
**СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ И
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

УДК 504.455

**ПРИРОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА ПОБЕРЕЖЬЕ
ВОДОХРАНИЛИЩА АРШАНЬ-ЗЕЛЬМЕНЬ**

© 2025 г. С.С. Уланова* **, Н.Л. Федорова*, О.Г. Бембеева*,
В.Е. Джамбинов*, Л.П. Четырев**

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

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

Поступила в редакцию 12.01.2025. После доработки 10.02.2025. Принята к публикации 01.03.2025.

На территории Республики Калмыкия водохранилища были созданы в 1930-1950-е годы. С течением времени изменились их гидрологический режим, качество вод, использование, окружающие их ландшафты. Однако до сих пор отсутствуют конкретные исследования, показывающие изменение качества вод и прилегающих к водохранилищам территорий, обусловленные их созданием и эксплуатацией. Отсутствуют исследования по изучению современного состояния природных комплексов на побережьях водохранилищ и по оценке произошедших трансформаций различных компонентов экосистем (растительности, почв, рельефа, биоты). Поэтому цель данной работы – охарактеризовать современное состояние природных комплексов на побережье водохранилища Аршань-Зельмень. В задачи исследований входило выявить и охарактеризовать современное состояние и изменение во времени различных показателей водного объекта: площади водного зеркала, минерализации, особенностей структурной организации и функционирования экотонных систем на побережье водохранилища по результатам мониторинга 2001-2023 гг. В работе использовались современные методы ландшафтных и экологических исследований, методы геоботанической индикации, топоэкологического профилирования, статистической обработки, методы геоинформационных технологий с использованием материалов актуальной космической информации, методы экотонной концепции В.С. Залетаева (1997). Выполненный по материалам дистанционного зондирования анализ среднесезонных значений площади водной поверхности за период наблюдений (1990-2023 гг.) показывает уменьшение размеров водоема в 3 раза. Минимальные и максимальные значения уровня водохранилища составили 25.0 м абс. в 2021 году и 29.6 м абс. в 1990 году. Максимальное изменение уровня за период исследований составило 4.6 м. Минерализация поверхностных вод со времени создания водоема постепенно увеличивалась от 2.4 г/дм³ в 1980-х гг. до 9.4-21.72 г/дм³ в весенние периоды 2022 г. и от 14.9 до 68.62 г/дм³ в осенние периоды 2022 г. С ростом минерализации воды в 2001-2017 гг. водоем потерял свое ирригационное назначение и до 2019 г. использовался для водопоя крупного и мелкого рогатого скота, а с дальнейшим (2020-2022 г.) ростом засоления до уровня рассола использование его вод прекратилось совсем. Выявленные особенности структурно-функциональной организации экотонных систем на побережье водохранилища по результатам мониторинга 2001-2023 гг. показали, что произошли направленные изменения в блоках экотонных систем: во флуктуационном блоке – расширение блока до 150 м из-за обмеления; увеличение минерализации поверхностных и грунтовых вод в 2.5-4 раза во флуктуационном и динамическом блоках; увеличение обилия галофитов и сорной растительности. Грунтовые воды экотонной зоны питаются из водоема, о чем свидетельствует их заглубление по мере удаления от уреза воды и увеличение их минерализации. Исследования показали, что при падении уровня водохранилища Аршань-Зельмень на 4.6 м произошли глубокие изменения как в самом водоеме, так и в окружающих его ландшафтах.

Ключевые слова: искусственные водоемы, аридная зона, Калмыкия, водохранилище Аршань-Зельмень, площадь, минерализация, экотонные системы «вода–суша».

DOI: 10.24412/2542-2006-2025-1-5-34

EDN: EIJLLO

Согласно исследованиям ряда ученых (Авакян, Лебедева, 2002; Данилов-Данильян и др., 2023; Груздева и др., 2005; Коронкевич, 2014), создание водохранилищ приводит к трансформации исходных природных комплексов, а именно, к развитию процессов переформирования береговой линии, заливанью прибрежных территорий, подъему уровня грунтовых вод к поверхности, развитию вторичного гидроморфизма и засолению почв (особенно в южных регионах). Большая часть водохранилищ на юге Европейской части России была создана в середине XX века, однако сих пор отсутствуют исследования по изучению современного состояния природных комплексов на их побережьях, по оценке произошедших трансформаций различных компонентов экосистем (растительности, почв, рельефа, биоты). Можно указать только единичные работы по рассмотрению проблем формирования природных комплексов на побережьях водохранилищ. Одной из таких работ являются исследования природных комплексов Цимлянского водохранилища (Природные комплексы ..., 2014), где на основе характеристики сложившейся водохозяйственной системы авторы смогли дать представление о современных экологических проблемах, связанных с созданием и функционированием водохранилища; дать экологическую интерпретацию особенностям его гидрологического режима как управляющего фактора трансформации природных комплексов побережий; оценить с экологических позиций тенденцию изменения уровневого режима для наземных экосистем побережий. Указанная работа может послужить примером монографического исследования побережий существующих водохранилищ. Основным методическим подходом в ней был метод, базирующийся на представлении ландшафтов побережий как единой эколого-динамической системы – экотона «вода–суша» и его блоковой структуры (Залетаев, 1997), что позволяет выявить границы территории, подверженной прямому и косвенному воздействию водохранилища.

Анализ региональных исследований по изучению природных экосистем показывает, что они охватывают довольно большой пласт по изучению негативного влияния орошения (Бородычев и др., 2011; Дедова, 2018; Шумаков и др., 1986; Оконов, 1996; Руднева, 1999; Кравченко, Руднева, 2001; Демкин, Руднева, 2003; Троц, 2008), перевыпаса (Бананова, 1990; Виноградов и др., 1996; Виноградов, Кулик, 1996; Харин, 1998), деградации земель (Бакинова, 2000; Ташнинова, 2000; Джапова, 2008). Вместе с тем отсутствуют исследования касаясь непосредственно водных объектов и природных комплексов на их побережьях, сформировавшихся за длительный период водопользования.

В аридных регионах, к которым относится и Республика Калмыкия, искусственные водоемы создавались в 1930-1950-е годы. С течением времени и долговременным использованием водохранилищ гидрологический режим, качество вод, использование, окружающие их ландшафты претерпели значительную трансформацию. Однако, как и в других аридных регионах России, практически не исследованы природные экосистемы, сформировавшиеся на их побережьях, не определена их структурно-функциональная организация и особенности динамики, которые в условиях острого дефицита водных ресурсов требуют тщательного изучения, оценки и разработки методов и подходов к ослаблению негативных последствий и управлению его развитием.

Цель работы – охарактеризовать современное состояние природных комплексов на побережье водохранилища Аршань-Зельмень. В задачи исследований входило выявить и охарактеризовать современное состояние и изменение во времени различных показателей водного объекта: площади водного зеркала, минерализации, особенностей структурной

организации и функционирования экотонных систем на побережье водохранилища по результатам мониторинга 2001-2023 гг.

Материалы и методы

Республика Калмыкия расположена на юго-востоке Европейской части России между $44^{\circ} 50'$ и $40^{\circ} 10'$ в.д. и $41^{\circ} 40'$ и $47^{\circ} 35'$ с.ш. Общая площадь составляет 75.9 тыс. км². На востоке Калмыкия граничит с Астраханской областью, на севере – с Волгоградской областью, на западе – с Ростовской областью, на юго-западе и юге – со Ставропольским краем, на юге – с Республикой Дагестан, а на юго-востоке выходит к Каспийскому морю (рис. 1).

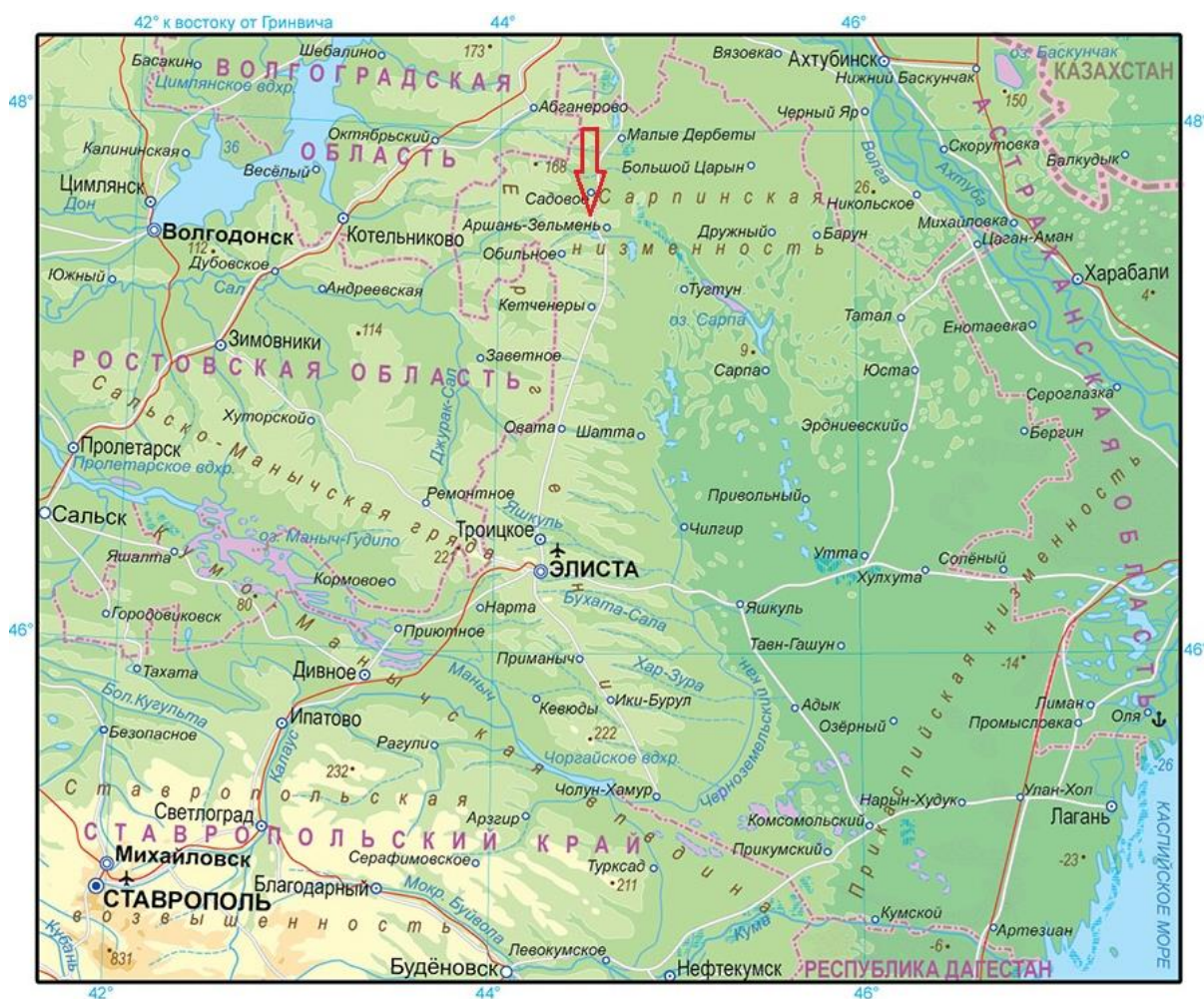


Рис. 1. Физико-географическая карта района исследований (масштаб 1 см : 25 км). Красная стрелка – объект исследований **Fig. 1.** Physical-geographical map of the research area (scale 1 cm : 25 km). The red arrow shows the location of the research object.

В пределах Калмыкии выделяются 3 основные морфоструктуры: на востоке – Прикаспийская низменность, на северо-западе – Возвышенность Ергени, на юге – Кумо-Манычская впадина. Объект исследований расположен на восточном склоне северной части возвышенности Ергени (рис. 2, 3). Эта возвышенность является продолжением Приволжской возвышенности и занимает западную окраину Калмыкии, представляя собой самую древнюю

сушу на ее территории, которая образовалась в середине третичного периода в конце плиоцена (Доскач, 1971). Гребень возвышенности вытянут с севера на юг и является водоразделом между Прикаспийской низменностью и бассейном нижнего Дона. Ширина платообразного поднятия – 50-80 км, высота на севере республики достигает 120 м, на юге Ергени заканчиваются мысом или бугром Чолун-Хамур высотой 218 м. Пологий западный склон незаметно переходит в Сальские степи, восточный круто обрывается к Прикаспию, южный – к Кумо-Манычской впадине. Восточные склоны покаты, изрезаны балками, руслами пересыхающих рек. Коэффициент эрозионного расчленения составляет 0.3-0.6. Балки вытянуты в широтном направлении и не имеют постоянных водотоков, длина их составляет от 20 до 80 км, наибольшая глубина врезания балок у водораздела – 70-100 м. Для равнинных участков водоразделов юга возвышенности Ергени характерен мезо- и микрорельеф, представленный западинами, размеры которых в поперечнике составляют 100-120 м, ложбинами и лощинами.

