказался меньше по сравнению с рыбами из естественного ареала обитания в Северной Америке и рыбами, акклиматизированными в Краснодарском крае.

*Финансирование.* Работа выполнена за счет стипендии М.А. Элнакиба в рамках совместной программы по договору о подготовке специалистов высшей квалификации (№ EGY – 6203/17) между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляева Е.С., Козлов А.В., Ермолаев Г.Н., Мальдов Д.Г. 1997. Сравнение активности ферментов пищеварительного тракта белуги и веслоноса // Первый конгресс ихтиологов России. Тезисы докладов, Астрахань, сентябрь 1997 г. М.: Изд-во ВНИРО. 212 с.
- Грушко М.П. 2009. Особенности гемопоэза у воibly // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 1 с.
- Демкина Н.В., Паюсова А.Н., Целикова Т.Н. 1977. Полиморфизм белков сыворотки крови у веслоноса // Первый конгресс ихтиологов России. Тезисы докладов, Астрахань, сентябрь 1997 г. М.: Изд-во ВНИРО. 353 с.
- Иванова Н.Т. 1983. Атлас клеток крови рыб: Сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб // Легкая и пищевая промышленность. М.: Легкая и пищевая промышленность. 80 с.
- Козлов В.И. 1998. Справочник фермера-рыбовода. М.: Изд-во ВНИРО. С. 261-267.
- Мельченков Е.А. 1992. Опыт прижизненного получения зрелых половых продуктов веслоноса // Корма и кормление ценных объектов аквакультуры. М.: Изд-во ВНИИПРХ. Т. 67. С. 52-56.
- Мельченков Е.А., Канидьева Т.А. 2015. Результаты исследований в области акклиматизации и рыбохозяйственного освоения перспективных объектов аквакультуры // Труды ВНИРО. 153 с.
- Подушка С.Б. 1988. Вариабельность числа жучек у русского осетра (*Acipenser gueldenstaedti* Brandt) реки Дона // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. № 4. С. 52-57.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: «Пищевая промышленность». 376 с.
- Сенникова В.Д., Докучаева С.И., Сазанов В.Б. 2014. Биохимические и гематологические показатели крови девяти- и одиннадцатилетков веслоноса, выращенных в прудовых хозяйствах Беларуси // Republican Daughter Unitary Enterprise «Fish Industry Institute» of the Republican Unitary Enterprise «Scientific and Practical Center of The Belarus National Academy of Sciences on animal husbandry». 129 с.
- Элнакиб М.А., Васильева Л.М., Судакова Н.В., Анохина А.З. 2022. Современное состояние аквакультуры веслоноса, ограничения и перспективы развития в мире и России: краткий обзор // Рыбоводство и рыбное хозяйство. Т. 183. № 1. С. 69-79.
- Элнакиб М.А., Судакова Н.В., Васильева Л.М., Сакетова Г.Ш. 2021. Результаты исследования рыбоводно-биологических гематологических показателей самок веслоноса *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792), созревших в прудовых условиях Астраханской области // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 4. С. 69-79.
- Ahmed I., Reshi Q.M., Fazio F. 2020. The Influence of the Endogenous and Exogenous Factors on Hematological Parameters in Different Fish Species: A Review // Aquaculture International. Vol. 28. Pp. 869-899.
- Bullis R.A. 1993. Clinical Pathology of Temperate Freshwater and Estuarine Fishes // Fish Medicine. Philadelphia: WB Sanders Co. Pp. 232-239.
- Elnakeeb M.A., Vasilyeva L.M., Sudakova N.V. 2021. Evaluate the Metabolism Responses of Cultured Paddlefish, *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792), towards Some Ecological Stressors in the Volga-Caspian Basin Using Fuzzy Modeling Control // Advances in Animal and Veterinary Sciences. Vol. 9. No. 6. Pp. 773-786.
- Fazio F. 2019. Fish Hematology Analysis as an Important Tool of Aquaculture: A Review // Aquaculture. Vol. 500. Pp. 237-242.
- Mims S.D., Shelton W.L., Wynne F.S., Onders R.J. 2000. Production of Paddlefish // Southern Regional Aquaculture Center. 6 p.
- Petrie - Hanson L., Peterman A.E. 2005. American Paddlefish Leukocytes Demonstrate Mammalian - Like Cytochemical Staining Characteristics in Lymphoid Tissues // Journal of Fish Biology. Vol. 66. No. 4. Pp. 1101-1115.
- Priborsky J., Velisek J. 2018. A Review of Three Commonly Used Fish Anesthetics // Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. Vol. 26. No. 4. P. 417-442.

**ГИДРОХИМИЯ И ГИДРОБИОЛОГИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ  
ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

© 2022 г. Е.Ю. Афолина, Н.А. Ташлыкова, Л.В. Замана, А.П. Куклин,  
В.А. Абрамова, Л.П. Чечель

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН  
Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, д. 16а. E-mail: kataf@mail.ru*

Поступила в редакцию 13.01.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Водоёмы антропогенного генезиса как особый компонент техногенного ландшафта характеризуются экологическими условиями, отличными от естественных. Это ограниченная площадь водосбора, малая мощность донных отложений, высокое содержание металлов, металлоидов и солей. Объекты наших исследований – разнообразные озёрные образования, сформировавшиеся при разработке месторождений полезных ископаемых в Восточном Забайкалье. В статье по различным в своем образовании и назначении техногенным водоёмам горнопромышленных территорий охарактеризованы химический состав вод, видовое разнообразие и структура сообществ гидробионтов. Водоросли и зоопланктон техногенных водоемов в регионе с аридным климатом изучаются впервые. Исследованные воды имеют разнообразные морфометрические и физико-химические характеристики с широким диапазоном значений pH (2.99-8.80), общей минерализации (85.9-9065 мг/л), рудных и сопутствующих элементов. По химическому составу воды сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные, с разным соотношением магния и кальция. Видовое разнообразие альгофлоры и зоопланктона обследованных водоёмов невысокое (75 таксонов водорослей планктона, 8 таксонов макроводорослей, 63 вида и подвида беспозвоночных планктона), что связано с экстремальностью экологических условий, где видовое богатство является следствием влияния физико-химических условий среды обитания. Определяющими факторами для развития Cryptophyta является микро- и макрокомпонентный состав, общая минерализация, для других групп фитопланктона (Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chrysophyta, Charophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Dynophyta) – содержание гидрокарбонатов. Количественные показатели зоопланктона положительно связаны с концентрацией аммонийного азота (для Crustacea) и отрицательно – с pH (Rotifera).

*Ключевые слова:* месторождение, техногенные водоемы, химический состав вод, фитопланктон, макроводоросли, зоопланктон.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-189-200**

**EDN: JMGUYF**

В процессе хозяйственной деятельности и коренной перестройки природных комплексов формируется техногенный ландшафт, одним из компонентов которого являются созданные и/или образовавшиеся на месте горных выработок искусственные водоемы различного типа (Грищенко, 1999), в мировой литературе известные как «карьерные озера» («pit lake») и «шахтные озера» («mining lake»; Bielańska-Grajner, Gładysz, 2010; Weithoff et al., 2010; Blanchette, Lund, 2016). Несмотря на их широкое распространение, становление, функционирование и перспективы существования этих новообразованных природно-антропогенных систем недостаточно исследованы (Kumar et al., 2009; Goździejewska et al., 2021). Особенно это касается изучения гидробионтов, обитающих в них. Известен ряд работ по биоте карьерных (шахтных) озер Африки (El-Bassat, Taylor, 2007), Европы (Wollmann et al., 2000; Beulker et al., 2003; Nixdorf et al., 2003; Bielańska-Grajner, Gładysz, 2010; Weithoff et al., 2010; Moser, Weisse, 2011; Goździejewska et al., 2021), Америки (Kalin et al., 2001; Ferrari et al., 2015). Изучение водоемов горнопромышленных территорий важно для решения различных экологических проблем (развитие сообществ гидробионтов в сложных геохимических условиях, улучшение качества воды для целей многостороннего использования

человеком и др.; Kumar et al., 2009; Blanchette, Lund, 2016; Skrzypczak et al., 2020; Paulsson, Widerlund, 2021; Ramanchuk et al., 2021; She et al., 2021).

На территории Забайкальского края, где одной из основных отраслей экономики является горнорудная промышленность, техногенные водоемы остаются малоизученными в плане геохимических исследований (Чечель, Замана, 2009; Замана, Чечель, 2015; Замана и др., 2020; Чечель, 2020) и, практически, не исследованными в гидробиологическом аспекте (Афони́на, Афони́н, 2015, 2017; Афони́на, Итигилова, 2012; Куклин, 2014). Комплексные работы по изучению химической и биологической составляющих техногенных водоемов на территории края проведены впервые. Целью настоящей работы является изучение химического состава в различных типах техногенных вод и основных характеристик сообществ гидробионтов для объективной оценки экологического состояния водоемов антропогенного генезиса.

### Материалы и методы

*Характеристика района исследований.* Территория исследованных горнопромышленных объектов Юго-Восточного Забайкалья – Шерловогорского олово-полиметаллического, Спокойнинского вольфрамового, Жипкошинского сурьмяного, Малокулундинского и Орловского редкометалльных месторождений – находится в пределах Онон-Аргунской степи и представляет собой преимущественно степное среднегорье с небольшими участками лесостепных ландшафтов в привершинной части северных склонов. Здесь наблюдается сочетание степных и подтаежных ландшафтов (Солодухина, Помазкова, 2014). Следствием открытой разработки месторождений стало развитие на территориях, непосредственно прилегающих к месторождениям, техногенных ландшафтов, в которых выделяются два типа местности: обнаженный карьерно-отвалный и антропогенных донно-карьерных озер, питание которых осуществляется за счет подземных вод и атмосферных осадков.

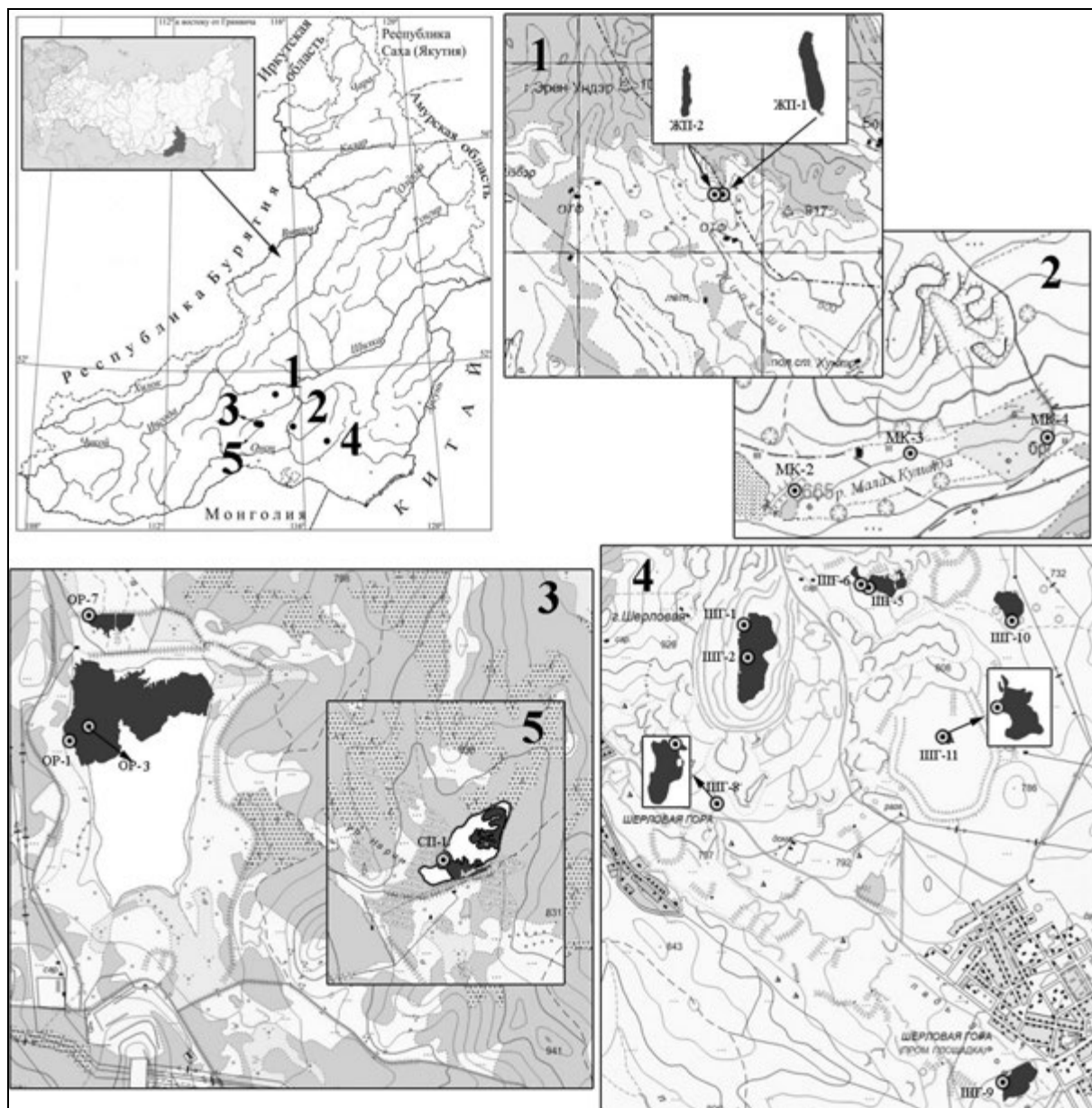
Территория Шерловогорского месторождения находится в пределах одноименного гранитного массива, который характеризуется комплексным оловополиметаллическим оруденением. Месторождение разрабатывалось открытым способом одноименным горно-обогатительным комбинатом (ГОК) до 1995 г. В пределах Орловско-Спокойнинского рудного узла выделяются два рудных поля: Орловское и Спокойнинское. Орловское рудное поле включает одноименное танталовое месторождение. Добыча танталовых руд на Орловском месторождении велась открытым способом. Хвостохранилище Орловского ГОКа, в которое ранее производился сброс хвостов обогащения вольфрамовых и танталовых руд, сейчас заполняется пульпой переработки руд Спокойнинского месторождения. Спокойнинское месторождение относится к грейзеновому вольфрамит-касситеритовому типу. Разработка открытым способом месторождения ведется и в настоящее время. До пуска Орловского ГОКа продукты переработки вольфрамовой руды сбрасывались в собственное хвостохранилище. В Мало-Кулиндинском месторождении по минеральному составу выделяются кварц-микроклиновые и кварц-микроклин-альбитовые пегматиты. Разработка месторождения велась открытым способом Орловским ГОКом до 1999 г. На Жипкошинском месторождении с 2006 по 2018 гг. двумя карьерами добывали сульфидно-сурьмяный концентрат.