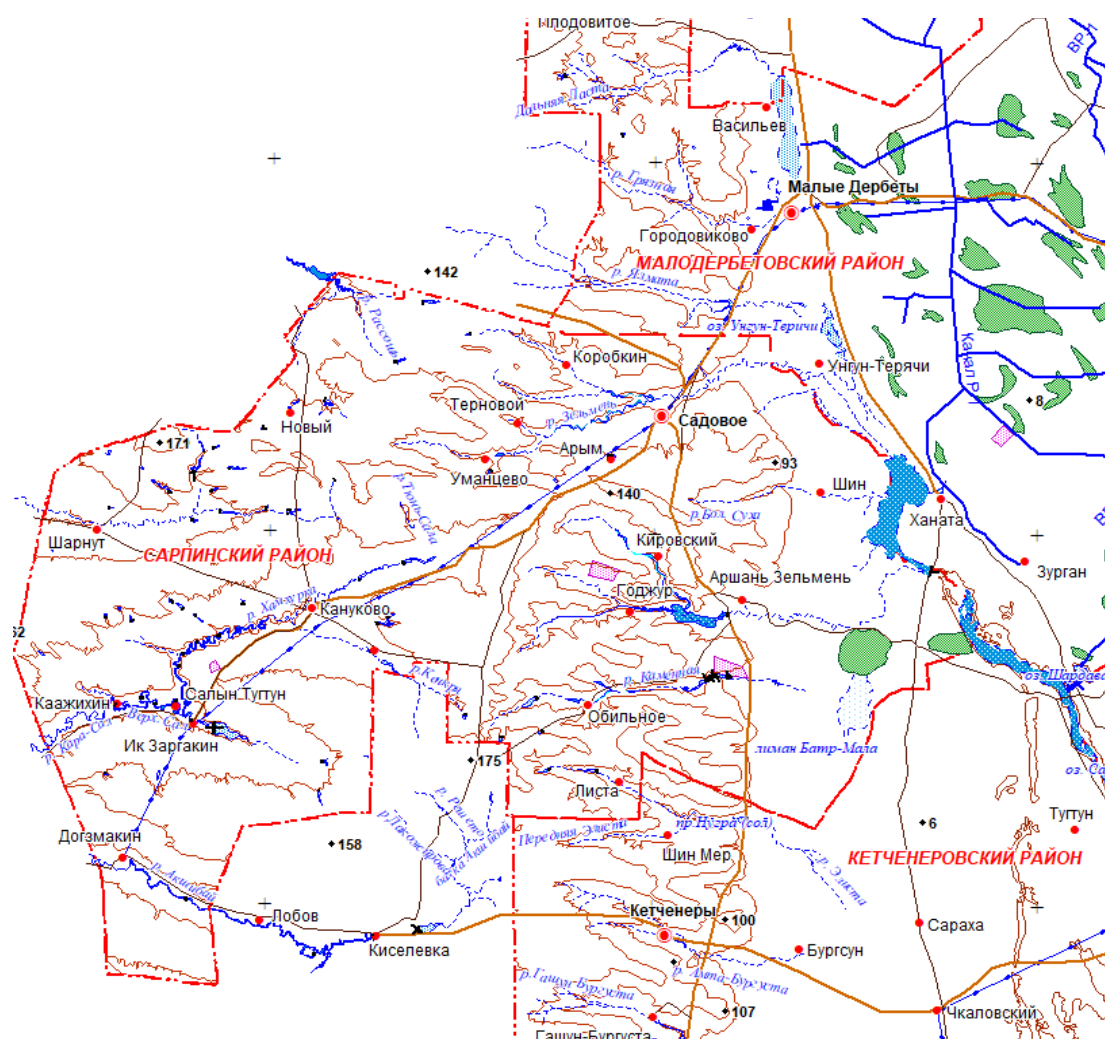


Рис. 2. Фрагмент «Водохозяйственной карты Республики Калмыкия» (масштаб 1 см : 5 км), Северные Ергени, водохранилище Аршань-Зельмень. **Fig. 2.** Fragment of the “Water Management Map of the Republic of Kalmykia” (scale 1 cm : 5 km), North Yergeni, Arshan-Zelmen reservoir.

Климат Северных Ергеней резко континентальный, засушливый. Средняя температура января колеблется от -6 до -10°C . Средняя температура июля – от $+22$ до $+27^{\circ}\text{C}$. Количество

годовых осадков – около 180-300 мм в год, но выпадают они неравномерно; их максимальное количество приходится на май-июнь, минимальное – на январь и февраль. Ергени, хотя и невысоки, но играют важную роль в распределении осадков. На западном, более пологом склоне возвышенности воздушные массы отдают более значительное количество влаги, чем к востоку от них.

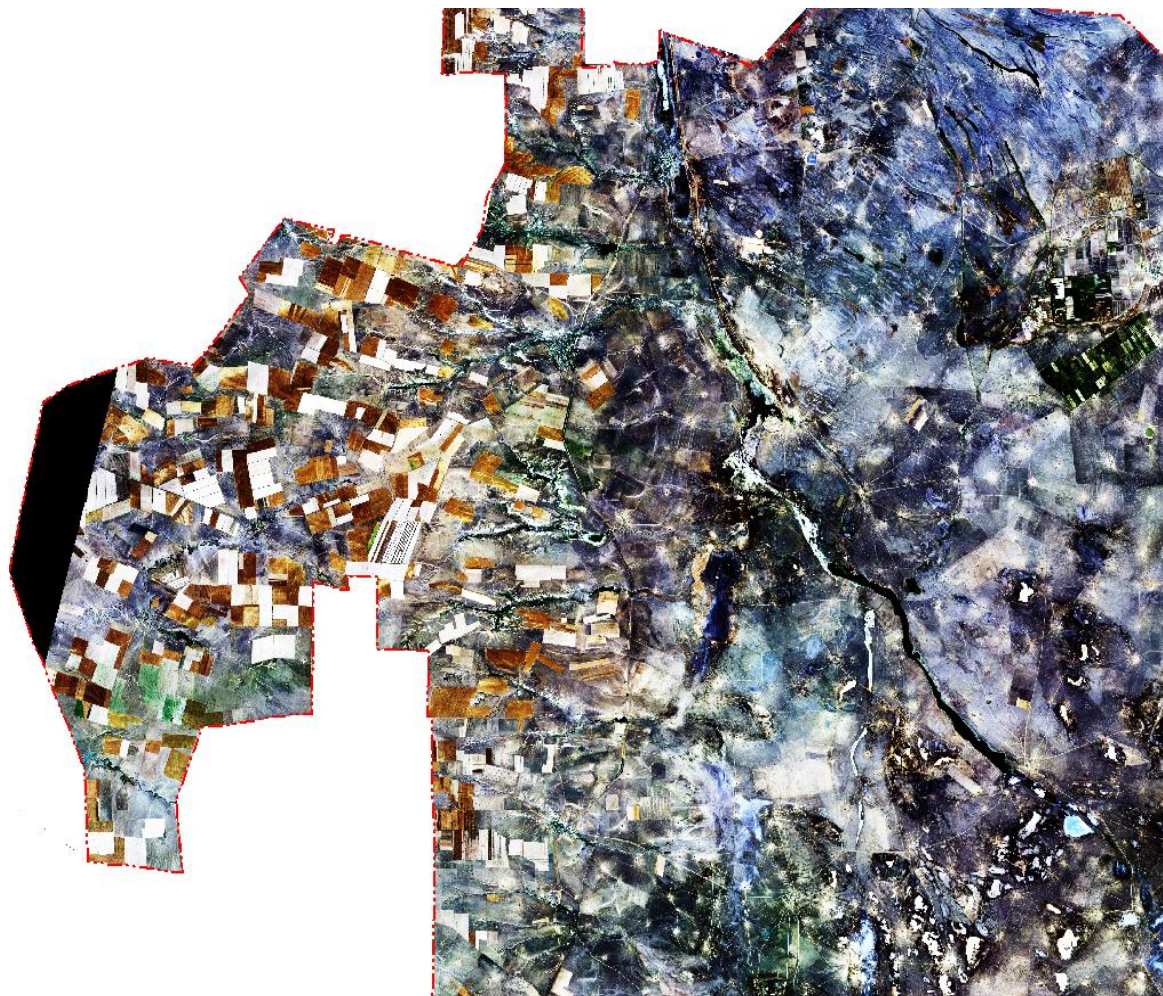


Рис. 3. Фрагмент синтезированного космического изображения с ИСЗ Landsat-9 (масштаб 1 см : 5 км), камера OLI/TIRS, синтез каналов 4, 3, 2, Северные Ергени в пределах Республики Калмыкия, 21.09.2023. **Fig. 3.** Fragment of a synthesized Landsat-9 satellite image (scale 1 cm : 5 km), OLI/TIRS camera, synthesis of channels 4, 3 and 2, North Yergeni, Republic of Kalmykia, 21/09/2023.

Почвенный покров Ергеней представлен комплексами светло-каштановых почв различного гранулометрического состава и солонцов, лугово-каштановыми суглинистыми почвами, солонцами в комплексе со светло-каштановыми солонцеватыми суглинистыми почвами (Ташнинова, 2000). Почвообразующими породами на возвышенности служат породы континентального происхождения (лессовидные и покровные суглинки, засоленные с глубины 1.5 м и ниже), в понижениях рельефа (лиманы, берега озер, днища балок) – аллювиальные, аллювиально-делювиальные и озерно-аллювиальные глинистые отложения современного возраста, в разной степени засоленные. Из основных негативных процессов доминируют дегумификация почв из-за процессов водной эрозии, имеющей место на пересеченном рельефе Ергеней. На светлокаштановых солонцеватых почвах господствуют

белополынно-ковыльно-типчаковые степи. На сильно солонцеватых почвах и солонцах встречаются пятна типчаково-ромашниково-белополынной, белополынно-типчаково-прутняковой и чернополынной растительности. Широкое распространение по всей территории возвышенности имеют эфемеры и эфемероиды: тюльпаны, мятлик луковичный, безвременник яркий (Бакташева, 2000). В глубоких балках, в более пригодных условиях произрастания, встречаются заросли древесных пород (дуб, осина, терн, вяз, дикая яблоня) и кустарников (тамарикс, джужгун; Ташнинова и др., 1998).

Водоемы Ергеней можно разделить на принадлежащие к западному и восточному склонам. На восточном склоне, к которому приурочен исследуемый объект, насчитывается 40 балок с малыми реками, заканчивающимися или слепыми дельтами, или в образованных ими озерах-лиманах. Они вытянуты в широтном направлении, расстояние между ними – от 7-10 км на севере возвышенности, до 15-20 км на юге. По своей длине и площади водосброса эти реки довольно разнообразны, но в целом невелики. Длина большинства из них – меньше 50 км, площадь водосбора – 300-500 км². Для всех рек характерен непродолжительный и маломощный весенний паводок и полное отсутствие стока в остальные сезоны года. Большинство из них многократно зарегулировано плотинами, которые позволяют аккумулировать весенний сток в небольших водохранилищах и прудах для использования его различными отраслями хозяйства.

Восточный склон подразделяется на северную, среднюю и южную части. Реки северной части многоводнее южных за счет многочисленных родников и часто обладают постоянным, хотя и очень небольшим водотоком в узкой долине. Несмотря на то что каждый водоем имеет свои характерные особенности, всем им свойственны общие черты: нестабильность гидрологического и гидрохимического режимов, значительная заиленность, бедность флоры и фауны. Поэтому объект исследований может служить в качестве модельного водоема для исследований процессов, происходящих на искусственных водоемах Ергеней в результате длительного водопользования.

Методология исследования основывается на системно-структурном и ландшафтно-экологическом подходах, отражающих взаимосвязь внутри- и межэкосистемных природных процессов – или внутрисистемных связей (Кузьмина, 2005). Метод структурного подхода обеспечивает возможность комплексного анализа всей совокупности процессов трансформаций природных комплексов. В работе использовались современные методы ландшафтных и экологических исследований, методы геоботанической индикации, топо-экологического профилирования, статистической обработки в зависимости от решаемых задач. Этапы работ сочетали наземные исследования с геоинформационными технологиями: изучение гидрологических показателей водоема (объем, площадь, уровень, минерализация и их изменения во времени) и проведение анализа площади водного зеркала и его изменения во времени с использованием материалов дистанционного зондирования.

В работе использовались материалы ретроспективной и актуальной космической информации с отечественных и зарубежных спутников. При дешифрировании береговой линии использовались спектральные диапазоны, наиболее предпочтительные для решения гидрологических задач: спектральные диапазоны 0.6, 0.3-0.9, 10-12 мкм; пространственное разрешение не менее 30-60 м, масштабы снимка 1: 100 000 и 1: 250 000 (Гарбук, Гершензон, 1997). Дешифрирование выполнялось визуально-инструментальным методом по обычным черно-белым, цветным спектрально-зональным космофотоснимкам, цветным синтезированным сканерным космическим снимкам, полученным в разные сезоны (весна-лето-осень) в период с 1990 по 2023 гг. Изменение площадей водоемов и их конфигураций исследовали по материалам разновременной многозональной космической съемки, которая четко отражает динамическую изменчивость геосистем. Для синтеза каналов использовалась программа MultiSpek 3.2, векторизация площадей водной поверхности производилась

в программе MapInfoPro2019. Общее количество снимков, проанализированное за период 1990-2023 гг., составило 29 шт. (табл. 1).

Таблица 1. Список использованных материалов дистанционного зондирования Земли.
Table 1. List of remote sensing materials used in the study.