Полевые исследования проводились в июне 2021 г. на водоемах горнопромышленных объектов Шерловогорского (семь водоемов), Жипкошинского, Орловского (по два водоема) и Спокойнинского (один водоем) месторождений. В районе Малокулундинского месторождения опробовалась р. Малая Кулинда (приток р. Онон) в двух точках и образованный ею подпрудный водоём. Всего обследовано 14 водных объектов (рис. 1).

Рудный карьер Шерловогорского месторождения является самым глубоким (более 35 м) и обширным по площади (0.143 км<sup>2</sup>). Глубина Орловского хвостохранилища, площадь которого 0.049 км<sup>2</sup>, в центральной части достигала 3.6 м. Хвостохранилище Шерловогорского месторождения самое мелководное, его наибольшая глубина не превышала 0.5 м. Площадь водной поверхности других водоемов варьировала от менее 0.001 км<sup>2</sup> (подпрудное озеро – р. Малая Кулинда и Жипкошинские карьеры) до 0.049 км<sup>2</sup> (подпрудное озеро у пос. Шерловая Гора).

*Сбор и обработка проб.* Отбор гидрохимических и гидробиологических проб осуществлялся в прибрежье (глубина – до 0.5 м), по Шерловогорскому карьеру и Орловскому хвостохранилищу и в

центральной (глубоководной) части водоемов. Химический анализ вод выполнялся в аттестованной лаборатории Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (г. Чита), определение анионов, биогенных компонентов, перманганатной окисляемости осуществлялись общепринятыми методами. Основные катионы и металлы определялись атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре SOLAAR M6. Дополнительно отбирались пробы воды для их последующего анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Химический анализ воды методом ICP-MS проводился в Институте геохимии имени А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) на приборе ELEMENT2.



**Рис. 1.** Схема расположения пунктов опробования техногенных водоёмов рудных месторождений. Условные обозначения: 1 – Жипкошинское (ЖП-1, ЖП-2 – карьерные озера); 2 – Малокулундинское (МК-2 – подпрудное озеро, МК-3 и МК-4 – р. Малая Кулинда); 3 – Орловское (ОР-1, ОР-3 – хвостохранилище, ОР-7 – озеро ниже хвостохранилища), 4 – Шерлогогорское (ШГ-1, ШГ-2 – рудный карьер, ШГ-5, ШГ-6 – пруды, ШГ-8 – озеро под отвалами рудного карьера, ШГ-9 – подпрудное озеро у пос. Шерловая Гора; ШГ-10 – карьерное озеро, ШГ-11 – хвостохранилище), 5 – Спокойнинское (СП-1 – хвостохранилище).



Сбор и анализ проб фито-, зоопланктона и макроводорослей проводился с использованием стандартных методик (Киселев, 1969; Водоросли, 1989; Садчиков, 2003). Пробы фитопланктона отбирались из одного-трех горизонтов (поверхность, глубина прозрачности, дно), пробы зоопланктона – тотально (дно-поверхность) средней сетью Джели (размер ячеек сита 0.064 мм) и процеживанием 100 л воды (интегральная проба) через сеть (ячейка 0.073 мм). В сборах определяли видовой состав и количественные характеристики (численность и биомассу). Биомассу водорослей определяли по объему отдельных клеток или колоний водорослей (Садчиков, 2003), у зоопланктонов – по уравнениям связи длины тела и сырой массы (Ruttner-Kolisko, 1977; Балушкина, Винберг, 1979). Классификация таксонов и синонимы каждой группы водорослей приведены согласно электронной базе AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2019); название видов и таксонов зоопланктона дано в соответствии с современной номенклатурой (WoRMS, 2022). Одновременно с отбором проб проводились определения температуры воды и удельной электрической проводимости (с помощью мультипараметрового анализатора WTW Multi 340I (Германия)), окислительно-восстановительного потенциала и водородного показателя – с помощью анализатора воды «Анион 7051». Глубину измеряли лотом, прозрачность воды – по белому диску Секки.

*Анализ данных.* Математическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010 и STATISTICA 10. Для изучения взаимосвязей структурных характеристик планктона (общее число видов фито- и зоопланктона, число видов в таксономических группах (Cyanobacteria, Bacillariophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Charophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Dynophyta, Rotifera, Copepoda, Cladocera), численность и биомасса всего фито- и зоопланктона и отдельно таксономических групп) и абиотических факторов среды (температура воды, общая минерализация, pH, Eh, макро- и микрокомпонентный состав, перманганатная окисляемость, биогенные элементы) применяли факторный анализ методом главных компонент (РСА). Нормирование данных проводили по делению исходных данных на среднее квадратичное отклонение соответствующих переменных (Шипунов и др., 2014). Абсолютное значение нагрузки выше 0.7 принимали за существенную связь.

### Результаты и их обсуждение

*Физико-химическая характеристика изученных водоемов.* Морфометрические и физико-химические параметры исследованных водоемов существенно различались (табл. 1).

Температура воды в водоемах варьировала от 11.6°C (Спокойнинское хвостохранилище, Жипкошинский карьер) до 24°C (Шерловогорское хвостохранилище). Прозрачность воды в глубоководном рудном карьере составляла 3 м, в Орловском хвостохранилище – 0.6 м.

Воды в Шерловогорском рудном карьере кислые (pH – от 2.99 до 3.14). С увеличением глубины отмечались вариации физико-химических показателей состава вод. В верхнем слое зафиксирован температурный скачок, температура воды снижалась от 15.7°C (на поверхности) до 5°C (у дна). Отмечалось также заметное понижение значений Eh (от 508 до 270 мВ), концентрации растворенного кислорода (от 0.44 до 0 г/л) и, напротив, возрастание минерализации от 3026<sup>1</sup> до 6210 мг/л (с учётом концентраций Al и тяжелых металлов), а также концентраций ионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup> и металлов. Величина pH сохранялась в сильнокислой области вне зависимости от глубины водоема. По химическому составу воды карьера сульфатные магниевые-кальциевые и цинково-магниевые-кальциевые (табл. 1).

Воды Шерловогорского хвостохранилища также характеризовались низкой величиной pH (3.03). Отмечен значительный рост минерализации до 9065 мг/л за счет накопления SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, катионов и металлов. По химическому составу воды сульфатные кальциевые-магниевые (табл. 1). Слабокислые значения pH (5.9 и 6.04) имели воды прудов, находящихся недалеко от рудного карьера. Минерализация в них изменялась от 2839 до 5191 мг/л. Химический тип воды – сульфатный кальциевый-магниевый (табл. 1).

Значительная трансформация физико-химических параметров подземных вод в результате техногенного нарушения геологической среды в процессе отработки Шерловогорского

---

<sup>1</sup> Очень высокая минерализация характерна для кислых водоемов, где идет интенсивное образование сульфатов (Эпова и др., 2018; Еремин, Эпова, 2018).

месторождения выразилась в формировании сильноокислых и кислых сульфатных вод. Воды рудного карьера характеризуются вертикальной стратификацией физико-химических параметров (термо-, окси-, хемоклин), что также отмечается и в других кислых карьерных озерах Башкортостана, Южного Урала (Удачин и др., 2008, 2009), Австрии, Германии (Weithofa et al., 2010; Moser, Weisse, 2011), Канады (Gammons et al., 2009).

**Таблица 1.** Физико-химические параметры техногенных вод горнопромышленных объектов рудных месторождений Восточного Забайкалья.

Параметры*	Точки отбора проб											
	ШГ-1, 2	ШГ-5	ШГ-6	ШГ-8	ШГ-9	ШГ-10	ШГ-11	ОР-1, 3	ОР-7	СП-1	МК-2, 3, 4	ЖП-1, 2
S, км <sup>2</sup>	0.143	0.033	0.006	0.001	0.049	0.036	0.005	0.513	0.025	0.025	12**	0.001
T, °C	5-15.7***	18.2	21.6	18.1	17.6	15.5-16.6	24.0	14.8-17.6	13.0	11.6	13.8-15	11.6-12.0
pH	2.99-3.14	6.04	5.90	8.80	7.82	7.73	3.03	7.77-7.80	7.53	6.77	6.99-7.08	8.27-8.29
Eh, мВ	270-508	265	261	181	170	145	295	142-172	174	190	184-191	211-232
ПО, мг/л	0.50-34.2	0.78	2.25	2.68	2.83	1.32	0.70	2.75-2.98	3.69	18.0	16.7-27.6	0.94
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0	0	0	73.3	211.7	172.6	0	166-167	238	47.1	40.6-45.7	49.3-72.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	2076-3608	1993	3448	210.7	130.9	1496	5879	94.2-96.6	134	9.09	18.4-25.8	52.3-157.9
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	363.1-600	207.2	355.1	41.7	46.9	371.6	607	40.6-42.4	63.9	12.8	10.9-14.5	28.1-44.3
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	159.1-321	224.5	317	30.6	33.2	143.8	494	9.26-9.34	15.7	3.58	3.46-4.42	6.25-10.6
Na <sup>+</sup> , мг/л	23.5-35.1	25	31.4	22.7	34.3	49.4	182.7	34.9-35.4	50.3	3.60	6.01-7.78	3.82-10.9
K <sup>+</sup> , мг/л	4.37-12.1	3.65	6.73	0.39	1.60	4.17	19.1	15.5	7.77	9.89	2.34-5.95	1.3-1.77
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0.62-1.78	5.13	7.77	1.03	19.6	0.82	1.88	9.82	2.25	0.78	1.18-1.71	1.80-2.64
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0.01-0.52	0.11	0.15	0.01	0.15	0.01	0.01	0.20-0.22	0.28	0.01	0.003-0.01	0.01-0.08
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	1.45-1.88	0.21	0.31	<0.1	<0.1	0.54	0.12	0.49-0.56	<0.1	0.59	0.42-0.70	0.10-1.24
Si, мг/л	17.9-31.1	4.36	4.98	0.93	2.02	8.18	18.4	2.7-2.7	4.6	1.70	5.68-6.71	3.68-7.87
P <sub>общ</sub> , мг/л	0.04-0.05	0.05	0.05	0.10	0.11	0.08	0.05	0.06-0.09	0.08	0.38	0.08-0.16	0.20-0.24
Σионов, мг/л	3026-6210	2839	5191	394	508	2249	9065	383-389	529	92	85.9-108	146-333
Al, мг/л	28.6-49.8	8.6	12.6	0.12	0.03	0.03	131	0.08-0.10	0.04	0.24	0.03-0.05	0.02
Mn, мг/л	66.2-184	50.4	155	0.05	0.02	0.07	296	0.64-0.68	0.23	0.03	0-0.01	0.01
Fe, мг/л	23.5-568	0.06	0.10	0.13	0.03	0.04	0.48	0.03-0.05	0.15	0.25	0.10-0.11	0.02
Co, мг/л	0.69-2.01	0.20	1.56	4·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	4·10 <sup>-4</sup>	4.03	5·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	2·3·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
Cu, мг/л	0.95-2.70	0.61	1.17	4·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	8.35	1·10 <sup>-3</sup>	8·10 <sup>-4</sup>	0.01	2·3·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
Zn, мг/л	266-810	294	830	0.10	0.04	0.05	1313	0-0.01	3·10 <sup>-3</sup>	0.01	0.01	3·10 <sup>-3</sup>
As, мг/л	0.01-1.45	2·10 <sup>-3</sup>	4·10 <sup>-3</sup>	0.05	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2·3·10 <sup>-3</sup>	0.68
Cd, мг/л	2.01-3.0	6.31	13.1	9·10 <sup>-4</sup>	6·10 <sup>-4</sup>	8·10 <sup>-4</sup>	38.9	4·5·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-4</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	5·10 <sup>-5</sup> -1·10 <sup>-4</sup>	6·7·10 <sup>-5</sup>
Pb, мг/л	0.14-0.34	0.47	0.66	3·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	9·10 <sup>-4</sup>	1.70	8·10 <sup>-4</sup>	8·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	7·10 <sup>-4</sup> -2·10 <sup>-3</sup>	4·5·10 <sup>-4</sup>
Sb, мг/л	0.78-1.02	0.95	2.49	3.14	1.96	1.94	1.71	0.10-0.17	0.26	0.29	0.81-1.66	4212-6982
ХТВ	SO <sub>4</sub> Mg-Ca****	SO <sub>4</sub> Ca-Mg		HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> Ca-Mg	SO <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> Ca-Mg	SO <sub>4</sub> Mg-Ca	SO <sub>4</sub> Ca-Zn-Mg	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Na-Ca		HCO <sub>3</sub> Mg-Ca	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> Mg-Ca	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> Mg-Ca