№	Фильм	Кадр	Масштаб	Вид съемки	Длина волны, мкм	ИСЗ	Аппарат съемки	Дата съемки
1	0088	18963	1: 100000	СПЗ	0.57-0.81	Космос	КФА-1000	05.06.90
2	0256	17194	1: 100000	СПЗ	0.57-0.81	Космос	КФА-1000	06.07.91
3	–	–	–	Сканер	0.6-0.7	Ресурс-01№3	МСУ-СК	23.09.99
4	–	–	–	Сканер	0.52-0.6	Ресурс-01№3	ЕТМ+	06.07.01
5	–	–	–	Сканер	0.52-0.6	Ресурс-01№3	ЕТМ+	14.09.04
6, 7	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 4 (0.52-0.6), 3 (0.63-0.69), 2 (0.77-0.9)	Landsat-7	ЕТМ+	02.07.2012; 08.10.2012.
8, 9	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 4 (0.52-0.6), 3 (0.63-0.69), 2 (0.77-0.9)	Landsat-7	ЕТМ+	12.05.2013; 12.11.2013.
10, 11	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 4 (0.63-0.68), 3 (0.525-0.6), 2 (0.450-0.515)	Landsat-8	OLI	15.05.2014; 04.09.2014.
12, 13	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (0.845-0.885), 4 (0.63-0.68), 3 (0.525-0.6)	Landsat-8	OLI	19.06.2015; 07.09.2015.
14, 15	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (0.845-0.885), 4 (0.63-0.68), 3 (0.525-0.6)	Landsat-8	OLI	04.05.2016; 24.08.2016
16, 17	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (1.55-1.75), 4 (0.77-0.90), 3 (0.63-0.69)	Landsat-8	OLI	07.05.2017; 12.09.2017
18, 19	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (1.55-1.75), 4 (0.77-0.90), 3 (0.63-0.69)	Landsat-8	OLI	24.04.2018; 01.10.2018

Продолжение таблицы 1.

№	Фильм	Кадр	Масштаб	Вид съемки	Длина волны, мкм	ИСЗ	Аппарат съемки	Дата съемки
20, 21	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (1.55-1.75), 6 (1.560-1.660), 4 (0.77-0.90)	Landsat-8	OLI	29.05.2019; 20.10.2019
22, 23	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (1.55-1.75), 4 (0.77-0.90), 3 (0.63-0.69)	Landsat-8	OLI	13.04.2020; 04.09.2020
24, 25	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (1.55-1.75), 4 (0.77-0.90), 3 (0.63-0.69)	Landsat-8	OLI	02.05.2021; 07.09.2021
26, 27	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (0.85-0.88), 4 (0.64-0.67), 3 (0.53-0.59)	Landsat-9	–	29.05.2022; 02.09.2022
28, 29	–	–	–	Сканер	Синтез каналов 5 (0.85-0.88), 6 (1.57-1.65), 4 (0.64-0.67)	Landsat-9	–	2023 г.

Воздействие искусственных водоемов на прилегающие территории изучалось на 4 топоэкологических профилях, заложенных вблизи плотины, в зоне выклинивания подпора и в центральной части в разное время с 2001-2004 гг. Наблюдения велись до 2024 г. Основным методическим приемом было рассмотрение водоема и его побережья как единой экотонной системы «вода–суша» (Залетаев, 1997; Новикова, 2006). Полевые исследования проводились во время вегетационного периода – с апреля по октябрь. На побережьях водохранилищ для исследования состава и структуры экотонной системы прокладывали топоэкологические профили перпендикулярно урезу воды, от водоема вглубь побережья до зональной растительности. Структурно-функциональная организация экотонов изучаемых водоемов состоит из 6 основных блоков (Залетаев, 1997): аквальный – акватория с глубинами более 1.5-2.5 м (лишенная макрофитов), амфибиальный – литораль с периодическим обсыханием в период сработки вод водоемов, флуктуационный – ежегодно заливаемый участок побережья, динамический – заливаемый не ежегодно, в годы максимального половодья, дистантный – незаливаемая территория, но испытывающая воздействие неглубоко (до 3-5 м) залегающих грунтовых вод, маргинальный – воздействие водоема передается через микроклимат предыдущих блоков (переходный к зональному). В пределах каждого блока отбирались грунтовые воды на минерализацию, отмечалась их глубина залегания, отбирались почвенные пробы, выполнялось стандартное геоботаническое описание и отбор растительных укосов на биологическую продуктивность. Географические координаты точек наблюдений фиксировались с помощью прибора GPS Garmin-12. Всего за период исследований было отобрано 96 проб поверхностных и грунтовых вод, 47 почвенных проб, 175 растительных укосов на продуктивность, выполнено 182 геоботанических описания.

Для решения задачи по изучению особенностей гидрологического и гидрохимического режима водоемов были проведены натурные исследования с 2001 по 2023 гг. Анализ химизма и минерализации отобранных проб поверхностных и грунтовых вод с 2001 по 2019 гг. был выполнен в Калмыцком филиале ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии им. А.Н. Костюкова в соответствии со стандартом ГОСТ 26449.1-85 (1985): катионно-анионный состав –титриметрическим методом, определение сухого остатка – гравиметрическим, определение рН – потенциометрическим. Водная вытяжка почвенных проб была проанализирована в этой лаборатории в соответствии с ГОСТами 26425-85, 26424-85, 26426-85, 26427-85, 26428-85, 26483-85 (1985). С 2019 по 2023 гг. анализы проб поверхностных и грунтовых вод выполнялись в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (г. Волгоград) в соответствии с принятыми ГОСТами и нормативными документами. Анализы выполнялись по следующим показателям: рН, содержание основных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). Накопленные данные сводились в программе Excel для облегчения анализа и обработки в общей Базе Данных в листах «вода», «почвы», «растительность».

Результаты и обсуждение

Водохранилище Аршань-Зельмень – небольшой водоем, приуроченный к восточному склону Ергенинской возвышенности. В 1937 году на нем была создана земляная плотина, по которой в настоящее время проходит автодорога Элиста–Волгоград. Основное питание водохранилища – атмосферное, а также за счет грунтовых вод и двух притоков, расположенных ближе к зоне выклинивания подпора и начинающихся из родников. Создавалось водохранилище для нужд регулярного орошения на площади до 1.2 тыс. га, однако с 1990-х годов оросительная система прекратила свое существование ввиду повышения минерализации. Проектные характеристики водохранилища: нормальный подпорный уровень (НПУ) и уровень мёртвого объёма (УМО) составляют 33 и 26 м соответственно, форсированный подпорный уровень (ФПУ) – 33.7 м. Средняя глубина водоема – 5.5 м, максимальная (у плотины) – 10.6 м. Полный объем – 29.4 млн. м³, полезный – 26.6 млн. м³, площадь зеркала при НПУ – 7.4 км², длина плотины – 250 м, высота плотины – 7 м. Объем и площадь зеркала этого водоема непостоянны и изменяются в зависимости от водности года.

Выполненный анализ материалов дистанционного зондирования показывает значительную динамику площади водной поверхности: с 1990 по 2012 гг. площади были максимальными (среднегодовое значение за период – 5.79 км²), с 2017 по 2022 гг. – минимальными (среднегодовое значение за период – 2.08 км²; Уланова и др., 2024). Сравнение среднегодовых значений площади за указанные периоды показало значительное уменьшение размеров водоема – в среднем в 3 раза (рис. 4, 5).

Минимальные и максимальные значения уровня водохранилища составили 25.0 м абс. в 2021 году и 29.6 м абс. в 1990 г. Таким образом, за все годы наблюдений максимальное изменение уровня составило 4.6 м (табл. 2). Водохранилище относится к бассейну внутреннего стока. Оно было создано в 1937 году для регулярного орошения, однако уже с 1990-х гг. водозабор был прекращен в связи с ухудшением качества воды.

Питание водохранилища Аршань-Зельмень зависит от атмосферных осадков и родников. Засуха последних лет (2015-2022 гг.) привела к значительному обмелению, а к 2022 г. водохранилище почти высохло. Со времени его создания минерализация воды постепенно увеличивается от 2.4 г/дм³ в 1980-х гг. до 4.2 г/дм³ к началу наблюдений. В 2001-2017 гг. в период наблюдений среднее значение минерализации было в половину ниже, чем за весь период, и изменялось от 4 весной до 7 г/дм³ осенью. С 2017 по 2022 гг. минерализация

увеличивалась от 9.4 до 21.72 г/дм³ в весенние периоды и от 14.9 до 68.62 г/дм³ в осенние (Уланова и др., 2024).



Рис. 4. Фрагмент сканерного космического изображения с ИСЗ Landsat-7, камера ETM+, синтез каналов 3, 2 и 1, 12.05.2013.
Fig. 4. Fragment of a scanned Landsat-7 satellite image, ETM+ camera, synthesis of channels 3, 2 and 1, 12/05/2013.

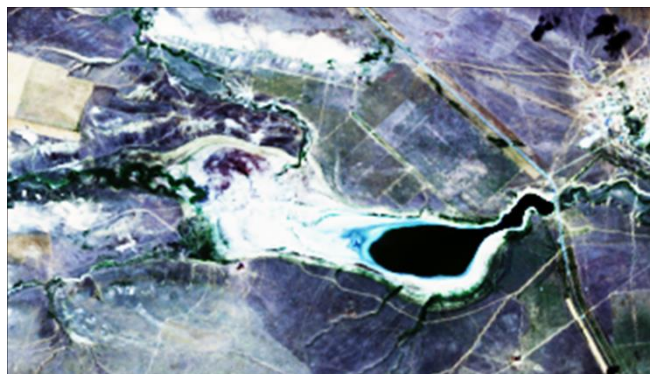


Рис. 5. Фрагмент сканерного космического изображения с ИСЗ Landsat-8, камера OLI/TIRS, синтез каналов 4, 3 и 2, 09.09.2020.
Fig. 5. Fragment of the scanned Landsat-8 satellite image, OLI/TIRS camera, synthesis of channels 4, 3 and 2, 09/09/2020.

Использование любого водного объекта зависит от качества его вод: в 1980-х гг. водоем имел ирригационное назначение, а минерализация составляла в среднем 2.4-2.7 г/дм³. С 2001-2019 гг. водоем использовался только для водопоя крупного и мелкого рогатого скота. В 2020-2022 г. его воду в связи с высоким засолением (21.72-68.62 г/дм³) перестали пить овцы и коровы.

Минимальное количество осадков, аномальная жара, высокое испарение, слабая проточность водоема, замедленный водообмен и длительное накопление токсичных и биогенных веществ привели 18 октября 2020 года к массовой гибели рыб на водохранилище. Лабораторией водных проблем и токсикологии Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КаспНИРХ) было установлено, что в воде по береговой линии находилось свыше 170 тыс. погибших особей карповых рыб, представленных более чем на 99% карасем, в небольшом количестве были отмечены сазан и единичные экземпляры толстолобика (фото 1, 2).

Согласно экспертному заключению ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Калмыкия» от 26.10.2020 № 0367 и протоколу лабораторных испытаний от 26.10.2020 № 2719, вода из открытого водоема Аршань-Зельменского водохранилища не соответствует требованиям гл. 5, п. 5.2, прил. 1 СанПин 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» (1999) по показателям: биохимическое потребление кислорода (БПК₅), химическое потребление кислорода (ХПК), общая минерализация; а также не соответствует требованиям гл. 1 п. 1.3 ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» (2003) по показателям натрия, магний, литий, стронций. Из протокола лабораторных испытаний № 2719 от 26.10.2020 следует, что БПК₅ составило 35.5+4.7 мг О₂/дм³ при норме 4 О₂/дм³, ХПК – 201+30 мг О₂/дм³ при норме 30 мг О₂/дм³, общая минерализация (сухой остаток) – 22444+1100 мг О₂/дм³ при норме 1000 мг /дм³, литий – 0.39+0.08 мг/дм³ при норме 0.03 мг /дм³, стронций – 18.2+18 мг/дм³ при норме 7 г /дм³.

Таблица 2. Изменение гидрологических параметров вдхр. Аршань-Зельмень с 1990-2023 гг.
Table 2. Changes in hydrological parameters of the Arshan-Zelmen reservoir from 1990 to 2023.

Годы	S, км ² *	Уровень, м**	Минерализация, г/л***
1990	8.07	29.6	2.8
1991	7.9	28.6	4.0
1999	2.97	26	6.2
2001	4.31	26.8	5.12
2003	5.87	27.7	4.73
2004	6.26	28	4.09
2012	6.72	28.1	9.75
2017	2.57	25.9	9.4
2018	5.13	27.2	3.55
2019	2.85	26.1	7.02
2020	1.7	25.2	22.4
2021	1.1	25.0	33.58
2022	0.12	н/д	68.62
2023	2.20	25.7	20.35

Примечания к таблице 2: S* – площадь водного зеркала определена по материалам разновременной космической информации, уровень** – определен по топохарактеристикам водохранилища по данным площади водного зеркала, минерализация*** – фондовые данные (до 1999 г.), данные собственных полевых исследований (с 2001-2019, 2021-2023 гг.), данные из Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Калмыкия (2020).

Notes to Table 2: S* – water surface area was calculated using the satellite data from different periods, уровень** – level was calculated using the topographic characteristics of the water reservoir and water surface area, минерализация*** – data on water mineralization was acquired from the funds (up to 1999), our own field researches (2001-2019 and 2021-2023), Center of Hygiene and Epidemiology of the Republic of Kalmykia (2020).

В целях исследования воздействия водохранилища на прилегающие территории структуру экотонных систем «вода–суша» изучали на ключевых участках, расположенных на северном берегу водоема, на расстоянии 1.5 км от плотины (№ 1), в зоне выклинивания подпора (№ 2), на расстоянии 5.3 км от плотины на южном побережье водоема. В 2023-2024 гг. были частично обследованы территории верхнего бьефа, в месте впадения питающих водоем р. Хамхурки и территория нижнего бьефа, на расстоянии 2 км от плотины (рис. 6).

Ключевой участок «Аршань-Зельмень-1» (47°35'39.8" с.ш.; 44°34'51.0" в.д.) расположен на расстоянии 1.5 км от плотины на северном побережье водоема. Общая протяженность экотонной системы «вода–суша» в пределах ключевого участка весной оказалась равной 220 м, осенью, в связи с падением уровня водоема увеличилась до 261 м за счет приращения обсохшего дна. Экотонная система полночленная, в ней присутствуют все блоки (рис. 7; табл. 3).

Амфибиальный блок занимает прибрежный участок водоема с глубинами 10-20 см, занятый сообществами клубнекамыша морского (*Bolboschoenus maritimus*) и тростника обыкновенного (*Phragmites australis*). До 2022 года минерализация воды в амфибиальном блоке увеличивалась, но с 2023 года стала снижаться (рис. 8). Гидрохимический состав вод – натриево-хлоридно-сульфатный, рН – 8.3-8.4.



Фото 1. Массовая гибель рыбы на вдхр. Аршань-Зельмень, 18.10.2020 (фото С.С. Улановой).

Photo 1. Mass death of fish in the Arshan-Zelmen reservoir, 18/10/2020 (photo by S.S. Ulanova).

Фото 2. Массовая гибель рыбы на вдхр. Аршань-Зельмень, 17.10.2020 (В старейшем водоеме ..., 2020).

Photo 2. Mass death of fish in the Arshan-Zelmen reservoir, 17/10/2020 (В старейшем водоеме ..., 2020).

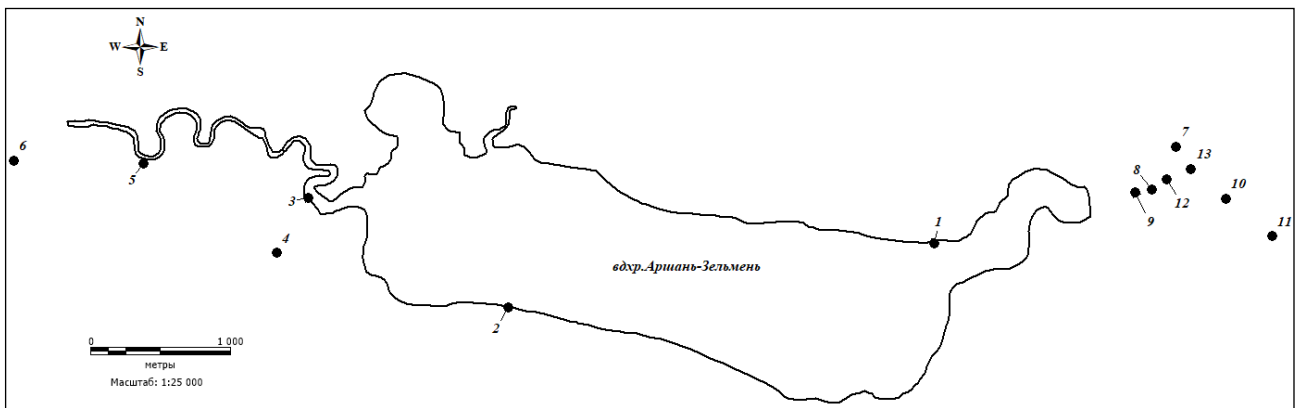


Рис. 6. Расположение ключевых участков долговременного наблюдения (1-2) и точек маршрутных исследований (3-11) в 2023-2024 гг. **Fig. 6.** Location of long-term observation key sites (1-2) and route points (3-11) for 2023-2024.

Флуктуационный блок располагается над урезом воды водохранилища на высоте от 0.26 до 1.73 м. Грунтовые воды за время исследований располагались в разные годы на глубине от 0.6 до 3.1 м весной и от 1.2 до 3.1 м осенью. Минерализация изменялась весной от 3.4 до 8.6 г/л и осенью от 4.5 до 18.5 г/л (рис. 9, 10). Тип химизма преимущественно сульфатно-хлоридно-натриевый. Почвы – влажные луговые засоленные солончаковатые. Произрастающие сообщества – солеросово-тростниково-тамариковые (*Phragmites australis*–

Salicornia perennans–*T. laxa*, *T. ramosissima*). Общее проективное покрытие весной в среднем составляло 15%, осенью возросло до 65-75%. Помимо доминантов здесь присутствуют виды семейства маревых: *Suaeda prostrata*, *Petrosimonia brachiata*, *Atriplex prostrata*; обычно ПП каждого в сообществе – не более 5-10%. В еще меньшем обилии отмечались длиннокорневищный гигрофит *Bolboschoenus maritimus*, эфемер *Eremopyrum triticeum*, а также рудеральные виды: *Arctium lappa* и *Argusia sibirica*. Количество видов в разные годы составляло от 9 до 12. Биологическая продуктивность составляла в среднем весной – 21-26 г/см², осенью – более 300 г/см².

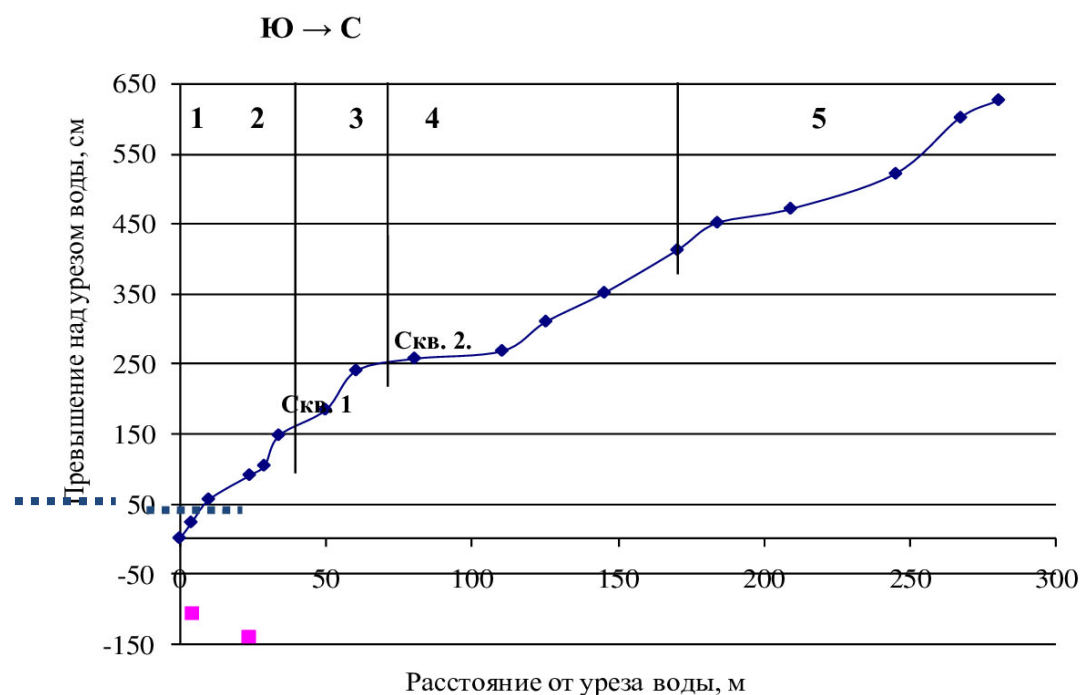


Рис. 7. Топоэкологический профиль и структура экотонной зоны побережья водохранилища Аршань-Зельмень, 04.05.2023. Условные обозначения: 1-5 – экотонные блоки экосистемы.
Fig. 7. Topoecological profile and structure of the ecotone zone of the coast of the Arshan-Zelmen reservoir, 04/05/2023. Legend: 1-5 – ecotone blocks of the ecosystem.

Особенностью флуктуационного блока на водохранилище Аршань-Зельмень является то, что при обмелении на полосе обсохшего дна в течение года появляются проростки тамарикса, произрастающие ровной полосой вдоль уреза воды. Поэтому вдоль берега протягиваются полосы разновозрастных тамариксов (фото 3).

Динамический блок. Ширина динамического блока в среднем была равна от 40 до 50 м. Грунтовые воды залегали в динамическом блоке на глубине 1.4-3 м в весенние периоды и 2.2-3.2 м в осенние. Часто не удавалось отобрать пробы воды из-за заплывания скважины. Минерализация ГВ изменялась от 4.4 до 6.4 г/л в весенние периоды и от 13.2 до 16.1 г/л в осенние периоды. В динамическом блоке выделялись в зависимости от водности года от двух до трех поясов. Здесь произрастали следующие сообщества: *Tamarix laxa*–*Phragmites australis*, *T. ramosissima*+*T. Laxa*–*Chorispora tenella*, *Cardaria draba* (фото 4), *T. laxa*–*Descurainia sophia*, *Lepidium ruderales*, *Erigeron canadensis*, *Elaeagnus angustifolia*+*T. laxa*–*Poa ceta*+*Ruderis*. Почвы – луговые. ОПП поясов – от 20% до 60%. Число видов в поясах – от 16 до 31. Структура чаще двухъярусная. В верхнем ярусе (высота 1.5-2 м) произрастали тамарикс изящный (*Tamarix laxa*), тамарикс восьмитычинковый (*T. octandra*) и лох узколистый (*Elaeagnus angustifolia*). В нижнем ярусе (высота до 70 см) произрастали

тростник южный (*Phragmites australis*), клубнекамыш морской (*Bolboschoenus maritimus*), бескильница расставленная (*Puccinellia distans*), кермек каспийский (*Limonium caspium*), а также однолетники – лебеда простертая (*Atriplex prostrata*), сведа стелющаяся (*Suaeda prostrata*), крестовник весенний (*Senecio vernalis*) и бассия иссополистная (*Bassia hyssopifolia*). Вес воздушно-сухой фитомассы в весенний период составил 139 г/м². В осенние периоды доминировали солянки: лебеда Оше (*Atriplex aucheri*) с ПП 30%, спиробассия волосистая (*Spirobassia hirsuta*), солерос солончаковый (*Salicornia perennans*), сода остролистная (*Soda acutifolia*). В третьем поясе динамического блока было много сорных видов: дескурайния Софии (*Descurainia sophia*), подмаренник цепкий (*Galium aparine*), липучка поникшая (*Lapula patula*), неравноцветник кровельный (*Anisantha tectorum*), дурнишник колючий (*Xhantium spinosum*).

Таблица 3. Компоненты природных экосистем в блоках экотонной системы ключевого участка «Аршань-Зельмень-1», 04.05.2023/20.09.2023. **Table 3.** Components of natural ecosystems in the blocks of the ecotone system of the Arshan-Zelmen-1 key site, 04.05.2023/20.09.2023.

Компоненты экосистем в блоках	Флуктуационный	Динамический			Дистантный		Маргинальный
Номер блока на рисунке	2	3			4		5
Расстояние от уреза воды, весна/осень, м	(0-18)/ (0-28)	(18-35)/ (28-38)	(35-42)/ (38-53)	(42-64)/ (53-78)	(64-87)/ (78-97)	(87-108)/ (97-158)	со 158 м/ со 198 м
Почвы	влажные луговые засоленные	собственно луговые			лугово-каштановые		светло-каштановые в комплексе с солонцами
УГВ, весна/осень, м	0/-2.7	-3.1/ -3.2	-3.5	-	-	-	-
Минерализация ПВ/ГВ, весна/осень, г/л	5.58/18.52	8.52/16	-	-	-	-	-
Тип засоления вод	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺	Cl ⁻ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻	-	-	-	-	-
Вес воздушно-сухой фитомассы, весна/осень, г/м ²	-/372	49/-	239/290	85/168	90/98	70/122	48/38
Количество видов, весна/осень	-/5	16/3	24/11	35/16	25/17	24/18	31/27

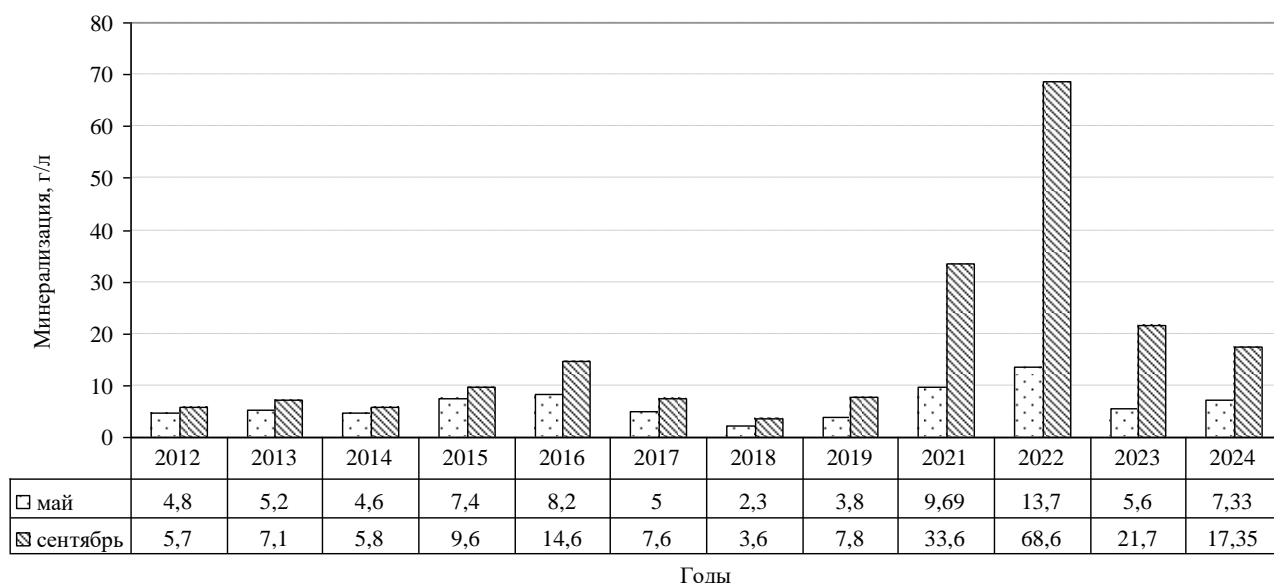


Рис. 8. Минерализация воды в амфибиальном блоке приплотинного участка водохранилища Аршань-Зельмень весной и осенью в годы наблюдений. **Fig. 8.** Water mineralization in the amphibious block of the dam section of the Arshan-Zelmen reservoir in spring and autumn during the years of observation.