**Примечания к таблице 1.** Точки отбора проб представлены на рисунке 1. \*Параметры: S – площадь, T – температура воды, Eh – окислительно-восстановительный потенциал, ПО – перманганатная окисляемость, ХТВ – химический тип воды, \*\* – общая протяженность реки (км), \*\*\* – min-max, \*\*\*\* – в пробе ШГ-2 тип воды SO<sub>4</sub> Zn-Mg-Ca.

Воды остальных обследованных водоемов нейтральные и слабощелочные (pH – 6.04-8.29).

Значения Eh варьировали в пределах от 142 до 232 мВ. Минерализация изменялась от 92 до 2249 мг/л. По химическому составу воды преимущественно сульфатные с разным соотношением магния и кальция (табл. 1).

Воды р. Малая Кулинда ультрапресные и пресные (85.9-108 мг/л) с нейтральными значениями рН (6.99-7.08) и слабой окислительной (переходной) обстановкой (184-191 мВ). Химический состав вод гидрокарбонатно-сульфатный магниевый-кальциевый.

По формам азота наиболее высокое содержание в виде нитратного иона в воде подпрудного озера у пос. Шерловая гора имеет, по-видимому, биогенную природу, тогда как в воде Орловского хвостохранилища источником  $\text{NO}_3^-$  является остаточный азот от взрывчатых веществ в переработанных рудах, как это показано по другим месторождениям региона (Замана и др., 2020). Немного выше фонового содержание неорганического азота в воде одного из Жипкошинских карьеров, но уже в аммонийной форме, переход в которую может быть вызван пониженным значением Eh. Содержание общего фосфора (при содержании выше 0.1 мг/л доминирует органическая форма) повышено в пробах воды Спокойнинского хвостохранилища и Жипкошинских карьеров, причиной могут быть обогащенность руд фосфатными минералами или особенности состава биоты и биотических процессов в этих водоёмах. По содержанию кремния выделяются воды Шерловгорского карьера и хвостохранилища, что обусловлено высокой кислотностью среды, усиливающей выщелачивание силикатных и алюмосиликатных минералов горных пород и препятствующей мобилизации кремния вторичными гидрогенными минералами.

Неблагоприятные для миграции тяжелых металлов условия определяют относительно невысокие их содержания в водах хвостохранилища Орловского ГОКа и озера, расположенного ниже его дамбы. Повышенные концентрации в этих водах были зафиксированы лишь для марганца и железа. Спокойнинское хвостохранилище в течение длительного времени не эксплуатировалось, и воды его пруда характеризовались невысоким содержанием металлов. Относительно низкие концентрации тяжелых металлов в водах, дренирующих Малокулиндинское и Жипкошинское месторождения, определяются их геологическим строением, а также неблагоприятной средой миграции. Одновременно с этим в нейтральных и щелочных водах активно мигрируют и накапливаются такие высокотоксичные элементы, как мышьяк и сурьма, концентрации которых достигают весьма высоких значений в водах двух карьерных озер Жипкошинского месторождения (табл. 1).

Главной отличительной особенностью изученных водных объектов является широкий диапазон значений рН водной среды, определяющий наличие различных по кислотности типов вод (Чечель, Замана, 2009). Кислые воды с аномально высокими концентрациями тяжёлых металлов формируются в результате окисления входящих в состав руд сульфидных минералов при отсутствии или недостаточном для нейтрализации кислотности содержании в рудах или вмещающих породах карбонатных минералов. В противном случае, как это показано по другим полиметаллическим месторождениям Восточного Забайкалья, воды имеют нейтральную или щелочную среду и существенно более низкие концентрации тяжелых металлов (Замана, Чечель, 2015).

*Фитопланктон.* В фитопланктоне обследованных водоемов зарегистрировано 75 таксонов рангом ниже рода из 8 отделов (Chlorophyta – 29 таксонов, Bacillariophyta – 25, Cyanobacteria – 5, Chrysophyta – 4, Cryptophyta, Charophyta, Dinophyta и Euglenophyta – по 3 таксона). Наименьшее число таксонов (2) отмечено в Шерловгорском хвостохранилище, наибольшее (52) – в подпрудном озере у пос. Шерловая Гора. В Шерловгорском рудном карьере водоросли планктона не обнаружены.

В составе фитопланктона преобладали Chlorophyta (8–59%) и Bacillariophyta (14-50%). Зеленые и диатомовые водоросли имели наибольший вес в Шерловгорском и Орловском хвостохранилищах, диатомовые – в Спокойнинском хвостохранилище и подпрудном озере (р. Малая Кулинда). Доминирующий комплекс фитопланктона носил преимущественно хлорофитово-диатомовый характер с некоторой долей участия Chrysophyta и Cryptophyta. В подпрудном озере (р. Малая Кулинда) и Спокойнинском хвостохранилище в составе доминирующего комплекса преобладали Chlorophyta (72-86% общей численности), в Орловском хвостохранилище – Bacillariophyta (15-61%), Chlorophyta (до 20%) и Chrysophyta (14-29%). В водных объектах Шерловгорского месторождения характер доминирующего комплекса диатомово-хлорофитовый при заметном участии криптофитовых (в прудах до 90%) и золотистых (до 30% водорослей).

Биотопический анализ флоры показал, что большего разнообразия достигали планктонные (39%) и факультативно-планктонные (42%) водоросли. Согласно фитогеографическому анализу большая часть водорослей (73%) являются широко распространенными. На некоторую специфику флоры исследуемых водоемов указывают обнаруженные голарктические, арктоальпийские и бореальные виды из Chlorophyta и Chrysophyta. По отношению к минерализации альгофлора представлена пресноводными видами – 88% и эвригалинными видами – 12%. Среди галофилов отмечены *Nitzschia graciliformis* Lange-Bertalot & Simonsen 1978, *Oocystis lacustris* Chodat 1897. Распределение видов по отношению к pH следующее: 61% – индифференты, 39% – алкалофилы. К алкалофилам относится такой массовый и часто встречаемый вид, как *Fragilaria radians* (Kützing) D.M. Williams & Round 1987.

Численность и биомасса водорослей изменялись в широких пределах, от 1.84 (пруд Шерловогорского месторождения) до 1627.68 тыс. кл./л (Орловское хвостохранилище) и от 0.58 (Шерловогорское хвостохранилище) до 1691.08 мг/м<sup>3</sup> (озеро под отвалами рудного карьера) соответственно (табл. 2).

**Таблица 2.** Некоторые показатели фито- и зоопланктона техногенных вод горнопромышленных объектов рудных месторождений Восточного Забайкалья.

Фитопланктон										
П*	ШГ-5	ШГ-6	ШГ-8	ШГ-9	ШГ-10	ШГ-11	ОР-3	ОР-7	ОР-8	МК-2
n**	4	4	37	52	9	2	22	29	13	8
N***	1.84	863.63	244.15	1502.55	141	1.93	236.25-356.81	1627.68	132.63	14.20
B****	1.21	109	133.76	1619.08	374.91	0.58	339.76-553.88	727.95	20.24	7.43
Зоопланктон										
П	ШГ-8	ШГ-9	ШГ-10	ОР-3	ОР-7	ОР-8	МК-2	ЖП-2*****		
n	5	12	9	32	17	12	3	2		
N	12.05	57.63	219.02	5.89-141.60	601.44	228.21	58.80	–		
B	19.79	46.26	380.37	16.48-297.47	774.34	6156.6	1447.28	–		

**Примечания к таблице 2.** Точки отбора проб представлены на рисунке 1. \*П – показатель, \*\*n – число видов, \*\*\*N – численность, тыс. кл./л (для фитопланктона) и тыс. экз./м<sup>3</sup> (для зоопланктона), \*\*\*\*B – биомасса, мг/м<sup>3</sup>, \*\*\*\*\* – качественная проба.

Количественно в фитопланктоне преобладали зеленые и диатомовые водоросли, формируя соответственно до 90% и 85% общей численности и до 70% и 92% общей биомассы. Массовыми являлись 7 видов: у золотистых – *Dinobryon sertularia* Ehrenberg 1834, у диатомовых – *Fragilaria crotonensis* Kitton 1869, *F. radians*, *Lindavia comta* (Kützing) Nakov, Gullory, Julius, Theriot & Alverson 2015, у криптофитовых – *Cryptomonas erosa* Ehrenberg 1832, *C. caudata* Massart 1920, у зеленых – *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová in Fott 1969, *Schroederia setigera* (Schröder) Lemmermann 1898. В состав фитопланктона водоёмов Шерловогорского месторождения наибольший вклад вносили виды рода *Cryptomonas* (до 80% по численности и биомассы). В водах водоемов Орловского месторождения преобладали диатомовые (*F. crotonensis* и *F. radians* (48-62%)) и золотистые (*D. sertularia* (до 30%)) водоросли. В Спокойнинском хвостохранилище – *S. setigera* (80%).

Водоемы с кислой средой (pH ≤ 3) являются экстремальным местообитанием для гидробионтов (Seckbach et al., 2007). Наши исследования показали отсутствие водорослей в кислых условиях. В альгофлоре закисленных рудными дренажными водами озерах Германии (Seckbach et al., 2007; Röncke et al., 2010; Weithoff et al., 2010) отмечено присутствие около 10 видов при доминировании стенобионтных наннофлагеллят *Ochromonas* (Chrysophyta), *Chlamydomonas* (Chlorophyta), *Gymnodinium* (Dunophyta). В фитопланктоне обследованных нами водоемах при pH в диапазоне 3-6 отмечено 2-4 вида водорослей из отделов Bacillariophyta, Cryptophyta и Chlorophyta. Наши данные

подтверждают, что видовое богатство водорослей в неагрессивных и нейтрально-слабощелочных водах (рН 7-8.8) значительно выше, чем в водоемах с низким значением рН (Lessmann et al., 2000; Wollmann et al., 2000; Nixdorf et al., 2001; Романов и др., 2011; Копырина, 2016). В водных объектах Шерловгорского и Орловского ГОКов в составе водорослей планктона число отмеченных систематических групп изменялось от 5 до 7, а количество таксонов рангом ниже рода было максимальным.