Дистантный блок был представлен двумя практически сплошными полосами тамариковых зарослей высотой более 4 м, расположенными на расстоянии от 20 до 30 м друг от друга. Первый тамариковый пояс в данном блоке – дурнишниково–полынно–тамариковый (*Tamarix* ssp.–*Artemisia austriaca*–*Xanthium strumarium*). ОПП – 25-35% , число видов – от 21 до 26. Второй пояс в дистантном блоке представлен мятликово-полынно-тамариковыми (*T. laxa*–*Artemisia santonica*, *A.austriaca*+*Poa bulbosa*) сообществами (фото 5). Весной количество видов насчитывало 24 растений, осенью – 18. ОПП – 50%. Из многолетних растений здесь были отмечены плотнодерновинные злаки с ПП 2-3%: ковыль сарептский (*Stipa sareptana*) и ковыль Лессинга (*S. lessingiana*). Многолетнее разнотравье было представлено видами: осока (*Carex stenophylla*), шалфей эфиопский (*Salvia aethiopsis*), зопник клубненосный (*Phlomis pungens*), кахрис противозубный (*Prangos odontalgica*), спорыш новоасканийский (*Polygonum novoascanicum*). Из рудеральных видов отмечены: чертополох шиповатый (*Carduus acanthoides*), клоповник крупковидный (*Cardaria draba*), лютик остроплодный (*Ranunculus oxyspermus*). Из однолетних видов встречены (ПП – 1%): *Lagoseris sancta*, *Sisymbrium loeselii*, *Chorispora tenella*, *Lapula patula*, *Chenopodium album*, *Alyssum desertorum*, *Erophila verna*, рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*), *Descurainia sophia*. В осенний период были отмечены галофитные виды, образующие группировки с ПП 3%: *Sedobassia sedoides*, *Atriplex tatarica*, *Colchicum laetum* и многолетник *Vincetoxicum sibiricum*. В весенний период воздушно-сухой вес фитомассы растений составил 70 г/м², в осенний – 122 г/м².

Маргинальный блок – последний из блоков экотона начинался со 158 м. Почвы – зональные светло-каштановые в комплексе с солонцами. Растительность была представлена луковичномятликово–сарептскоковыльно–полынными (*Artemisia lerchiana*, *A. santonica*, *A. taurica*+*Stipa sareptana*, *S. lessingiana* +*Poa bulbosa*) сообществами (фото 6). В весенний период воздушно-сухой вес фитомассы укосов составил 48 г/м², в осенний период – 38 г/м². Количество видов весной – 31, осенью – 27. ОПП – 40%. Доминанты сообщества – полукустарнички: полынь Лерха (*Artemisia lerchiana*), полынь сантонинная (*Artemisia*

santonica), полынь крымская (*Artemisia taurica*), многолетник полынь австрийская (*Artemisia austriaca*). Содоминантами являются дерновинные злаки: ковыль сарептский (*Stipa sareptana*), ковыль Лесинга (*Stipa lessingiana*), мятлик (*Poa bulbosa*). Из многолетнего разнотравья были встречены: полукустарничек ромашник тысячелистниковый (*Tanacetum achilleifolium*) (ПП 2%), многолетники – осока (*Carex stenophylla*), шалфей эфиопский (*Salvia aethiops*), грудница шерстистая (*Galatella villosa*), молочай волнистый (*Euphorbia undulate*), тонконог гребенчатый (*Koeleria gracilis*), одуванчик (*Taraxacum officinale*), зопник клубненосный (*Phlomis pungens*), безвременник яркий (*Colchicum laetum*), лютик остроплодный (*Ranunculus oxyspermus*). В осенний период из галофитов произрастали виды: анабазис безлистный (*Anabasis aphylla*) (ПП 2%), седобассия очитковидная (*Sedobassia sedoides*), пьянковия супротивнолистная (*Puankovia brachiata*), лебеда татарская (*Atriplex tatarica*).

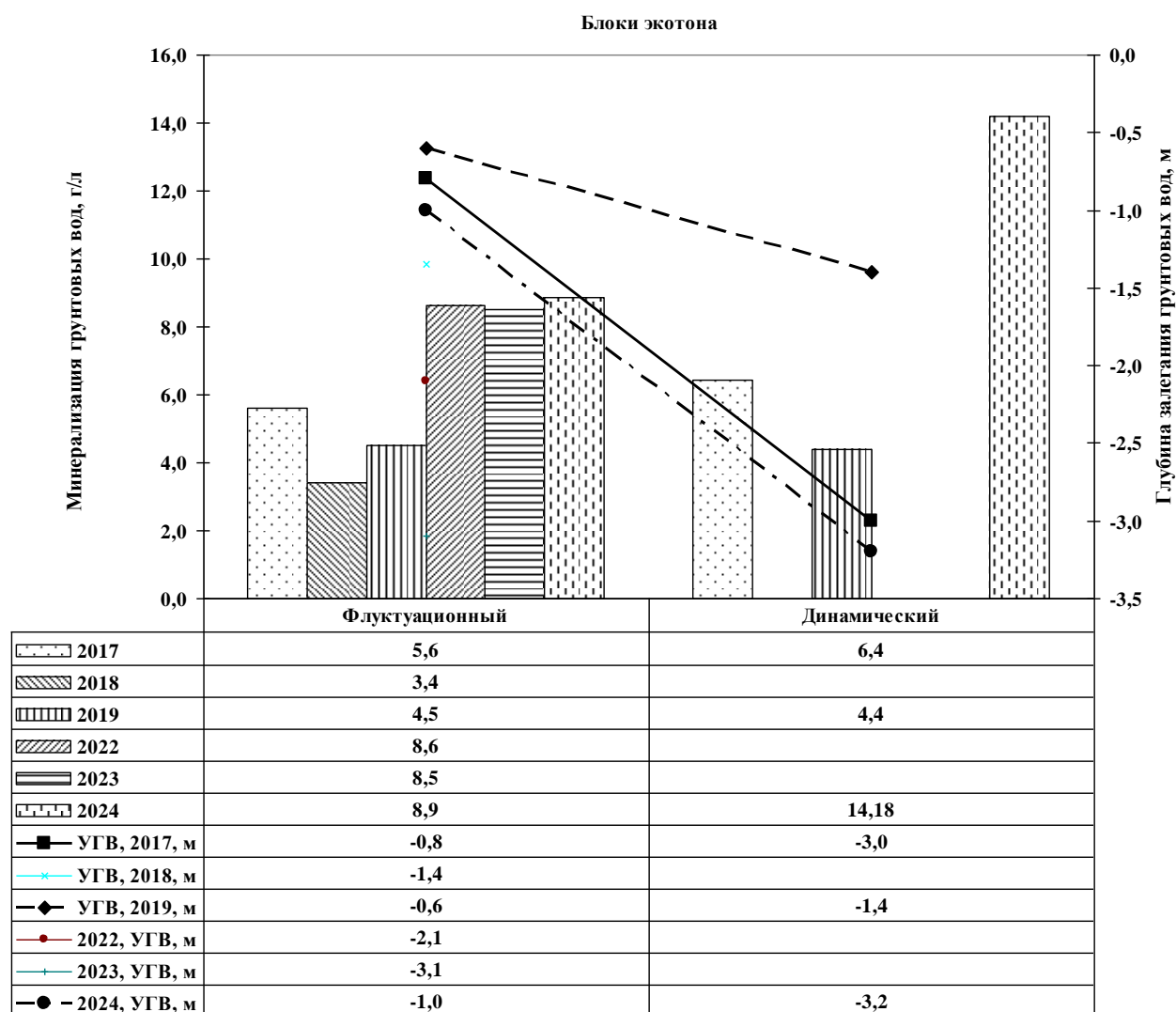


Рис. 9. Минерализация и глубина залегания грунтовых вод в блоках экотона на ключевом участке «Аршань-Зельмень-плотина» в весенний период. **Fig. 9.** Mineralization and depth of groundwater in ecotone blocks in the key area “Arshan-Zelmen-dam” in spring.

Ключевой участок «Аршань-Зельмень-2» расположен на южном берегу водоема, на расстоянии 5.5 км, в его привершинной части (47° 35' 18.27" с.ш., 44° 32' 23.45" в.д.)

Общая протяженность экотонной системы «вода–суша» в пределах ключевого участка составила 600 м. Описание ключевого участка дано по наблюдениям 2023 г. В осенний период в этой части воды не было. Характеристики компонентов природных экосистем в блоках экотонной системы представлены в таблице 4.

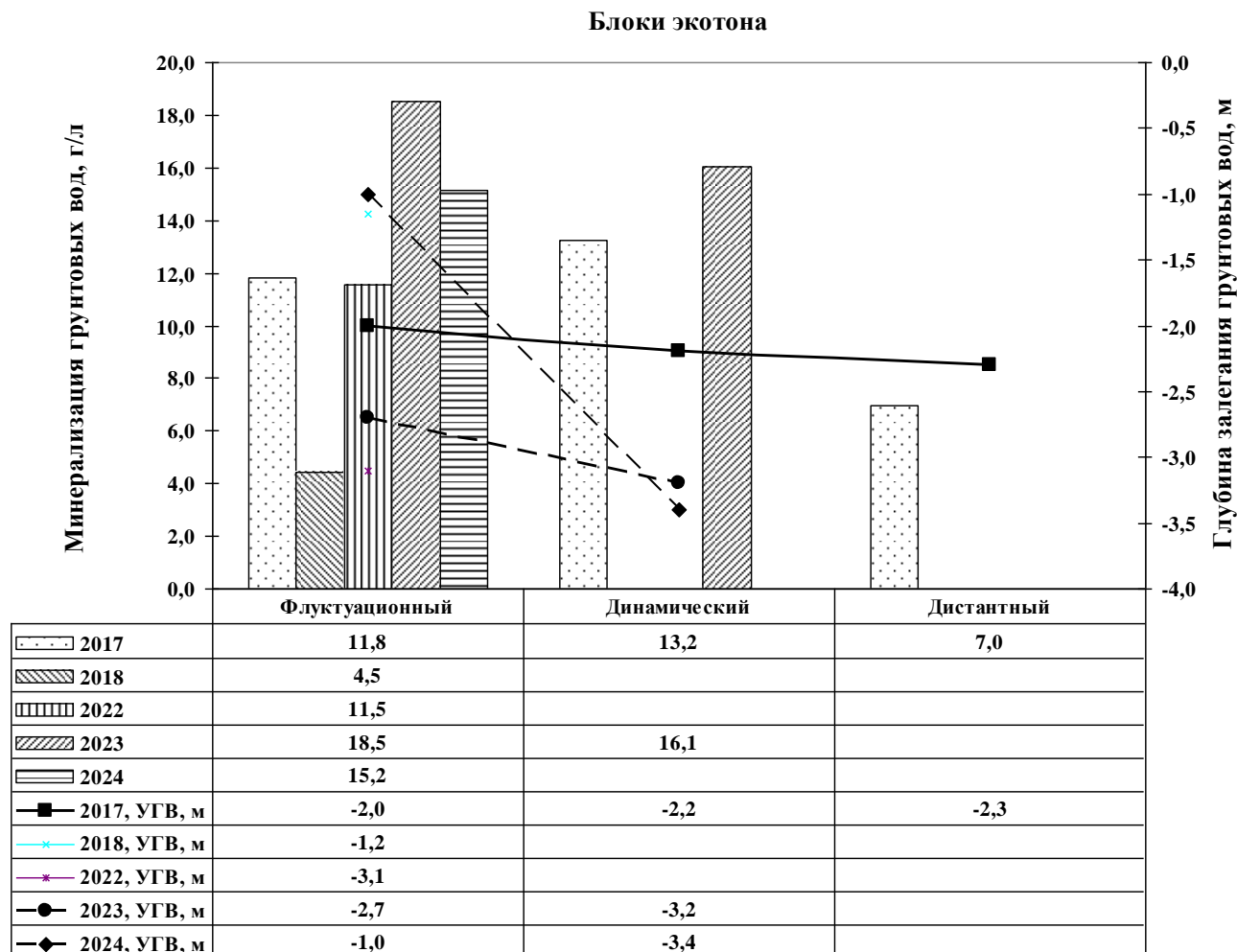


Рис. 10. Минерализация и глубина залегания грунтовых вод в блоках экотона на ключевом участке «Аршань-Зельмень-плотина» в осенний период. **Fig. 10.** Mineralization and depth of groundwater in ecotone blocks in the key area “Arshan-Zelmen-dam” in autumn.

Флуктуационный блок представлен солеросово-сведово-тамариковыми (*Tamarix laxa*–*Suaeda salsa*+*Salicornia perenans*) сообществами. ОПП весной составило 5%. Помимо доминантов здесь произрастали бассия иссополистная (*Bassia hyssopifolia*) и крестовник весенний (*Senecio vernalis*). Осенью ОПП составило 25%, а количество видов увеличилось до 12. Помимо перечисленных видов осенью были отмечены спиробассия волосистая (*Spirobassia hirsuta*), франкения жестковолосая (*Frankenia hirsuta*), сода остролистная (*Soda acutifolia*), скрытница колючая (*Crypsis shoenoides*).