Среди нитчатых водорослей зарегистрировано 8 таксонов из 4 отделов (Chlorophyta (4 вида), Ochrophyta (2) и Cyanobacteria, Charophyta (по 1 виду)). Макроводоросли в водоемах образовывали одно, реже двух видовые скопления. Встречались нитчатки на мелководных участках, среди водной растительности (водные объекты Шерловгорского месторождения), а также в виде спутанных нитей в метафитоне (карьеры Жипкошинского месторождения). В Шерловгорском рудном карьере нитчатые водоросли не обнаружены.

Обнаруженные виды макроводорослей широко встречаются и в естественных водоемах Забайкальского края. Так, *Cladophora fracta* (O.F. Müller ex Vahl) Kützing 1843 развивается преимущественно в водоемах со сформированной водной экосистемой, в то время как *Ulothrix tenerrima* (Kützing) Kützing 1843 более тяготеет к нарушенным участкам или молодым водоемам. Для представителей рода *Tribonema* характерно присутствие в водоемах и водотоках, контактирующих с почвой (Куклин, 2014).

**Зоопланктон.** В зоопланктоне отмечено 63 таксона рангом ниже рода, среди них Rotifera – 40 видов и подвидов, Cladocera – 13 видов и Copepoda – 10. Общее количество таксонов изменялось от 2-3 (Жипкошинский карьер и подпрудное озеро – р. Малая Кулинда) до 32 (Орловское хвостохранилище). В рудном карьере, хвостохранилище и прудах Шерловгорского месторождения беспозвоночные планктона не обнаружены.

В зоогеографическом отношении виды зоопланктона имеют широкое распространение (космополиты – 52%, голаркты – 35%, палеаркты – 15%). Такие виды, как *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783, *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832, *Lecane luna* (Müller, 1776), *Cephalodella gibba* Ehrenberg, 1830, *Trichocerca longiseta* (Schrank, 1802) населяют все биогеографические зоны; виды *Mytilina mucronata* (Müller, 1773), *Kellicottia longispina* Kellicott, 1879, *Daphnia galeata* G.O. Sars, 1864, *Alona guttata* G.O. Sars, 1862 представляют только Голарктическую зону, копеподы *Cyclops vicinus* Uljanin, 1875 и *Neurodiaptomus incongruens* (Poppe, 1888) – палеарктическую.

По биотопической приуроченности преобладают эврибионтные виды (35%), литоральные и фитофильные виды составляют соответственно 24 и 22%. К планктонным видам отнесено 16%, к бентическим – 3%. Среди эврибионтов встречались *C. gibba*, *L. luna*, *E. dilatata*, *Brachionus angularis* Gosse, 1851, *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Coronatella rectangula* (G.O. Sars, 1862), *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851). К представителям литорально-фитофильной фауны относятся коловратки родов *Euchlanis*, *Trichocerca*, *Mytilina*, *Notommata*, *Testudinella* и рачки семейства Chydoridae.

Количественные показатели зоопланктона варьировали в широких пределах. Общая численность изменялась от 5.89 до 601.44 тыс. экз./м<sup>3</sup>, общая биомасса – от 16.48 до 1447.28 мг/м<sup>3</sup>. Низкая плотность гидробионтов отмечалась в центральной части Орловского хвостохранилища, наибольшая – в водоеме ниже Орловского хвостохранилища (табл. 2).

Структура зоопланктонного сообщества в водоемах различалась. В Орловском хвостохранилище и в подпрудном водоеме (р. Малая Кулинда) доминировали Cyclopoida в стадии науплиусов и копеподитов. В хвостохранилище на долю копепод (*N. incongruens*, *E. serrulatus*, *C. vicinus*, *Diacyclops bicuspidatus* (Claus, 1857)) суммарно приходилось 58-88% всей численности и 94-98% всей биомассы зоопланктона. В речной запруде основу численности (90%) и биомассы (88%) формировал *Cyclops furcifer* Claus, 1857. В Спокойнинском хвостохранилище основу численности и биомассы формировали Crustacea (*C. vicinus* – 53% и 13% и *Daphnia curvirostris* Eylmann, 1887 – 22% и 85%). В зоопланктоне подпрудного озера (пос. Шерловая Гора) по численности преобладали веслоногие (*E. serrulatus* – 38%) и коловратки (*Polyarthra longiremis* (Carlin, 1943) – 35% и *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) – 17%), по биомассе – Rotifera (69%) и Cladocera (20%). В водоеме, расположенном ниже Орловского хвостохранилища, при численном преобладании Rotifera (*B. angularis* – 76% и *K. quadrata* – 9%), основу биомассы формировали науплии Cyclopoida (49%). В водоемах





показателями Cryptophyta, отрицательные – числом видов, численностью и биомассой Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chrysophyta, Charophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Dynophyta и Rotifera. Вторая компонента ( $F_2 = 21.13\%$ ) характеризуется положительной связью с содержанием органического вещества (аммонийный азот, общий фосфор, перманганатная окисляемость – в порядке убывания факторной нагрузки), определяя количественные показатели ракообразных. Третья компонента ( $F_3 = 11.96$ ) тесно связана с концентрацией Fe, которая влияет на численность всего зоопланктона и коловраток.

Согласно полученным данным, в техногенных водоемах наибольшую чувствительность к повышенному содержанию микроэлементов проявили криптофитовые водоросли, а в природных озерах (Габышев, Габышева, 2020; Шаров, 2020) более требовательными к концентрации химических элементов являются диатомеи и зеленые водоросли. Наши результаты подтверждают (Kalin et al., 2001; Moser and Weisse 2011; Ferrari et al. 2015; Pocięcha et al., 2018; Goździejewska et al., 2021), что гидрохимические параметры (рН, высокая концентрация сульфатов, гидрокарбонатов, металлов, биогенных элементов) потенциально могут влиять на разнообразие и количественное развитие коловраток и ракообразных.

### Выводы

Техногенные водоемы рудных месторождений Юго-Восточного Забайкалья значительно различаются по морфометрическим, физико-химическим и гидробиологическим показателям. Отличительной особенностью водоемов является широкий диапазон значений рН среды и суммы ионов воды. По химическому составу воды преимущественно сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные, с разным соотношением магния и кальция. Гидробиологическая часть настоящего исследования позволила определить видовой состав, количественные показатели и комплекс доминирующих видов альгофлоры и зоопланктона. Анализ влияния экологических факторов на уровень развития водорослей и беспозвоночных планктона показал, что наибольшее влияние на них оказывают гидрохимические факторы, определяющие общую минерализацию воды, микро- и макрокомпонентный состав, органическое вещество и рН.

*Финансирование.* Работа выполнена в рамках темы Госзадания фундаментальных научных исследований ИПРЭК СО РАН (№ госрегистрации 121032200070-2, «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов»).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афонина Е.Ю., Афонин А.В. 2015. Фауна рыб и планктонных беспозвоночных некоторых притоков верхнего течения реки Онон (Забайкальский край) // Амурский зоологический журнал. Т. VII. № 1. С. 3-13.
- Афонина Е.Ю., Афонин А.В. 2017. Оценка состояния гидробиоценозов малых водотоков бассейна р. Аргунь // Теоретическая и прикладная экология. № 3. С. 57-65.
- Афонина Е.Ю., Итигилова М.Ц. 2012. Качественный состав коловраток и низших ракообразных бассейна р. Шилка // Записки ЗО РГО. № 131. С. 40-51.
- Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. 1979. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озёр / Ред. Г.Г. Винберг. Л.: Наука. С. 58-79.
- Водоросли. Справочник. 1989 / Ред. С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк. Киев: Наукова думка. 608 с.
- Габышев В.А., Габышева О.И. 2020. К изучению влияния тяжелых металлов на развитие фитопланктона озер г. Якутска и окрестностей // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. Т. 25. № 4. С. 81-91.
- Грищенко Н.С. 1999. Классификация антропогенных водоемов по уровню технического обустройства (технизированности). М.: Мелиорация и водное хозяйство. 61 с.
- Замана Л.В., Абрамова В.А., Хвостова Т.Е., Чечель Л.П. 2020. Соединения азота в водах зоны техногенеза рудных месторождений Восточного Забайкалья // Горный журнал. № 3. С. 31-35.
- Замана Л.В., Чечель Л.П. 2015. Гидрогеохимические особенности зоны техногенеза полиметаллических месторождений Юго-Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. № 1. С. 33-38.
- Киселев И.А. 1969. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука. Т. 1. 658 с.
- Копырина Л.И. 2016. Структура и видовой состав водорослей техногенных водоемов (бассейн р. Анабар, Северо-Западная Якутия) // Современные проблемы науки и образования. № 4. С. 207-213.
- Куклин А.П. 2014. Макроскопические водоросли в водоемах Сохондинского заповедника и охранный зоне //

- Сборник трудов Сохондинского заповедника исследования в охранной зоне. Чита: Экспресс-издательство. С. 31-43.
- Романов Р.Е., Ермолаева Н.Е., Бортникова С.Б. 2011. Оценка влияния тяжёлых металлов на планктон в техногенном водоеме // Химия в интересах устойчивого развития. № 19. С. 350-312.
- Садчиков А.П. 2003. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Университет и школа. 157 с.
- Солодухина М.А., Помазкова Н.В. 2014. Ландшафты Шерловогорского рудного района Забайкальского края // Успехи современного естествознания. № 9. С. 70-78.
- Удачин В.Н., Аминов П.Г., Дерягин В.В. 2008. Химический состав техногенных вод в карьерных озерах Башкортостана // Башкирский химический журнал. Т. 15. № 4. С. 64-69.
- Удачин В.Н., Аминов П.Г., Лонцакова Г.Ф., Дерягин В.В. 2009. Распределение физико-химических параметров в карьерных озерах Блявинского и Яман-Касинского колчеданных месторождений (Южный Урал) // Вестник ОГУ. № 5. С. 167-172.
- Чечель Л.П. 2020. Формирование гидрогеохимических полей вольфрамтовых месторождений Восточного Забайкалья под влиянием природных и антропогенных факторов. Дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. Чита: ИПРЭК СО РАН. 180 с.
- Чечель Л.П., Замана Л.В. 2009. Основные геохимические типы дренажных вод вольфрамтовых месторождений Юго-Восточного Забайкалья // Вестник ТГУ. № 329. С. 271-277.
- Шаров А.Н. 2020. Фитопланктон холодноводных озерных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов. Дисс. ... докт. биол. наук. СПб.: НИЦЭБ РАН. 368 с.
- Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А., Коробейников А.И., Назарова С.А., Петров С.В., Суфиянов В.Г. 2014. Наглядная статистика, используем R! М.: ДМК Пресс. 298 с.
- Эпова Е.С., Еремин О.В. 2018. Сравнительный анализ процессов выщелачивания кварц-топаз-вольфрамитовых рудоносных пород и олово-полиметаллических сульфидных руд Шерловогорского месторождения // Материалы третьей Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Чита, 20-25 августа 2018 года. Улан-Удэ Ж изд-во БНЦ СО РАН. С. 391-393.
- Эпова Е.С., Русаль О.С., Еремин О.В. 2018. Редкоземельные элементы в зоне гипергенеза Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения (Забайкальский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов Т. 329. №. 8. С. 88-95.
- Beulker C., Lessmann D., Nixdorf B. 2003. Aspects of Phytoplankton Succession and Spatial Distribution in an Acidic Mining Lake (Plessa 117, Germany) // Acta Oecologica. Vol. 24. Pp. 25-31.
- Bielańska-Grajner I., Gładysz A. 2010. Planktonic Rotifers in Mining Lakes in the Silesian Upland: Relationship to Environmental Parameters // Limnologia. Vol. 40. Pp. 67-72.
- Blanchette M.L., Lund M.A. 2016. Pit Lakes are a Global Legacy of Mining: An Integrated Approach to Achieving Sustainable Ecosystems and Value for Communities // Current Opinion in Environmental Sustainability. Vol. 23. Pp. 28-34.
- Deneke R. 2000. Review of Rotifers and Crustaceans in Highly Acidic Environments of pH Values  $\leq 3$  // Hydrobiologia. Vol. 433. Pp. 167-172.
- El-Bassat R.A., Taylor W.D. 2007. The zooplankton community of Lake Abo Zaabal, a newly-formed mining lake in Cairo, Egypt // African Journal of Aquatic Science. Vol. 32(2). Pp. 1-8.
- Ferrari C.R., de Azevedo H., Wisniewski M.J.S., Rodgher S., Roque C.V., Nascimento M.R.L. 2015. An Overview of an Acidic Uranium Mine Pit Lake (Caldas, Brazil): Composition of the Zooplankton Community and Limnochemical Aspects // Mine Water Environment. Vol. 34. Pp. 343-351.
- Gammons C.H., Harris L.N., Castro J.M., Cott P.A., Hanna B.W. 2009. Creating Lakes from Open Pit Mines: Processes and Considerations – with Emphasis on Northern Environments // Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2826. 106 p. [Электронный ресурс [http://digitalcommons.mtech.edu/geol\\_engr/2](http://digitalcommons.mtech.edu/geol_engr/2) (дата обращения 13.04.2022)]
- Goździejewska A.M., Koszałka J., Tandyrak R., Grochowska J., Parszuto K. 2021. Functional Responses of Zooplankton Communities to Depth, Trophic Status, and Ion Content in Mine Pit Lakes // Hydrobiologia. Vol. 848. P. 2699-2719.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2022. AlgaeBase [Электронный ресурс <http://www.algaebase.org> (дата обращения 20.11.2021)].
- Kalin M., Cao C., Smith M.P., Olaveson M.M. 2001. Development of the Phytoplankton Community in a Pit-Lake in Relation to Water Quality Changes // Water Research. Vol. 35 (13). Pp. 3215-3225.
- Kumar R.N., McCullough C.D., Lund M. A. 2009. Water Resources in Australian Mine Pit Lakes // Mining Technology. Vol. 118. Pp. 205-211.
- Leppänen J.J. 2018. An Overview of Cladoceran Studies Conducted in Mine Water Impacted Lakes // International Aquatic Research. Vol. 10. P. 207-221.
- Lessmann D., Fyson A., Nixdorf B. 2000. Phytoplankton of the Extremely Acidic Mining Lakes of Lusatia (Germany)

- with  $\text{pH} \leq 3$  // *Hydrobiologia*. Vol. 433. Pp. 123-128.
- Moser M., Weisse T. 2011. The Most Acidified Austrian Lake in Comparison to a Neutralized Mining Lake // *Limnologia*. Vol. 41. P. 303-315.
- Nixdorf B., Fyson A., Krumbeck H. 2001. Review: Plant Life in Extremely Acidic Waters // *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 46. Pp. 203-211.
- Nixdorf B., Krumbeck H., Jander J., Beulker C. 2003. Comparison of bacterial and phytoplankton productivity in extremely acidic mining lakes and eutrophic hard water lakes // *Acta Oecologica*. Vol. 24. Pp. 281-288.
- Paulsson O., Widerlund A. 2021. Algal Nutrient Limitation and Metal Uptake Experiment in the Åkerberg Pit Lake, Northern Sweden // *Applied Geochemistry*. Vol. 125. P. 104829.
- Pociecha A., Bielańska-Grajner I., Szarek-Gwiazda E., Wilk-Woźniak E., Kuciel H., Walusiak E. 2018. Rotifer Diversity in the Acidic Pyrite Mine Pit Lakes in the Sudety Mountains (Poland) // *Mine Water Environment*. Vol. 37. Pp. 518-527.
- Ramanchuk A.I., Makarevich T.A., Khomitch S., Machowski R., Rzetala M.A., Rzetala M. 2021. Methodological Approaches to Phytomediation of Productive Processes in Chalk Quarry Reservoirs of BELARUS // *Ecological Indicators*. Vol. 129. P. 107995.
- Rönicke H., Schultze M., Neumann V., Nitsche C., Tittel J. 2010. Changes of the Plankton Community Composition during Chemical Neutralization of the Bockwitz Pit Lake // *Limnologia*. Vol. 40. P. 191-198.
- Ruttner-Kolisko A. 1977. Suggestions for Biomass Calculation of Plankton Rotifers // *Archiv für Hydrobiologie Beihefte: Ergebnisse der Limnologie*. Bd. 8. Pp. 71-76.
- Seckbach J., Chapman D.J., Garbary D.J., Oren A., Reisser W. 2007. Algae and Cyanobacteria under Environmental Extremes: Final Comments // *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology* / Ed. J. Seckbach. Vol. 11. Dordrecht: Springer. Pp. 783-786.
- She Z., Pan X., Wang J., Shao R., Wang G., Wang S., Yue Z. 2021. Vertical Environmental Gradient Drives Prokaryotic Microbial Community Assembly and Species Coexistence in a Stratified Acid Mine Drainage Lake // *Water Research*. Vol. 206. P. 117739.
- Skrzypczak A.R., Napiórkowska-Krzebietke A. 2020. Identification of Hydrochemical and Hydrobiological Properties of Mine Waters for Use in Aquaculture // *Aquaculture Reports*. Vol. 18. P. 100460.
- Weithoff G., Moser M., Kamjunke N., Gaedke U., Weisse T. 2010. Lake Morphometry and Wind Exposure May Shape the Plankton Community Structure in Acidic Mining Lakes // *Limnologia*. Vol. 40. Pp. 161-166.
- Wollmann K., Deneke R., Nixdorf B., Packroff G. 2000. Dynamics of Planktonic Food Webs in Three Mining Lakes Across a pH Gradient (pH 2-4) // *Hydrobiologia*. Vol. 433. Pp. 3-14.
- WoRMS: World Register of Marine Species. 2022 [Электронный ресурс <http://www.marinespecies.org> (дата обращения 13.04.2022)].

АЛЬГОЦЕНОЗЫ ПЛАНКТОНА И БЕНТОСА  
ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ РЕК-ПРИТОКОВ ОЗЕРА ЭЛЬТОН

© 2022 г. О.Г. Горохова, Т.Д. Зинченко

Институт экологии Волжского бассейна РАН

Россия, 445003, г. Тольятти, Комзина, 10. E-mail: o.gorokhova@yandex.ru, zinchenko.tdz@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.05.2022. После доработки 01.07.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

В статье представлены результаты многолетних (2008 и 2012-2019 гг.) исследований фитопланктона и фитобентоса 7 высокоминерализованных рек Приэльтона. В альгофлоре выявлено 214 таксонов водорослей из 7 систематических отделов, из которых Bacillariophyta являются ведущими по видовому богатству и количественному развитию. Дана сравнительная характеристика таксономической структуры и видового разнообразия альгоценозов в градиенте минерализации. Выявлены структурообразующие виды – широко распространенные эвригалитные таксоны: *Chaetoceros muelleri* Lemm., *Conticribra weissflogii* (Grun.) S.-Suchoples et Williams, *Nitzschia closterium* Ehr., *Halamphora coffeaeformis* (Ag.) Meresch., *Achnanthes brevipes* Ag., (Bacillariophyta), а также Цианопрокaryota – *Phormidium breve* (Kütz. ex Gom.) Anagn. & Kom., *Oscillatoria limosa* Ag. ex Gom., *O. tenuis* Ag. ex Gom., *Geitlerinema amphibium* (Ag. ex Gom.) Anagn. В условиях критической для рек солёности доминируют виды рода *Dunaliella* (Chlorophyta). Показано, что численность и биомасса водорослей в альгоценозах меняются в больших пределах и не зависят от уровня минерализации. Удельное видовое богатство характеризуется слабой отрицательной корреляционной связью с минерализацией в мезогалинных реках и значимой ( $R = -0.50$ ,  $R = -0.52$ ,  $p < 0.05$ ) в полигалинных. Сезонная динамика альгоценозов планктона выражена в изменении видовой структуры, численности и биомассы.

*Ключевые слова:* солёные реки, оз. Эльтон, альгоценозы.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-201-210**

**EDN: JMKBDF**

Водоросли – один из основных структурно-функциональных компонентов уникальной экосистемы солёных рек-притоков оз. Эльтон. Интерес к гидроэкосистеме Приэльтона обусловлен ее особым положением и функциональной ролью в аридной зоне Юга России. Реки характеризуются выраженным градиентом солёности и динамичностью гидролого-гидрохимического режима. В эвтрофных высокопродуктивных солёных реках поддерживаются специфические условия для жизни эвригалитных сообществ организмов. Особенностью сообществ водорослей является ведущая роль Bacillariophyta, Цианопрокaryota и Chlorophyta в планктоне и бентосе мезо- и полигалинных рек, высокое количественное развитие и синхронность изменения численности, биомассы и числа видов этих групп водорослей в сезонной динамике (Горохова, Зинченко, 2014, 2016; Gorokhova, Zinchenko, 2021). Наблюдается формирование пелаго-бентосного сообщества, что обусловлено высокой минерализацией вод в сочетании с мелководностью, низкими скоростями течения и высокой трофностью вод. В гипергалинных устьевых участках рек отмечены структурные изменения альгоценозов, которые проявляются в формировании олигодоминантных сообществ.

К настоящему времени опубликованы сведения об автотрофных микроорганизмах устьев рек (Yatsenko-Stepanova et al., 2015), морфологическом разнообразии в циано-бактериальных матах и первичной продукции (Канапацкий и др., 2018). Методически организованные исследования водорослей планктона и бентоса рек, впадающих в озеро Эльтон, были проведены в рамках многолетних (2006-2019 гг.) комплексных исследований (Горохова, Зинченко, 2014, 2016; Gorokhova, Zinchenko, 2021; Зинченко и др., 2021; Генкал и др., 2021; Генкал, Горохова, 2021, 2022).

Цель публикации – характеристика альгоценозов планктона и бентоса солёных рек бассейна оз. Эльтон по результатам многолетних исследований.

### Материалы и методы исследований

Пробы водорослей планктона (n-138) собраны в августе 2008, 2012-2014, 2017-2019 гг., в мае 2012, 2014-2015 гг. на участках среднего течения и в устьях рек Хара, Ланцуг, Чернавка, Солянка, Большая Саморода, Малая Сморогда и Карантинка; в верхнем течение пробы брали при наличии стока. Изучение сезонной динамики альгоценозов планктона проведено в мезогалинной р. Б. Саморода в 2014 г. (с апреля по август) и полигалинной р. Чернавка в 2018 г. (с мая по сентябрь) с отбором проб в устьевых участках 1-2 раза в месяц. В реках с глубиной до 50 см пробы брали с поверхности воды; на глубоких участках батометром Руттнера. Пробы объемом 0.5 л фиксировали йодно-формалиновым фиксатором, фильтровали через мембранные фильтры «Владипор» № 10 с помощью вакуумного насоса (Водоросли, 1989; Karlson et al., 2010). Пробы фитобентоса и перифитона (n-51 и n-18 соответственно) собирали в мае и августе 2012-2014 гг. и в августе 2017 г. в рр. Хара, Ланцуг, Чернавка, Солянка, Б. Саморода. В полигалинных пересыхающих реках М. Сморогда и Карантинка пробы брали в устьях. Фитобентос собирали на песчаных и илистых субстратах в прибрежье, в местах с пленками водорослей и в цианобактериальных матах. Исследовали обрастания погруженных частей тростника и макроводорослей (*Enteromorpha intestinalis* (L.) Nees). Пробы брали в местах с глубинами 0.1-0.6 м, цилиндрической трубкой диаметром 5 см. Для изучения количественного состава из бентосной пробы брали штемпель-пипеткой (объемом 0.1 см<sup>3</sup>) аликвоту в которой вели подсчет водорослей (Gorokhova, Zinchenko, 2021). Для характеристики обрастаний количественный учет вели с помощью смыва водорослей с определенной площади субстрата. Определение, подсчет, измерение водорослей проведены в счетной камере типа «Учинская» объемом 0.01 мл. Определение Bacillariophyta выполнено на постоянных препаратах (Методика изучения ..., 1975). К доминирующим отнесены виды, численность/биомасса которых составляла не менее 10% от общей величины, к субдоминантам – виды с численностью/биомассой от 5 до 10%. Биомасса вычислена счетно-объемным методом (Водоросли, 1989). Для характеристики сообществ использовали такие показатели, как общее видовое богатство (число видов в альгофлоре), удельное видовое богатство (число видов в пробе), численность (млн. кл/л), биомассу (мг/л), индексы видового разнообразия Шеннона (H), выравненности Пиелу (E). Под частотой доминирования понимали количество проб, в которых вид доминирует (в % от общего для реки числа проб). Частоту встречаемости вида оценивали по количеству проб, в которых он отмечен (в % от общего числа проб для реки). Для анализа связи параметров альгоценозов с условиями среды рассчитан коэффициент корреляции Пирсона ( $p < 0.05$ ); для оценки степени сходства сообществ – коэффициент общности Сёренсена-Чекановского. Статистическая обработка данных проведена с использованием таблиц Microsoft Excel, кластеризация для построения дендрограммы – в программе Statistica 7.