Динамический блок в весенний период достиг ширины около 136 м. В нем выделялись 2 пояса растительности: первый пояс – тамариковые сообщества (*Tamarix laxa*; сомкнутость крон – 0.8-0.9, высота – 0.8 м). Помимо тамарикса здесь произрастали полукустарничек франкения жестковолосая (*Frankenia hirsuta*) и однолетник крестовник весенний (*Senecio vernalis*). Во втором поясе в весенний период произрастали солеросовые сообщества

(*Salicornia perennans*), которые осенью сменились на солеросово-бассиевые (*Bassia hyssopifolia*+*Salicornia perennans*). Также здесь единично произрастали франкения жестковолосая (*Frankenia hirsuta*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), бескильница длинночешуйная (*Puccinellia dolicholepis*), кермек каспийский (*Limonium caspium*). Из сорных видов отмечены турнефорция сибирская (*Argusia sibirica*), крестовник весенний (*Senecio vernalis*), дурнишник колючий (*Xanthium spinosum*). В весенний период количество видов составило 7, в осенний период – 8.



Фото 3. В центре – сообщество *Spirobassia hirsuta*–*Salicornia perennans*, по краям – полосы подроста тамарисков, окруженные высокими тамарисками во флуктуационном блоке в экотонной системе на побережье в центральной части вдхр. Аршань-Зельмень, сентябрь 2023 г. (фото Н.Л. Федоровой). **Photo 3.** In the center – the *Spirobassia hirsuta*–*Salicornia perennans* community, on the left and right – strips of tamarisk undergrowth, surrounded by tall tamarisks in a fluctuation block in an ecotone system on the coast in the central part of the Arshan-Zelmen reservoir, September 2023 (photo by N.L. Fedorova).

Дистантный блок в весенний период достигает ширины около 35 м, в пределах которой выделены два пояса растительности: бассиево-тростниково-тамариковые (*Tamarix laxa*–*Phragmites australis*+*Bassia hyssopifolia*) и полынно-рудерально-тамариковые (*T. laxa*–*Ruderis*+*Artemisia santonica*). В первом поясе количество видов весной насчитывалось 15, ОПП – 90%. В осенний период ОПП составило 80%, количество видов – 8. Помимо доминантов в первом поясе встречались *Puccinellia dolicholepis*, *Argusia sibirica*, пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris*), *Senecio vernalis*, неравноцветник кровельный (*Anisantha tectorum*), мортук пшеничный (*Eremopyrum triticeum*), дескурайния Софии (*Descurainia Sophia*), резушка стрелолистная (*Arabidopsis toxophylla*). Во втором поясе полынно-рудерально-тамариковые сообщества (*T. laxa*–*Ruderis*+*Artemisia santonica*) осенью сменились на злаково-чагераково-сантониннополынно-тамариковые (*T. laxa*–*Artemisia santonica*+*Alhagi pseudalhagi*+*Poa setacea*). Общее проективное покрытие сообщества весной составило 40-50%. Количество видов – 19 весной, 10 – осенью.



Фото 4. Экотонная зона приплотинной части вдхр. Аршань-Зельмень, динамический блок, сообщество *Tamarix ramosissima*+*T. Laxa*–*Chorispora tenella*, *Cardaria draba*, апрель 2024 г. (фото Н.Л. Федоровой). **Photo 4.** Ecotone zone of the dam part of the Arshan-Zelmen reservoir, dynamic block, community of *Tamarix ramosissima* + *T. laxa*–*Chorispora tenella*, *Cardaria draba*, April 2024 (photo by N.L. Fedorova).



Фото 5. Экотонная зона приплотинной части вдхр. Аршань-Зельмень, дистантный блок, второй пояс, сообщество *Tamarix laxa*–*Artemisia santonica*, *A. austriaca*+*Poa bulbosa*, сентябрь 2024 г. (фото Н.Л. Федоровой). **Photo 5.** Ecotone zone of the dam part of the Arshan-Zelmen reservoir, distant block, second belt, *Tamarix laxa*–*Artemisia santonica*, *A. austriaca*+*Poa bulbosa* community, September 2024 (photo by N.L. Fedorova).



Фото 6. Экотонная зона приплотинной части вдхр. Аршань-Зельмень, маргинальный блок, сообщество *Artemisia lerchiana*, *A. santonica*, *A. taurica*+*Stipa sareptana*, *S. lessingiana* +*Poa bulbosa*, апрель 2024 г. (фото Н.Л. Федоровой). **Photo 6.** Ecotone zone of the dam part of the Arshan-Zelmen reservoir, marginal block, community of *Artemisia lerchiana*, *A. santonica*, *A. taurica*+*Stipa sareptana*, *S. lessingiana*+*Poa bulbosa*, April 2024 (photo by N.L. Fedorova).

Маргинальный блок начинался с 550 м. Весной зональная растительность в нем была представлена типчаково-ковыльно-мятликово-лерхопопынными сообществами (*Artemisia lerchiana*+*Poa bulbosa*+*Stipa lessingiana*, *S. sareptana*+*Festuca valesiaca*) на зональных светло-каштановых в комплексе с солонцами почвах. В осенний период сообщества сменились на чагераково-злаково-лерхопопынные (*A. lerchiana*+*Poa*+*Alhagi pseudalhagi*). Помимо доминирующих видов по понижениям довольно обильно встречается *Carex stenophylla*. Среди эфемеров отмечены *Holosteum umbellatum*, *Veronica verna*, *Erophila verna*; среди однолетних видов – *Crepis tectorum*, *Anisantha tectorum* и *Sedobassia sedoides*. Среди многолетнего разнотравья встречены *Prangos odontalgica* и *Galatella villosa*. Были встречены сорные виды *Ranunculus oxyspermus* и *Lappula patula*.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить особенности структурной организации и функционирования экотонных систем на побережье водохранилища Аршань-Зельмень. Средняя ширина экотонных систем составляет 260-300 м, достигая максимального значения (до 5 км) в зоне выклинивания подпора. Все 5 структурных блоков присутствуют на побережье благодаря его пологим склонам. Минерализация поверхностных вод амфибиального блока с 2017 по 2022 гг. увеличивалась с 4 до 10.4 г/л в весенние периоды, с 7.6 до 46.2 г/л в осенние. Произрастающие сообщества – клубнекамышевые, тростниковые (*Bolboschoenus maritimus*, *Phragmites australis*).

Флуктуационный блок на всем побережье имел ширину около 30 м, в маловодные годы (2019-2022 гг.) расширяясь за счет полосы обсыхающего дна, достигающей временами 50 м. Особенностью этого блока были полосы разновозрастных тамарисков, появляющиеся во время обмеления водоема. Между ними располагаются сообщества влаголюбивых и солеустойчивых видов. В зоне выклинивания подпора большие площади занимали

солеросово-сведово-тамариковые сообщества. Грунтовые воды в приплотинной части залежали в разные годы на глубине от 0.6 до 3.1 м в весенний периоды, от 1.2 до 2.7 м в осенние. Минерализация изменялась от 3.4 до 8.6 г/л весной, от 4.5 до 18.5 г/л осенью. Тип засоления – преимущественно сульфатно-хлоридно-натриевый. В зоне выклинивания подпора в этом блоке грунтовые воды весной находились на глубине от 0.6 до 1.6 м с минерализацией от 10.3 до 29.1 г/л. Осенью они залежали на глубине от 0.9 до 2.3 м, а их минерализация изменялась от 17 до 20.5 г/л. Тип засоления – преимущественно хлоридно-сульфатно-натриевый. Почвы – влажные луговые засоленные солончаковатые. Сообщества – маловидовые.

Таблица 4. Компоненты природных экосистем в блоках экотонной системы ключевого участка «Аршань-Зельмень-2», 04.05.2023/20.09.2023. **Table 4.** Components of natural ecosystems in the blocks of the ecotone system of the Arshan-Zelmen-2 key site, 04.05.2023/20.09.2023.

Компоненты экосистем в блоках	Флуктуационный	Динамический		Дистантный		Маргинальный
		109-245/ –	245-337/ –	337-458/ –	458-508/ –	
Расстояние от уреза воды, весна/осень, м	0-109/ –	109-245/ –	245-337/ –	337-458/ –	458-508/ –	с 550/–
Почвы	влажные луговые	собственно луговые		лугово-каштановые		светло-каштановые в комплексе с солонцами
УГВ, весна/осень, м	1.5/2.3	1.6/3.1	2.2/–	2.55/–	–	–
Минерализация ПВ/ГВ, весна/осень, г/л	ПВ –8.7; 29.1/17.4	32.3/30.98	46.8/–	33.6/–	–	–
Тип засоления вод, весна/осень	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , Na ⁺ /Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ /Cl ⁻ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺	–	–
Вес воздушно-сухой фитомассы, весна/осень, г	–/55	–/107	–/93	104/147	39/31	31/11
Количество видов, весна/осень	4/12	3/4	7/8	15/8	19/10	18/13

Ширина динамического блока варьировала от 50 до 150 м в зависимости от водности года. Грунтовые воды в приплотинной части водоема залежали в нем на глубине 2-3 м весной и 2.2-2.5 м осенью. Их минерализация изменялась от 4.4 до 6.4 г/л весной, 13.2 до 16.1 г/л осенью. В зоне выклинивания подпора минерализация была выше – от 13.1 до 32.3 г/л весной, от 17 до 31 г/л осенью. Тип засоления – преимущественно сульфатно-натриево-хлоридный. Почвы – луговые. В зависимости от содоминанта выделялись сообщества:

Tamarix laxa–Phragmites australis, *T. laxa–Salicornia perennans*, *T. laxa–Descurainia sophia*, *Lepidium ruderae*, *Erigeron canadensis*, *Elaeagnus angustifolia+T. laxa–Poaceta+Ruderis*. В динамическом блоке большее количество видов, много (по сравнению с флуктуационным блоком) мезофильных.

Дистантный блок имел наибольшую ширину на побережье. В нем грунтовые воды залегают на глубине от 2.6 до 3.5 м с минерализацией от 25.2 до 33.6 г/л. Тип засоления – натриево-сульфатно-хлоридный. Почвы – лугово-каштановые. Сообщества – полынно-рудерально-тамариковые (*Tamarix laxa–Ruderis+Artemisia santonica*), злаково-чагераково-сантониннополынно-тамариковые (*T. laxa–A. santonica+Alhagi pseudalhagi+Poaceta*).

В маргинальном блоке грунтовые воды залегают на глубине более 5 м. Почвы – зональные светло-каштановые в комплексе с солонцами. Зональная растительность была представлена на коренном берегу центральной части водоема – мятликово-ковыльно-полынными сообществами (*Artemisia lerchiana*, *A. santonica*, *A. taurica+Stipa sareptana*, *S. Lessingiana+Poa bulbosa*), в зоне выклинивания подпора – типчаково-ковыльно-мятликово-лерхополынными сообществами (*Artemisia lerchiana+Poa bulbosa+Stipa lessingiana*, *S. sareptana+Festuca valesiaca*).

В растительности почти всех блоков экотона присутствуют тамариксы. Они маркируют положение уровня водоема. Самые старые полосы тамариксов отмечены на южном берегу, где они маркируют положение уровня водоема в 1930-1940-е гг., который был на 5 м выше современного.

Грунтовые воды в экотонной зоне питаются из водоема, о чем свидетельствует их заглубление по мере удаления от уреза воды и увеличение их минерализации.

Совместный анализ изменения режима водоема и структурно-функциональной организации экотонных систем по результатам мониторинга 2001-2023 гг. показывает, что в блоках систем произошли направленные изменения: во флуктуационном блоке – при обмелении водохранилищ происходит расширение блока до 150 м, увеличение минерализации ПВ и ГВ в 2.5-4 раза и увеличение обилия галофитов; в динамическом блоке – увеличение минерализации ГВ в 1.5 раза, увеличение обилия галофитов, сорной растительности; в дистантном и маргинальном блоках – увеличение обилия сорной растительности. Исследования показали, что при падении уровня водохранилища Аршань-Зельмень на 4.6 м произошли глубокие изменения как в самом водоеме, так и в окружающих его ландшафтах.

Выводы

Аршань-Зельмень – водоем, формирующийся в южной подзоне степной зоны и особенности его функционирования определяются природными условиями этой зоны: основное питание водоема – атмосферное. Для двух питающих водоем притоков, как и для всех малых рек этой зоны характерен непродолжительный и маломощный весенний паводок и полное отсутствие стока в остальные сезоны года. Минерализация воды очень сильно зависит от колебаний атмосферного увлажнения, и к осени засоление его вод всегда выше, чем в весенний период. Минерализация поверхностных вод водоема со времени его создания постепенно увеличивается от 2.4 г/дм³ в 1980-х гг. до 4.2 г/дм³ к началу наблюдений. В 2001-2017 гг. в период наблюдений среднее значение минерализации было в половину ниже, чем за весь период и изменялось от 4 г/дм³ весной до 7 г/дм³ осенью. С 2017 по 2022 гг. минерализация водоема увеличивалась от 9.4 до 21.72 г/дм³ в весенние периоды и от 14.9 до 68.62 г/дм³ в осенние.

Выполненный по материалам дистанционного зондирования анализ среднесуточных значений площади водной поверхности за период наблюдений показывает уменьшение размеров водоема в 3 раза. Минимальные и максимальные значения уровня водохранилища

составили 25.0 м абс. в 2021 году, 29.6 м абс. в 1990 году. Таким образом, за все годы наблюдений максимальное изменение уровня составило 4.6 м.