### Результаты и обсуждение

*Таксономический состав и структура альгофлоры.* В альгофлоре соленых рек мы выявили 214 таксонов водорослей из 7 систематических отделов (рис. 1). Преобладают Bacillariophyta – 64% от общего списка видов, составляя в отдельных реках от 23 (М. Сморогда) до 73-74% (Б. Саморода, Ланцуг) альгофлоры. В таксономическом отношении диатомовые водоросли – одна из основных групп планктона рек. Их значимая роль в соленых реках сопоставима с долей в альгофлоре континентальных минерализованных водоемов (Clavero et al., 2000; Yatsenko-Stepanova et al., 2015; Taukulis, John, 2006).

Виды Cyanoprokaryota и Chlorophyta (рис. 1) составляют 25% альгофлоры рек Приэльтонья. Видовое богатство этих групп связано с толерантностью целого ряда их представителей к условиям повышенной минерализации. Например, Chlorophyta представлены фитофлагеллятами из родов *Dunaliella*, *Tetraselmis*, *Asteromonas*, способными выдерживать значительные концентрации солей, Cyanoprokaryota – видами родов *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Geitlerinema*, распространенными в минерализованных водах.

Эвгленовые водоросли в реках составляют 7% видового состава. В отличие от пресных водоемов, где условия развития для этой группы обычно благоприятны, в высокоминерализованных реках Euglenophyta, вероятно, наиболее чувствительны к воздействию фактора солености. Криптофитовые и динофитовые водоросли формируют в сумме около 6% состава, выделяясь относительным

разнообразием в планктоне солоноватых рр. Ланцуг, Хара, Б. Саморода. Большим видовым богатством отличался фитопланктон мезогалинных биотопически разнообразных рек Хара, Б. Саморода, Ланцуг.

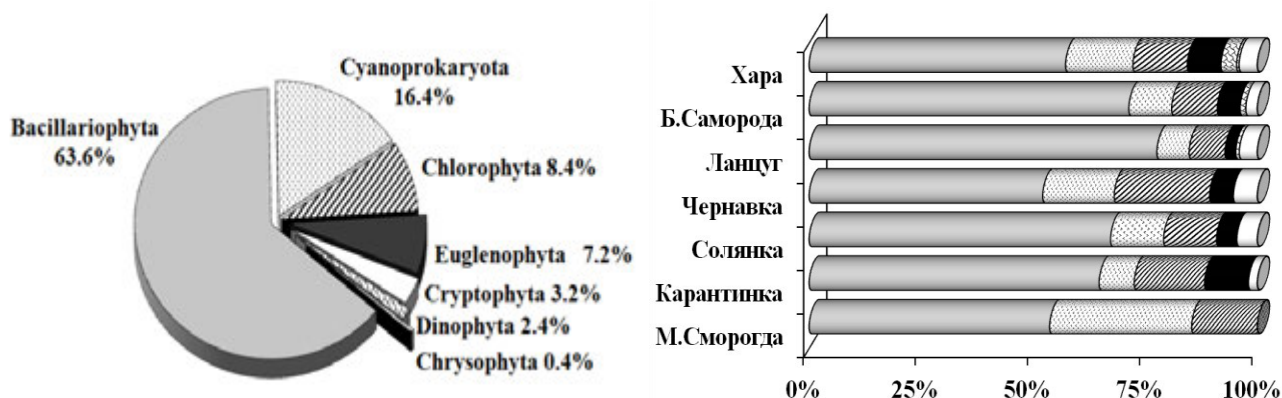


Рис. 1. Соотношение таксономических групп водорослей в альгофлоре.

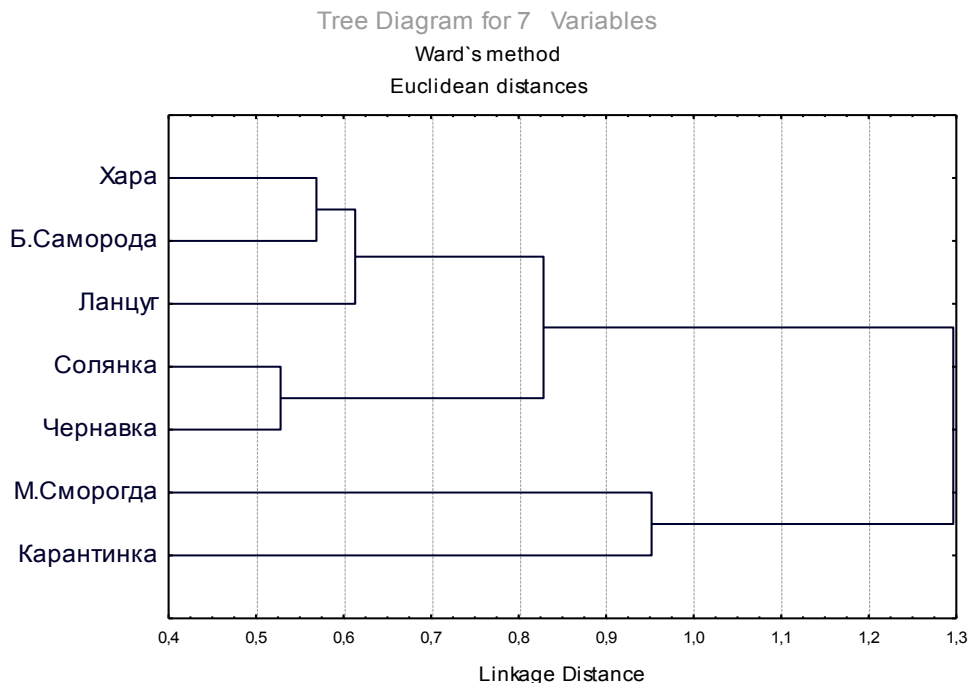
Соотношение числа видов разных отделов в альгофлоре планктона, фитобентоса и эпифитона различно. Эпифитон в основном диатомовый: в его составе 80% видов – Bacillariophyta. В фитобентосе доля Bacillariophyta и Суанопрокариота – 51 и 33% соответственно, а в планктоне их соотношение 45 и 20%. Наибольшим разнообразием состава на уровне крупных таксономических категорий отличается структура планктонных сообществ, где отмечены фитофлагелляты отделов Dinophyta, Cryptophyta, Euglenophyta и Chlorophyta. При этом соотношение ведущих по видовому богатству отделов неизменно, что свидетельствует о целостности ядра альгофлоры всех биотопов: оно формируется диатомовыми и цианопрокарриотами со значимым участием зеленых водорослей.

В географическом отношении большинство зарегистрированных нами видов широко распространено в планктоне и бентосе континентальных минерализованных водоемов. В альгофлоре отмечено большое число видов-индикаторов разной степени галолюбности (90%). Среди них преобладают мезогалофы, олигогалофы-галофилы и олигогалофы-индифференты; во всех реках отмечены эвригалинные виды водорослей с высокой толерантностью к уровню минерализации, а также полигалофы. Виды, предпочитающие условия повышенной солености и эвригалофы являются структурообразующими в альгоценозах эльтонских рек. По частоте встречаемости, например, выделяются диатомовые: *Chaetoceros muelleri*, *Conticribra weissflogii*, *Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal, *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Nitzschia closterium*, *N. frustulum* (Kütz.) Grun., *Halamphora coffeaeformis*, *Tabularia fasciculata* (Ag.) Will. et Round, *Achnanthes brevipes*, *Fallacia pygmaea* (Kütz.) Stickle et Mann, *Navicula capitatoradiata* Germain ex Gasse, *N. lanceolata* (Ag.) Ehr., *N. salinarum* Grun., *N. trivialis* L.-Bert., *Tryblionella hungarica* (Grun.) Frenguelli, а также цианопрокарриоты – *Phormidium breve*, *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*, *Geitlerinema amphibium*. Нередко эти же виды доминируют в альгоценозах по численности и биомассе (Горохова, Зинченко, 2016; Gorokhova, Zinchenko, 2021; Генкал, Горохова, 2021).

Сравнение полных списков видов водорослей позволило оценить степень сходства состава альгофлоры рек. В полигалинных рр. Солянка и Чернавка оно наибольшее: на уровне 63% (рис. 2). Кластеризация данных показала также близость таксономического состава в мезогалинных рр. Хара, Б.Саморода, Ланцуг – они группируются на уровне сходства альгофлор 58-60% (рис. 2). К отдельному кластеру принадлежит альгофлора рр. М. Сморогда и Карантинка, минерализация воды которых нередко достигает экстремальных величин (до 70-180 г/л). Видовой состав водорослей в них наименее разнообразен, альгоценозы имеют черты структурного упрощения – снижение видового богатства, малое удельное количество видов, низкое видовое разнообразие (табл.), минимальное сходство альгофлор (33 %).

*Количественная структура альгоценозов.* Многочисленные исследования водорослей континентальных водоемов свидетельствуют об уменьшении видового богатства и упрощении

структуры альгофлоры в высокоминерализованных водах при массовом развитии отдельных видов (Федоров, 1979; Сафонова, Ермолаев, 1983; Алимов, 2010). В реках Приэльтонья в условиях динамичности факторов воздействия и экстремально высокой солености, альгоценозы характеризуются существенной изменчивостью численности, биомассы, удельного числа видов и, соответственно, показателей видового разнообразия (табл.).



**Рис. 2.** Дендрограмма таксономического сходства альгофлоры рек по методу Эвклидова расстояния.

Так, альгоценозы полигалинных рек Чернавка и Солянка при высокой, но достаточно стабильной минерализации (25-32 г/л) имеют значительный диапазон величин численности и биомассы, видового разнообразия и высокую выравненность обилия видов (табл.). В мезогалинных реках Хара и Ланцуг минерализация составляет 6-41 г/л, достигая экстремальных значений при ветровом нагоне соленых вод из оз. Эльтон – 80 г/л. В планктоне устьевой зоны отмечается обеднение видового состава и формирование олигодоминантных сообществ с вкладом одного-двух видов в суммарную численность до 85-99%. В мезогалинной реке Б. Саморода, где минерализация менялась в пределах 8-15 г/л, в альгоценозах отмечено высокое видовое разнообразие и эквитабельность (табл.).

В фитобентосе рек также наблюдается проявление структурно-функциональной адаптации альгоценозов к изменению минерализации. Микрофитобентос характеризуется большой изменчивостью численности и биомассы (табл.) и состоит из локальных микросообществ, формирующих высокое видовое разнообразие для реки в целом, что обеспечивает адаптационные возможности в меняющихся экологических условиях. В полигалинных реках и устьях мезогалинных рек высокое разнообразие, численность и биомасса отмечены также в цианобактериальных сообществах, хорошо приспособленных к колебаниям солености и поддерживающих благоприятную среду, несмотря на жесткое влияние внешних условий.

Установлено, что при экстремальных величинах минерализации доминирование в автотрофных сообществах соленых рек Приэльтонья переходит к планктонным водорослям Chlorophyta (*Dunaliella*, пикопланктон).

Анализ связи количественных показателей альгоценозов с минерализацией показал, что для удельного видового богатства характерна слабая отрицательная корреляционная связь с минерализацией в мезогалинных реках и значимая связь ( $R = -0.50$ ,  $R = -0.52$ ,  $p < 0.05$ ) в полигалинных. Зависимость величин численности и биомассы от уровня минерализации недостоверна (рис. 3).

*Сезонная динамика альгоценозов планктона.* Сезонная динамика фитопланктона обусловлена природной спецификой Приэльтонья. Она заключается в резко выраженной аридности климата и



остром недостатке влаги с одной стороны, а с другой – с естественно высоким уровнем минерализации и стабильно высокими температурами воды и воздуха. Это условия, при которых видовой состав характеризуется особенностями ответного отклика на внешние факторы воздействия. Многолетними исследованиями динамики фитопланктона рек в устьевых участках мезогалинной реки Б. Саморода и полигалинной реки Чернавка показано изменение видовой структуры, численности и биомассы, обусловленные как диапазоном минерализации, так и сукцессией видов разных отделов водорослей.

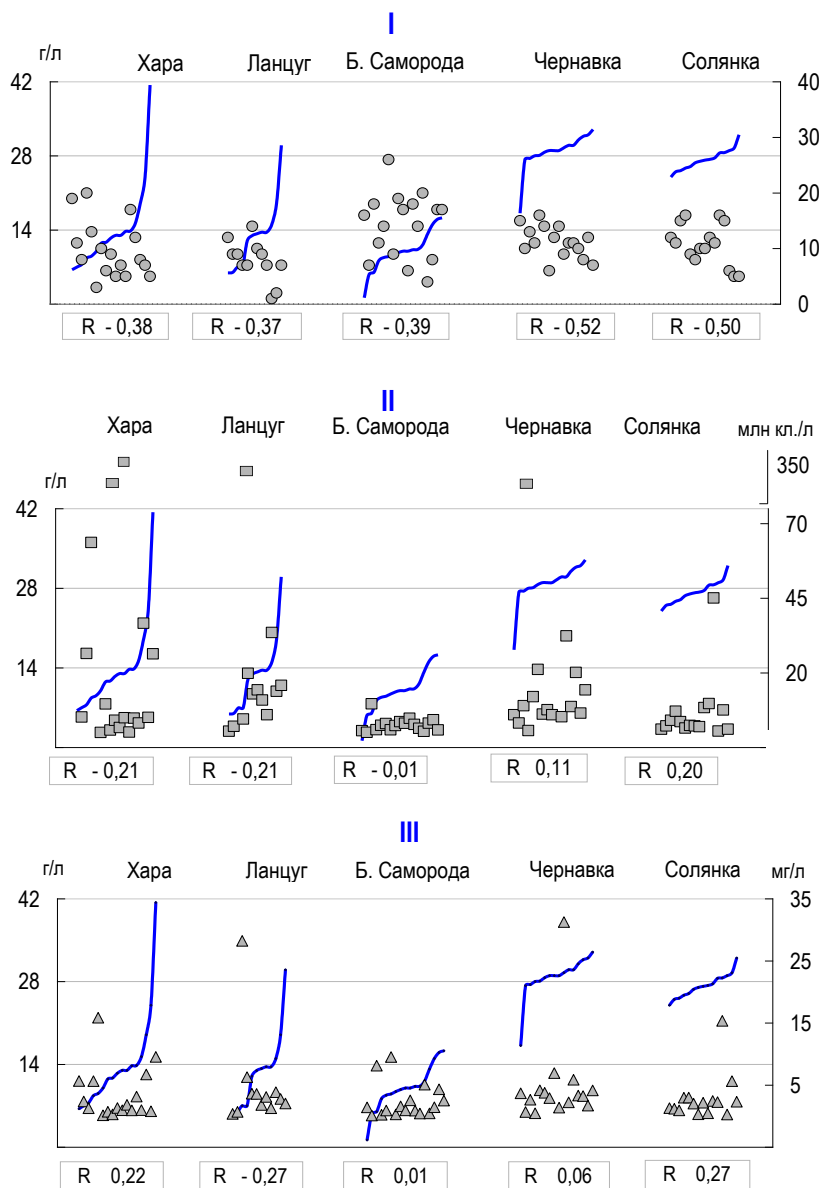
**Таблица.** Основные структурные показатели сообществ фитопланктона, фитобентоса и эпифитона рек Приэльтонья

Река		Хара	Б. Саморода	Ланцуг	Солянка	Чернавка	М. Смо-рогда	Каран-тинка
Фито-планктон	N*	0.2-161	0.9-64	0.5-240	0.5-45	0.7-163	7.9-165	0.2-13
	B**	0.1-27.2	0.4-28.2	0.2-3.6	0.3-26.7	0.5-31.3	2.7-122.5	0.1-2.9
Фито-бентос	N	488-109834	865-417472	292-92834	599-61904	686-96834	64-106	99-347
	B	0.1-523.6	0.3-567.6	0.1-233.7	0.1-136.8	0.1-154.9	0.1-15.5	0.1-89.4
Пери-фитон	N	4-2284	6-3176	131-1014	199-1159	0.5-1064	–*****	–
	B	0.01-0.9	0.01-0.6	0.04-0.3	0.02-0.5	0.01-0.4	–	–
Фито-планктон	УЧВ***	3-31	4-26	1-19	5-20	8-16	3-6	3-14
	H <sub>N</sub> ****	0.1-2.4	1.1-3.8	0.1-3.1	1.5-3.2	1.1-2.9	0.3-1.3	0.8-1.2
Фито-бентос	УЧВ	6-14	3-27	2-16	4-15	3-25	1-8	1-10
	H <sub>N</sub>	0.2-2.3	0.5-3.1	0.1-2.8	0.8-3.1	0.9-3.2	0.1-1.9	0.1-1.8
Пери-фитон	УЧВ	2-21	1-17	5-16	5-16	1-18	–	–
	H <sub>N</sub>	0.1-1.9	0.1-1.5	0.1-1.9	0.1-1.6	0.1-1.5	–	–

**Примечания к таблице:** N\* – численность фитопланктона в млн. кл./л, фитобентоса и перифитона – в млн. кл/м<sup>2</sup>, B\*\* – биомасса фитопланктона в мг/л, фитобентоса и перифитона – в г/м<sup>2</sup>, УЧВ\*\*\* – удельное число видов (число видов в пробе), H<sub>N</sub>\*\*\*\* – индекс Шеннона по численности, прочерк\*\*\*\*\* – нет данных.

В период наблюдений отмечено несколько подъёмов численности и биомассы (рис. 4). В мелководных эвтрофных реках Приэльтонья световые и трофические условия благоприятны для развития водорослей, кроме того, реки рано прогреваются весной. К началу отбора проб в апреле-мае температура воды составляет уже не менее 10-12°C. Первый весенний пик численности, наиболее высокий и продолжительный, обусловлен в основном доминированием Bacillariophyta (рис. 4), что характерно для речного планктона. В реке Б. Саморода заметная численность Cyanoprokaryota в это время (рис. 4) связана с поступлением в планктон мелководного устья колониальных (нитчатых) форм этого отдела при ветровом волнении. В июне наблюдается снижение количества фитопланктона (рис. 4), что, помимо выедания зоопланктоном, обусловлено сменой весеннего комплекса диатомовых водорослей в ходе сезонной сукцессии. Так, в реке Б. Саморода дальнейшее резкое снижение численности обусловлено выпадением из планктона весеннего доминанта *Conticribra weissflogii*, а в Чернавке после июньского пика численности *Chaetoceros muelleri* наступает резкий спад развития водорослей (рис. 4). В планктоне р. Чернавка с июня по август доминирует вид *Nitzschia closterium*, а подъем биомассы в июле-начале августа в р. Б. Саморода (рис. 4) обусловлен лишь присутствием крупноклеточных факультативно-планктонных видов родов *Surirella*, *Pleurosigma*, *Campylodiscus*. В августе-сентябре в реках отмечены подъемы в развитии других групп водорослей. В реке Б. Саморода осенью наблюдалось развитие видов отдела Cryptophyta, что может быть связано с повышенной концентрацией органических веществ в воде при отмирании водной растительности и поступлением их с водосбора. В р. Чернавка галобные виды

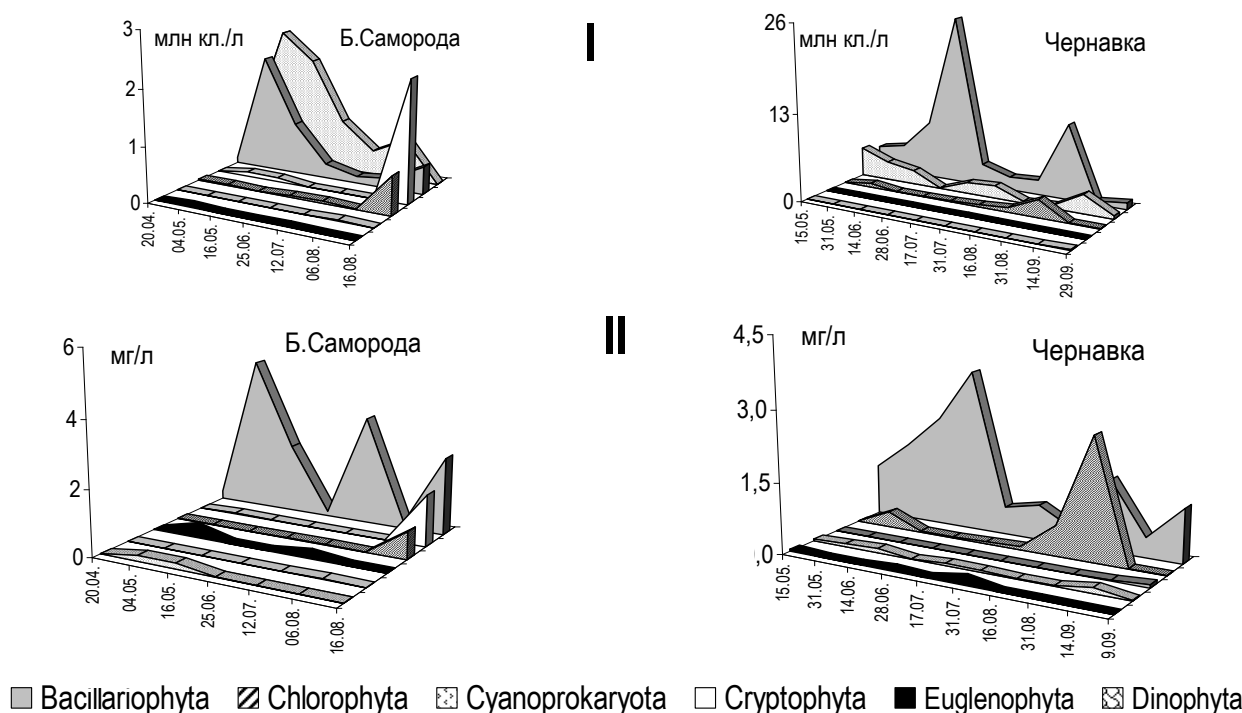
рода *Dunaliella*, *Tetraselmis* из отдела Chlorophyta в середине сентября составляют более 60% суммарной биомассы (рис. 4), что связано с максимальной за сезон величиной солености воды (33 г/л).



**Рис. 3.** Распределение числа видов (I), численности (II) и биомассы (III) фитопланктона в градиенте минерализации в мезогалинных реках Хара, Ланцуг, Б. Саморода и в полигалинных реках Чернавка и Солянка (R – коэффициент корреляции).

*Особенности пелаго-бентосных альгоценозов в реках.* Виды бентоса и обрастаний присутствуют в толще воды с апреля по август наряду с планктонными формами (рис. 5). Так, в планктоне среднего течения р. Б. Саморода «факультативный планктон» составляет от 7 до 64% суммарного обилия водорослей, а в устьевом участке – от 22 до 97%. Характерно, что подъемы и спады развития этой группы водорослей происходят одновременно с планктонными формами (рис. 5). Раннелетнее снижение количества водорослей всех групп в планктоне обусловлено, вероятно, выеданием их зоопланктоном, биомасса которого в реках Приэльтонья сопоставима с таковой в солоноватых континентальных водоёмах (Лазарева и др., 2013). Удельное видовое богатство фитопланктона обычно выше на заросших участках среднего течения реки ( $13 \pm 5$  видов и внутривидовых таксонов) в сравнении с устьем ( $10 \pm 4$ ), где соленость в период исследований достигала 20 г/л.

Видовое разнообразие планктоценозов в среднем течении реки Б. Саморода выше ( $H_N = 2.2-3.0$ ), чем в устье ( $H_N = 1.1-2.3$ ). Величины же численности и биомассы альгоценозов устьевой части (0.61-5.10 млн. кл./л и 0.16-5.11 мг/л), превышают таковые в среднем участке реки в 3.6 и 1.6 раз соответственно (0.09-1.43 млн кл./л и 0.09-3.19 мг/л). В сезонной динамике альгоценозов планктона отмечается синхронность изменения численности, биомассы, удельного числа видов и биоразнообразия всех групп водорослей (рис. 5), включая донные и перифитонные формы. Формированию такого единого пелаго-бентосного сообщества способствуют условия повышенной плотности соленых вод в сочетании с мелководностью и невысокими скоростями течения.