Природные комплексы на побережье являются интразональными в степной зоне. Они представлены экотонными системами «вода–суша» на побережье водохранилища. Средняя ширина экотонов водоема составляет 260-300 м, максимального значения (до 5 км) она достигает в зоне выклинивания подпора. Все пять структурных блоков присутствуют на побережье благодаря пологим склонам побережья. По результатам мониторинга 2001-2023 гг. были установлены произошедшие изменения в блоках экотонных систем: во флуктуационном блоке – при обмелении водохранилища происходит расширение блока до 150 м, увеличение минерализации ПВ и ГВ в 2.5-4 раза и увеличение обилия галофитов; в динамическом блоке – увеличение минерализации ГВ в 1.5 раза, увеличение обилия галофитов, сорной растительности; в дистантном и маргинальном блоках – увеличение обилия сорной растительности. Грунтовые воды экотонной зоне питаются из водоема, о чем свидетельствует заглупление их мере удаления от уреза воды и увеличение их минерализации. Исследования показали, что при падении уровня водохранилища Аршань-Зельмень на 4.6 м произошли глубокие изменения как в самом водоеме, так и в окружающих его ландшафтах.

Финансирование. Методическое обеспечение работы и анализ данных выполнены в рамках темы № FMWZ-2025-0002 «Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод» Государственного задания Института водных проблем РАН; полевые работы выполнены в рамках темы «Геоэкологический мониторинг водных объектов Республики Калмыкия и прилегающих к ним территорий с применением материалов дистанционного зондирования Земли» Государственного задания Института комплексных исследований аридных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. *Авакян А.Б., Лебедева И.П.* 2002. Водохранилища XX века как глобальное географическое явление // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 3. С. 13-20.
2. *Бакинова Т.И.* 2000. Эколого-экономические проблемы аграрного землепользования в аридной зоне. Ростов-на-Дону. 314 с.
3. *Бакташева Н.М.* 2000. Флора Калмыкии и ее анализ. Элиста: АПП «Джангар». 136 с.
4. *Бананова В.А.* 1990. Современное состояние и прогноз антропогенного опустынивания на территории Калмыцкой АССР // Бюллетень МОИП. Отделение
1. Avakyan AB, Lebedeva IP. Reservoirs of the twentieth century as a global geographical phenomenon [Vodokhranilishcha KHKH veka kak global'noye geograficheskoye yavleniye]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk] Geographical Series [Seriya geograficheskaya]*. 2002;3:13-20.
2. Bakinova TI. Ecological and economic problems of agricultural land use in the arid zone [Ekologo-ekonomicheskkiye problemy agrarnogo zemlepol'zovaniya v aridnoy zone]. Rostov-on-Don, 2000:314.
3. Baktasheva NM. Flora of Kalmykia and its analysis [Flora Kalmykii i yeye analiz]. Elista: APP "Dzhangar", 2000:136.
4. Bananova VA. Current state and forecast of anthropogenic desertification in the Kalmyk ASSR [Sovremennoye sostoyaniye i prognoz antropogennogo opustynivaniya na territorii Kalmytskoy ASSR].

- биология. Т. 95. Вып. 2. С. 108-118.
5. *Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Очирова Е.Н.* 2011. Эколого-энергетическая эффективность рисовых агроландшафтов Сарпинской низменности // *Плодородие*. № 2. С. 21-22.
 6. *Виноградов Б.В., Глазовский Н.Ф., Габунщина Э.Б.* 1996. Программа действий по борьбе с опустыниванием в Калмыкии // *Аридные экосистемы*. Т. 2-3. С.103-111.
 7. *Виноградов Б.В., Кулик К.Н.* 1996. Картографирование динамики опустынивания земель по повторным аэро- космическим снимкам // *Известия РАН. Серия географическая*. № 2. С. 131-140.
 8. *Водные ресурсы России и их использование.* 2008 / Ред. И.А. Шикломанов. С.-Пб.: Государственный гидрологический институт. 600 с.
 9. В старейшем водоеме Калмыкии погибла вся рыба. 2020 [Электронный ресурс <https://www.mk-kalm.ru/incident/2020/10/17/v-stareyshem-vodoeme-kalmykii-pogibla-vsya-ryba.html>] (дата обращения 18.02.2021).
 10. *Водохозяйственная карта Республики Калмыкия.* 2003. М. 1:500000 / Сост. С.С. Уланова, В.Ц. Дюмкеева, Е.В. Цуцкин. Элиста: КИСЭиПИ. 1 л.
 11. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* 1997. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: А и Б. 296 с.
 12. ГН 2.1.5.1315-03. 2003. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/429481>
 13. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists [Byulleten' MOIP] Department of Biology [Otdeleniye biologiya].* 1990;95 (2):108-118.
 5. *Borodychev VV, Dedova EB, Ochirova EN.* Ecological and energy efficiency of rice agrolandscapes of the Sarpinskaya lowland [Ekologo-energeticheskaya effektivnost' risovykh agrolandshaftov Sarpinskoy nizmennosti]. *Soil Fertility [Plodorodie]*. 2011;2:21-22.
 6. *Vinogradov BV, Glazovsky NF, Gabunschina EB.* Action program to combat desertification in Kalmykia [Programma deystviy po bor'be s opustynivaniyem v Kalmykii]. *Arid Ecosystems*. 1996;2-3:103-111.
 7. *Vinogradov BV, Kulik KN.* Mapping the dynamics of land desertification using repeated aerospace images [Kartografirovaniye dinamiki opustynivaniya zemel' po povtornym aero- kosmicheskim snimkam]. *Bulletin of the Russian Academy of Science [Izvestiya RAN] Geographical Series [Seriya geograficheskaya]*. 1996;2:131-140.
 8. *Water resources of Russia and their use [Vodnyye resursy Rossii i ikh ispol'zovaniye]* / ed. I.A. Shiklomanov. Saint-Petersburg: Gosudarstvennyy gidrologicheskiy institut, 2008:600.
 9. All the fish died in the oldest reservoir in Kalmykia [*V stareyshem vodoyeme Kalmykii pogibla vsya ryba*]. 2020, Available at <https://www.mk-kalm.ru/incident/2020/10/17/v-stareyshem-vodoeme-kalmykii-pogibla-vsya-ryba.html> (Date of Access 18/02/2021).
 10. *Water management map of the Republic of Kalmykia, Scale 1:500,000 [Vodokhozyaystvennaya karta Respubliki Kalmykiya]* / eds. S.S. Ulanova, V.Ts. Dyumkeeva, E.V. Tsutskin. Elista: KISEiPI, 2003:1.
 11. *Garbuk SV, Gershenzon VE.* Space systems for remote sensing of the Earth [*Kosmicheskiye sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli*]. Moscow: A i B, 1997:296.
 12. *Sanitary standards 2.1.5.1315-03 [GN 2.1.5.1315-03] Maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in water bodies for domestic and drinking water use and cultural and household water use [Predel'no-dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'yektov khozyaystvenno-pit'yevogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya]*. 2003, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815336.htm> (Date of Access 18/02/2021).
 13. All-Union state standard 26424-85 [*GOST 26424-85*]

- 5/4294815336.htm (дата обращения 18.02.2021)].
13. ГОСТ 26424-85. 1985. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828014.htm> (дата обращения 18.02.2021)].
 14. ГОСТ 26425-85. 1985. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828013.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
 15. ГОСТ 26426-85. 1985. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828012.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
 16. ГОСТ 26427-85. 1985. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data/292/29235.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
 17. ГОСТ 26428-85. 1985. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828010.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
 18. ГОСТ 26483-85. 1985. Почвы. Определение pH солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294827/4294827946.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
 19. ГОСТ 26449.1-85. 1985. Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы *Soils [Pochvy] Method for determination of carbonate and bicarbonate ions in aqueous extract [Metod opredeleniya ionov karbonata i bikarbonata v vodnoy vytyazhke]*. 1985, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828014.htm> (Date of Access 18/02/2021).
 14. All-Union state standard 26425-85 [*GOST 26425-85 Soils [Pochvy] Methods for determination of chloride ion in aqueous extract [Metody opredeleniya iona khlorida v vodnoy vytyazhke]*]. 1985, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828013.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
 15. All-Union state standard 26426-85 [*GOST 26426-85 Soils [Pochvy] Methods for determination of ion sulfate in aqueous extract [Metody opredeleniya ionasul'fata v vodnoy vytyazhke]*]. 1985, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828012.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
 16. All-Union state standard 26427-85 [*GOST 26427-85 Soils [Pochvy] Method for determination of sodium and potassium in aqueous extract [Metod opredeleniya natriya i kaliya v vodnoy vytyazhke]*]. 1985, Available at <https://meganorm.ru/Data/292/29235.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
 17. All-Union state standard 26428-85 [*GOST 26428-85 Soils [Pochvy] Methods for determination of calcium and magnesium in aqueous extract [Metody opredeleniya kal'tsiya i magniya v vodnoy vytyazhke]*]. 1985, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828010.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
 18. All-Union state standard 26483-85 [*GOST 26483-85 Soils [Pochvy] pH detection of a salt extract, exchange acidity, exchange cations, nitrate content, exchange ammonium and mobile sulfur by the methods of the Central Information Scientific and Analytical Association [Opredeleniye pH solevoy vytyazhki, obmennoy kislotnosti, obmennykh kationov, sodержaniya nitratov, obmennogo ammoniya i podvizhnoy sery metodami TsINAO]*]. 1985, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294827/4294827946.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
 19. All-Union state standard 26449.1-85 [*GOST 26449.1-85 Stationary distillation desalination plants [Ustanovki distillyatsionnyye opresnitel'nyye stacionarnyye] Methods of chemical analysis of salt waters [Metody khimicheskogo analiza solenyykh vod]*]. 1985, Available at

- химического анализа соленых вод [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294850/4294850335.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
20. Груздева Л.П., Груздев В.С., Павлова Е.О. 2005. Барьерные функции экотонов и их роль в оптимизации агроландшафтов // Научное и кадровое обеспечение земельно-имущественного комплекса России. Материалы международной конференции. М.: ГУЗ. С. 141-145.
 21. Данилов-Данильян В.И., Новикова Н.М., Назаренко О.Г. 2023. Экологические последствия создания и функционирования водохранилищ в степной зоне // Экосистемы: экология и динамика. Т. 7. № 4. С. 5-28.
 22. Дедова Е.Б. 2018. Зональная шкала оценки качества поливных вод Республики Калмыкия // Синергия. № 1. С. 88-95.
 23. Демкин О.В., Руднева Л.В. 2003. Приемы снижения негативного влияния полива минерализованными водами // Охрана почв Калмыкии и прилегающих территорий. Вып. 2. С. 169-170.
 24. Джанова Р.Р. 2008. Динамика пастбищ и сенокосов Калмыкии. Элиста: Изд-во Калмыцкого университета. 208 с.
 25. Доскач А.Г. 1971. Природное районирование // Юго-восток европейской части СССР. М.: Наука. С. 203-219.
 26. Залетаев В.С. 1997. Структурная организация экотонов в контексте управления // Экотоны в биосфере / Ред. В.С. Залетаев. М.: РАСХН. С. 11-30.
 27. Коронкевич Н.И. 2014. Обобщение знания о гидрологии озер и водохранилищ // Известия Российской академии наук. Серия <https://meganorm.ru/Data2/1/4294850/4294850335.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
 28. Gruzdeva LP, Gruzdev VS, Pavlova EO. Barrier functions of ecotones and their role in optimization of agricultural landscapes [*Bar'yernyye funktsii ekotonov i ikh rol' v optimizatsii agrolandshaftov*] *Scientific and personnel support of the land and property complex of Russia* [*Nauchnoye i kadrovoye obespecheniye zemel'no-imushchestvennogo kompleksa Rossii*] *Proc. of the international conference* [*Materialy mezhdunarodnoy konferentsii*]. Moscow: GUZ, 2005:141-145.
 21. Danilov-Danilyan VI, Novikova NM, Nazarenko OG. Environmental consequences of the creation and operation of reservoirs in the steppe zone [*Ekologicheskiye posledstviya sozdaniya i funktsionirovaniya vodokhranilishch v stepnoy zone*]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2023;7 (4):5-28.
 22. Dedova EB. Zonal scale for assessing the quality of irrigation waters in the Republic of Kalmykia [*Zonal'naya shkala otsenki kachestva polivnykh vod Respubliki Kalmykiya*]. *Synergy*. 2018;1:88-95.
 23. Demkin OV, Rudneva LV. Methods for reducing the negative impact of irrigation with mineralized waters [*Priyemy snizheniya negativnogo vliyaniya poliva mineralizovannymi vodami*] *Soil protection in Kalmykia and adjacent territories* [*Okhrana pochv Kalmykii i prilegayushchikh territoriy*]. 2003;2:169-170.
 24. Dzhapova RR. Dynamics of pastures and hayfields in Kalmykia [*Dinamika pastbishch i senokosov Kalmykii*]. Elista: Izd-vo Kalmytskogo universiteta, 2008:208.
 25. Doskach AG. Natural zoning [*Prirodnoye rayonirovaniye*] *South-east of the European part of the USSR* [*Yugo-vostok yevropeyskoy chasti SSSR*]. Moscow: Nauka, 1971:203-219.
 26. Zaletaev VS. Structural organization of ecotones in the context of management [*Strukturnaya organizatsiya ekotonov v kontekste upravleniya*] *Ecotones in the biosphere* [*Ekotony v biosfere*] / ed. V.S. Zaletaev. Moscow: RASKHN, 1997:11-30.
 27. Koronkevich NI. Generalization of knowledge on the hydrology of lakes and reservoirs [*Obobshcheniye znaniya o gidrologii ozer i vodokhranilishch*]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences* [*Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk*] *Geographical Series* [*Seriya geograficheskaya*]. 2014;6:154.
 28. Kravchenko YuV, Rudneva LV. Use of mineralized waters for irrigation in the dry steppe zone of Kalmykia