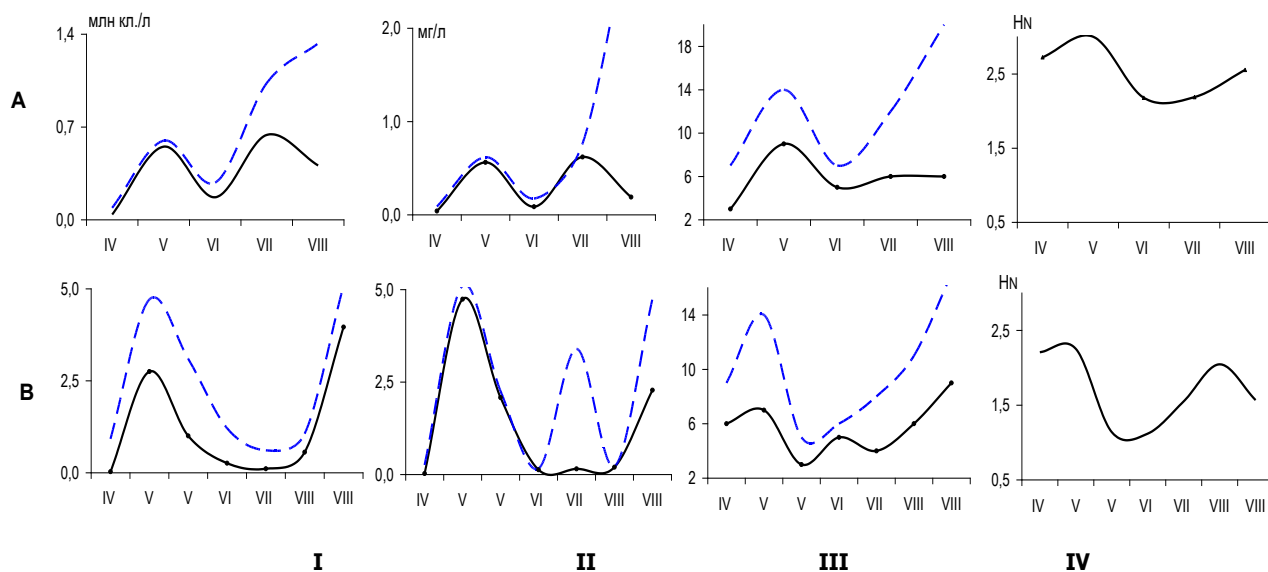
**Рис. 4.** Сезонные изменения численности (I) и биомассы (II) отделов водорослей в планктоне устьевых участков мезогалинной (Б. Саморода) и полигалинной (Чернавка) рек.

**Состав массовых видов в структуре альгоценозов.** В структуре альгоценозов планктона и перифитона рек количественное развитие определяют в основном Bacillariophyta. В донных ценозах, кроме диатомового фитобентоса, отмечено развитие сообществ Cyanoprokaryota+Bacillariophyta, а также цанобактериальных пленок и матов, что особенно характерно для устьевых участков рек.

В **фитопланктоне** преобладают типично планктонные формы водорослей: *Chaetoceros muelleri*, *Nitzschia closterium*, *Conticribra weissflogii*, *Thalassiosira pseudonana*, *Cyclotella meneghiniana*. В то же время характерной существенной роль видов бентоса и обрастаний в формировании структуры планктоценозов. Например, из представителей бентоса и эпифитона высокую численность в толще воды имеют: *Tabularia fasciculata*, *Halamphora coffeaeformis*, *Nitzschia frustulum*, *Achnanthes brevipes*, *Fallacia pygmaea*, *Navicula capitatoradiata*, *N. lanceolata*, *N. salinarum*, *N. trivialis* и некоторые другие.

Массовые виды планктона отличаются в реках частотой встречаемости и характером доминирования. Например, вид *Nitzschia closterium* в полигалинных рр. Чернавка и Солянка доминирует более чем в 35% проб, тогда как в мезогалинных рр. Хара, Ланцуг, Б. Саморода этот вид является субдоминантом в 20-35% проб. Вид *Cyclotella meneghiniana* не отмечен нами в полигалинных реках, а в мезогалинных является массовым. Вид *Chaetoceros muelleri* доминирует в альгоценозах планктона большинства исследованных рек, за исключением рр. Б. Саморода и Солянка, где он отмечен единично. Эвригалоб *C. muelleri*, а также *Thalassiosira pseudonana* относятся к видам, формирующим монодоминантные сообщества при солёности 7-30 г/л. Доля их в суммарной численности фитопланктона может достигать 99%, а максимум их численности отмечен в разные

годы в рр. Хара, Ланцуг, Чернавка.



**Рис. 5.** Динамика численности (I), биомассы (II), удельного числа видов (III) и индекса видового разнообразия Шеннона (IV) в альгоценозах планктона среднего течения (А) и устьевом участке (В) реки Б. Саморода. Условные обозначения: сплошная линия – планктонные виды водорослей, пунктир – прочие виды (Горохова, Зинченко, 2016).

Следует отметить, что экологическая особенность водотоков аридной зоны заключается в естественно высоком уровне минерализации и пространственно-временной динамике её величин при остром недостатке влаги. Условия, которые влияют на развитие прикрепленных водорослей, характеризуются, кроме того, периодами обводнения и обсыхания, высокой инсоляцией на фоне малых глубин и прозрачности воды до дна, а также стабильно высокими температурами воды и воздуха. Основной компонент сообществ фитобентоса при таких воздействиях – виды, способные к осморегуляции (Водоросли, 1989; Clavero et al., 2000; Taukulis, John, 2006; Prieto-Barajas et al., 2018). Из Bacillariophyta это большинство доминирующих форм, определяющих структуру альгоценозов: *Fragilaria fasciculata*, *Halamphora coffeaeformis*, *Fallacia pygmaea*, *Navicula salinarum*, *Achnanthes brevipes*. Из Cyanoprokaryota в бентосе рек Приэльтона преобладают: *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *L. fragilis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, а также виды факультативные термофилы, развивающиеся, например, в термальных источниках – *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*, *Phormidium acuminatum* (Gomont) Anagnostidis & Komárek и ряд других. Анализ изменений, происходящих в альгоценозах в зависимости от уровня солености, показал, что многие массовые виды диатомовых водорослей развиваются в реках Приэльтона в диапазоне минерализации от 5 до 41 г/л (рис. 2), а цианопрокариот – от 5 до 70 г/л и более. Многие из этих видов широко распространены и адаптированы к условиям солоноватых континентальных и морских вод (Clavero et al., 2000; Underwood, Provot, 2000).

### Заключение

Проведенные исследования показали, что альгофлора минерализованных рек бассейна оз. Эльтон достаточно разнообразна и представлена 214 видами и внутривидовыми таксонами из 7 систематических отделов. Таксономическое богатство определяют Bacillariophyta (136 таксонов рангом ниже рода), что обусловлено пластичностью группы в целом по отношению к различным экологическим факторам среды.

Анализ многолетней динамики численности, биомассы, удельного числа видов и биотических индексов показал, что их величины варьируют в широких пределах и не имеют однозначной зависимости от уровня минерализации. Это соответствует установленным ранее закономерностям обеднения (при воздействии экстремальных факторов) видового состава организмов высших

трофических уровней по сравнению с низшими трофическими уровнями, когда число видов фитопланктона практически не имеет четкой зависимости от степени солености. В то же время структурные особенности альгоценозов выражаются в снижении видового разнообразия при формировании монодоминантных сообществ в водотоках со значительным градиентом минерализации. Альгоценозы исследованных рек в целом разнообразны, высокопродуктивны и адаптированы к экстремальным условиям. Их структурно-функциональной особенностью является формирование пелаго-бентического комплекса, включающего в себя как типично планктонные, так и донные формы. Сезонная динамика альгоценозов характеризуется синхронностью изменения численности, биомассы и удельного числа видов всех групп водорослей, включая планктонные и бентосно-перифитонные формы.

Полученные данные согласуются с общебиологическими закономерностями, в соответствии с которыми влияние минерализации проявляется в экологическом подборе видов, адаптированных к экстремальным условиям, а количественное развитие демонстрирует сочетание комплекса факторов, воздействующих на отклик сообщества, включая природно-климатические и абиотические изменения условий среды.

*Финансирование.* Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации» (АААА–А17-117112040040-3), а также при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-04-00135, «Функциональные особенности организации структуры планктонных и донных сообществ речных экосистем на примере соленых рек бассейна гипергалинного оз. Эльтон»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимов А.Ф. 2010. Биологическое разнообразие и структура сообществ организмов // Биология внутренних вод. № 3. С. 3-10.
- Водоросли. 1989. Справочник / Ред. С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк. Киев: Наукова думка. 608 с.
- Горохова О.Г., Зинченко Т.Д. 2014. Фитопланктон высокоминерализованных рек Приэльтона // Известия Самарского Научного Центра РАН. Т. 16. № 5 (5). С. 1715-1721.
- Горохова О.Г., Зинченко Т.Д. 2016. Разнообразие и структура сообществ фитопланктона высокоминерализованных рек бассейна озера Эльтон // Вода: химия и экология. № 11. С. 58-65.
- Генкал С.И., Горохова О.Г. 2021. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) рек, впадающих в озеро Эльтон // Ботанический журнал. Т. 106. № 4. С. 315-323.
- Генкал С.И., Горохова О.Г. 2022. Новые данные по морфологии некоторых широко распространенных и редких пennisнатных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) // Новости систематики низших растений. № 56 (1). С. 9-18.
- Генкал С.И., Горохова О.Г., Гололобова М.А. 2021. Новые данные по морфологии *Achnanthes brevipes* (Bacillariophyta) // Новости систематики низших растений № 55 (2). С. 307-314.
- Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Попченко Т.В., Шитиков В.К., Гусаков В.И., Болотов С.Э., Лазарева В.И., Селиванова Е.А., Балкин А.С., Плотников А.О. 2021. Функциональные особенности организации структуры планктонных и донных сообществ высокоминерализованных рек бассейна гипергалинного озера Эльтон (Россия) // Экосистемы: экология и динамика. Т. 5. № 1. С. 5-73.
- Канапацкий Т.А., Самылина О.С., Кузнецова А.И. 2018. Первичная продукция фототрофных сообществ солоноводных рек Приэльтона (Волгоградская область) // Доклады Башкирского университета. Т. 3. № 4. С. 416-421.
- Лазарева В.И., Гусаков В.А., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. 2013. Зоопланктон солёных рек аридной зоны юга России (бассейн оз. Эльтон) // Зоологический журнал. Т. 92. № 8. С. 882-892.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М.: Наука. 239 с.
- Сафонова Т.А., Ермолаев В.И. 1983. Водоросли водоемов системы озера Чаны. Новосибирск. 153 с.
- Федоров В.Д. 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: изд-во МГУ. 167 с.
- Clavero E., Hernández-Mariné M., Grimalt J.O., Garcia-Pichel F. 2000. Salinity Tolerance of Diatoms from Thalassic Hypersaline Environments // Phycology. Vol. 36. No. 6. Pp. 1021-1034.
- Gorokhova O.G., Zinchenko T.D. 2021. Communities of Benthic Algae of Salt Rivers in the Basin of Lake Elton: Taxonomic and Quantitative Structure // Biology Bulletin (Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk Seriya Biologicheskaya). Vol. 48. No. 10. Pp. 138-146.
- Karlson B., Cusak C., Bresnan E. 2010. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis.

IOC Manuals and Guides No. 55. Paris, UNESCO. 110 p.

- Prieto-Barajas C.M., Valencia-Cantero E., Santoyo G.* 2018. Microbial Mat Ecosystems: Structure types, Functional Diversity, and Biotechnological Application // *Electronic Journal of Biotechnology*. Vol. 31. Pp. 48-56.
- Taukulis F.E., John J.* 2006. Diatom Communities in Lakes and Streams of Varying Salinity from South-West Western Australia: Distribution and Predictability // *Journal of the Royal Society of Western Australia*. Vol. 89. Pp. 17-25.
- Underwood G., Provot L.* 2000. Determining the Environmental Preferences of four Estuarine Epipelagic Diatom Taxa: Growth across a Range of Salinity, Nitrate and Ammonium Conditions // *European Journal of Phycology*. Vol. 35. Is. 2. Pp. 173-182.
- Yatsenko-Stepanova T.N., Ignatenko M.E., Nemtseva N.V., Gorokhova O.G.* 2015. Autotrophic Microorganisms in River Outfalls of Lake Elton // *Arid Ecosystems*. Vol. 5. No. 2. Pp. 83-87. [*Яценко-Степанова Т.Н., Игнатенко М.Е., Немцева Н.В., Горохова О.Г.* 2015. Автотрофные микроорганизмы устьевых участков водотоков системы озера Эльтон // *Аридные экосистемы*. Т. 21. № 2 (63). С. 47-54.]

ISSN 1993-3916

**ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2022. Т. 28. № 4 (93)**

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 31 августа 2022 г.



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ЖМК

Формат 60x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>

Объем 21 п.л.

Тираж 200 экз.

Заказ №

Тиражировано в типографии ИП Гаджиева С.С.  
367025, Махачкала, ул. Юсупова, 47  
RIZO-PRESS, Тел. 8(8722) 68-40-21



**Распространяется  
только по подписке**

**Индекс 39775 (интернет каталог «Пресса России»)**

<https://www.ppressa-rf.ru/>

**Подписка на газеты и журналы на 2022 год Почта России**

Оформить подписку на журнал «Аридные экосистемы» можно только онлайн. Цена подписки на издание за минимальный подписной период — **816.70** руб. Стоимость за весь период (4 номера) — **3397.4 Р.** 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.