- географическая. № 6. С. 154.
28. *Кравченко Ю.В., Руднева Л.В.* 2001. Использование минерализованных вод для орошения в условиях сухостепной зоны Калмыкии // Проблемы социально-экологического развития аридных территорий России. М. Т. 1. С. 323-327.
29. *Кузьмина Ж.В.* 2005. Анализ изменений многолетних метеорологических характеристик для оценки динамики экосистем // Отчет ИПВ РАН по теме «Оценка трансформации природных комплексов под влиянием природных и антропогенных изменений вод суши». М.: ИВП РАН. С. 8-18.
30. *Новикова Н.М.* 2006. Достижения и задачи в изучении экотонных систем // Аридные экосистемы. Т. 12. № 30-31. С. 17-24.
31. *Новикова Н.М., Уланова С.С.* 2008. Эколого-географическая оценка искусственных водоемов Калмыкии и экотонных систем «вода–суша» на их побережьях // Проблемы региональной экологии. № 2. С. 33-39.
32. *Овчинников А.С., Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Сазанов М.А.* 2015. Мониторинг водных ресурсов Республики Калмыкия и проблемы экосистемного водопользования в агропромышленном комплексе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. № 3 (39). С. 9-19.
33. *Оконов М.М.* 1996. Приемы управления продуктивностью и качеством кормов в программированных посевах // Повышение эффективности кормления и разведения сельскохозяйственных животных. Элиста. С. 100-103.
- [*Ispol'zovaniye mineralizovannykh vod dlya orosheniya v usloviyakh sukhostepnoy zony Kalmykii*] *Problems of socio-ecological development of arid territories of Russia [Problemy sotsial'no-ekologicheskogo razvitiya aridnykh territoriy Rossii]*. Moscow, 2001;1:323-327.
29. *Kuzmina ZhV.* Analysis of changes in long-term meteorological characteristics for assessing the dynamics of ecosystems [*Analiz izmeneniy mnogoletnikh meteorologicheskikh kharakteristik dlya otsenki dinamiki ekosistem*] *Report of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences on the topic "Assessment of the transformation of natural complexes under the influence of natural and anthropogenic changes in land waters" [Otchet IPV RAN po teme "Otsenka transformatsii prirodnykh kompleksov pod vliyaniem prirodnykh i antropogennykh izmeneniy vod sushi"]*. Moscow: IVP RAN, 2005:8-18.
30. *Novikova NM.* Achievements and tasks in the study of ecotone systems [*Dostizheniya i zadachi v izuchenii ekotonnykh sistem*]. *Arid Ecosystems*. 2006;12 (30-31):17-24.
31. *Novikova NM, Ulanova SS.* Ecological and geographical assessment of artificial reservoirs of Kalmykia and ecotone systems "water–land" on their coasts [*Ekologo-geograficheskaya otsenka iskusstvennykh vodoyemov Kalmykii i ekotonnykh sistem «voda–susha» na ikh poberezh'yakh*]. *Problems of Regional Ecology [Problemy regional'noy ekologii]*. 2008;2:33-39.
32. *Ovchinnikov AS, Borodychev VV, Dedova EB, Sazanov MA.* Monitoring of water resources of the Republic of Kalmykia and problems of ecosystem water use in the agro-industrial complex [*Monitoring vodnykh resursov Respubliki Kalmykiya i problemy ekosistemnogo vodopol'zovaniya v agropromyshlennom komplekse*]. *News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education [Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye obrazovaniye]*. 2015;3 (39):9-19.
33. *Okonov MM.* Methods of managing the productivity and quality of feed in programmed crops [*Priyemy upravleniya produktivnost'yu i kachestvom kormov v programmirovannykh posevakh*] *Improving the efficiency of feeding and breeding farm animals [Povysheniye effektivnosti kormleniya i razvedeniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh]*. Elista, 1996:100-103.

34. Природные комплексы побережья Цимлянского водохранилища. 2014 / Ред. Н.М. Новикова. М.: Агронаучсервис. 152 с.
35. Руднева Л.В. 1999. Регулирование баланса питательных веществ в орошаемом кормовом севообороте в полупустынной зоне Калмыкии // Современные проблемы мелиораций и пути их решения. Москва. С. 118-135.
36. СанПин 2.1.5.980-00. 1999. Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Электронный ресурс <https://meganorm.ru/Data2/1/4294848/4294848185.pdf> (дата обращения 18.02.2021)].
37. Ташнинова Л.Н. 2000. Красная книга почв и экосистем Калмыкии. Элиста: АПП «Джангар». 216 с.
38. Ташнинова Л.Н., Хими́на Е.Г., Богун А.П. 1998. Биоэкологические условия роста защитных лесонасаждений на юге Ергеней. Элиста. 106 с.
39. Троц В.Б. 2008. Одновидовые и совместные посевы суданской травы на зеленую массу // Земледелие. № 5. С. 29-30.
40. Уланова С.С. 2010. Эколого-географическая оценка искусственных водоемов Калмыкии и экотонных систем «вода–суша» на их побережьях. М.: РАСХН. 263 с.
41. Уланова С.С., Новикова Н.М., Горяев И.А. 2024. Пространственно-временное изменение минерализации воды искусственных водоемов Калмыкии // Аридные экосистемы. Т. 31. № 4 (101). С. 151-162.
42. Харин Н.Г. 1998. Роль социальных факторов в процессе деградации земель. Восстановление и использование эродированных земель // Сборник лекций. М.-Волгоград. 132 с.
34. Natural complexes of the Tsimlyansk reservoir coast [*Prirodnyye komplekсы poberezh'ya Tsimlyanskogo vodokhranilishcha*] / ed. N.M. Novikova. Moscow: Agronauchservis, 2014:152.
35. Rudneva LV. Regulation of nutrient balance in irrigated forage crop rotation in the semi-desert zone of Kalmykia [*Regulirovaniye balansа pitatel'nykh veshchestv v oroshayemom kormovom sevooborote v polupustynnoy zone Kalmykii*] *Modern problems of land reclamation and ways to solve them* [*Sovremennyye problemy melioratsiy i puti ikh resheniya*]. Moscow, 1999:118-135.
36. Sanitary rules and regulations 2.1.5.980-00 [*SanPin 2.1.5.980-00*] Hygienic requirements for the protection of surface waters [*Gigiyenicheskiye trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod*]. 1999, Available at <https://meganorm.ru/Data2/1/4294848/4294848185.pdf> (Date of Access 18/02/2021).
37. Tashninova LN. The Red Book of Soils and Ecosystems of Kalmykia [*Krasnaya kniga pochv i ekosistem Kalmykii*]. Elista: APP “Dzhangar”, 2000:216.
38. Tashninova LN, Khimina EG, Bogun AP. Bioecological Conditions for the Growth of Protective Forest Plantations in the South of Yergeni [*Bioekologicheskiye usloviya rosta zashchitnykh lesonasazhdeniy na yuge Yergeney*]. Elista, 1998:106.
39. Trots VB. Single-species and joint sowings of sudan grass for green mass [*Odnovidovyye i sovместnyye posevy sudanskoй travy na zelenuyu massu*]. *Agriculture* [*Zemledeliye*]. 2008;5:29-30.
40. Ulanova SS. Ecological and geographical assessment of artificial reservoirs of Kalmykia and ecotone “water–land” systems on their coasts [*Ekologo-geograficheskaya otsenka iskusstvennykh vodoyemov Kalmykii i ekotonnykh sistem «voda–sushа» na ikh poberezh'yakh*]. Moscow: RASKHN, 2010:263.
41. Ulanova SS, Novikova NM, Goryaev IA. Spatio-temporal changes in water mineralization of artificial reservoirs of Kalmykia [*Prostranstvenno-vremennoye izmeneniye mineralizatsii vody iskusstvennykh vodoyemov Kalmykii*]. *Arid Ecosystems*. 2024;31 (4):151-162.
42. Kharin NG. The role of social factors in the process of land degradation [*Rol' sotsial'nykh faktorov v protsesse degradatsii zemel'*] *Restoration and use of eroded lands* [*Vosstanovleniye i ispol'zovaniye erodirovannykh zemel'*] *Collection of lectures* [*Sbornik lektсий*]. Moscow-Volgograd, 1998:132.

43. Шумаков Б.Б., Багненко В.И., Дудаков Н.К. 1986. Орошение риса и кормовых культур дренажно-сбросными водами // Гидротехника и мелиорация. № 4. С. 61-64.
44. Экология и природные ресурсы Калмыкии на 2002-2010 гг. 2002. Республиканская целевая программа. Элиста: Джангар. 232 с.
43. Shumakov BB, Bagnenko VI, Dudakov NK. Irrigation of rice and forage crops with drainage and waste water [Orosheniye risa i kormovyykh kul'tur drenazhno-sbrosnymi vodami]. *Hydraulic Engineering and Melioration [Gidrotekhnika i melioratsiya]*. 1986;4:61-64.
44. Ecology and natural resources of Kalmykia for 2002-2010 [Ekologiya i prirodnyye resursy Kalmykii na 2002-2010 gg.] *Republican target program [Respublikanskaya tselevaya programma]*. Elista: Dzhangar, 2002:232.

UDC 504.455

NATURE COMPLEXES OF THE ARSHAN-ZELMEN WATER RESERVOIR COAST

© 2025. S.S. Ulanova*, **, N.L. Fedorova*, O.G. Bembeeyeva*,
V.E. Dzhambinov*, L.P. Chetyrev*

**Institute of Complex Studies of Arid Territories*

111, Khomutnikova Str., Elista, 358005, Russia. E-mail: svetaulanova@yandex.ru

***Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*

3, Gubkina, 119333, Moscow, Russia. E-mail: svetaulanova@yandex.ru

Received Januar 01, 2025. Revised Februar 10, 2025. Accepted March 01, 2025.

In the Republic of Kalmykia, water reservoirs were created in the 1930s-1950s. However, their hydrological regimes, water quality, methods of use and surrounding landscapes have undergone massive changes since then. Unfortunately, no studies have been carried out to show specific changes in the quality of water and territories adjacent to the reservoirs that take place due to their creation and use. There is also an absence of studies on the current state of natural complexes along the coasts of reservoirs, as well as transformation of various components of their ecosystems (e.g. vegetation, soils, relief and biota). Therefore, the goal of our work was to characterize the current state of natural complexes on the coast of the Arshan-Zelmen water reservoir. In this study, we decided to identify and characterize the current state and changes in various indicators of the reservoir, such as the area of its water surface, mineralization of its water, features of its structural organization and functioning of ecotone systems on its coast based on the monitoring studies of 2001-2023. We used modern methods of landscape and ecological research, geobotanical indication, topological profiling, statistical processing, geoinformation technologies with the use of relevant materials of space imagery, and methods of the ecotone concept created by V.S. Zaletaev (1997). Analysis of the average long-term values of the water surface area for 1990-2023, carried out on the basis of remote sensing imagery, showed a threefold decrease in the size of the reservoir. The minimum and maximum levels of the reservoir were 25.0 m in 2021, and 29.6 m in 1990, while the maximum level change during the study period was 4.6 m. Since the creation of the reservoir, the mineralization of its surface waters had gradually increased from 2.4 g/dm³ in the 1980s to 9.4-21.72 g/dm³ in the spring of 2022, and then to 14.9-68.62 g/dm³ in the autumn of 2022. With its mineralization increasing in 2001-2017, the reservoir lost its irrigation purpose, and was used for large and small cattle until 2019. With a further salinity increase (to the level of brine) in 2020-2022, the use of this reservoir ceased completely. We revealed some features of the structural and functional organization of ecotone

systems on the coast of the reservoir based on the monitoring of 2001-2023 that showed that there were targeted changes in the blocks of ecotone systems: the fluctuation block expanded up to 150 m due to shallowing; in the fluctuation and dynamic blocks, the mineralization of surface water and groundwater increased by 2.5-4 times, the abundance of halophytes and weeds increased as well. Groundwater in the ecotone zone is fed by the reservoir, as evidenced by groundwater running the deeper the further it flows from the reservoir's rim, and by its increasing mineralization. Our study has shown that profound changes occurred in the Arshan-Zelmen reservoir and the surrounding landscapes when its water level dropped by 4.6 m.

Funding. Methodical part of this research and data analysis were carried out as part of the state task No. FMWZ-2025-0002 for the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences “Research of the Formation Processes of the Surface and Ground Water Quality, Natural and Anthropogenic Mechanisms of Change in the Ecology of Water Bodies, Development of Methods and Technologies for Managing Water Resources and Water Quality”; field part of the research was carried out for the Institute for Comprehensive Research of Arid Territories “Geoecological Monitoring of Water Bodies of the Republic of Kalmykia and Adjacent Territories Using Earth Remote Sensing Data”.

Keywords: artificial water reservoirs, arid zone, Republic of Kalmykia, Arshan-Zelmen water reservoir, area, water mineralization, water–land ecotone systems.

DOI: 10.24412/2542-2006-2025-1-5-34

EDN: EIJJLO