

ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН

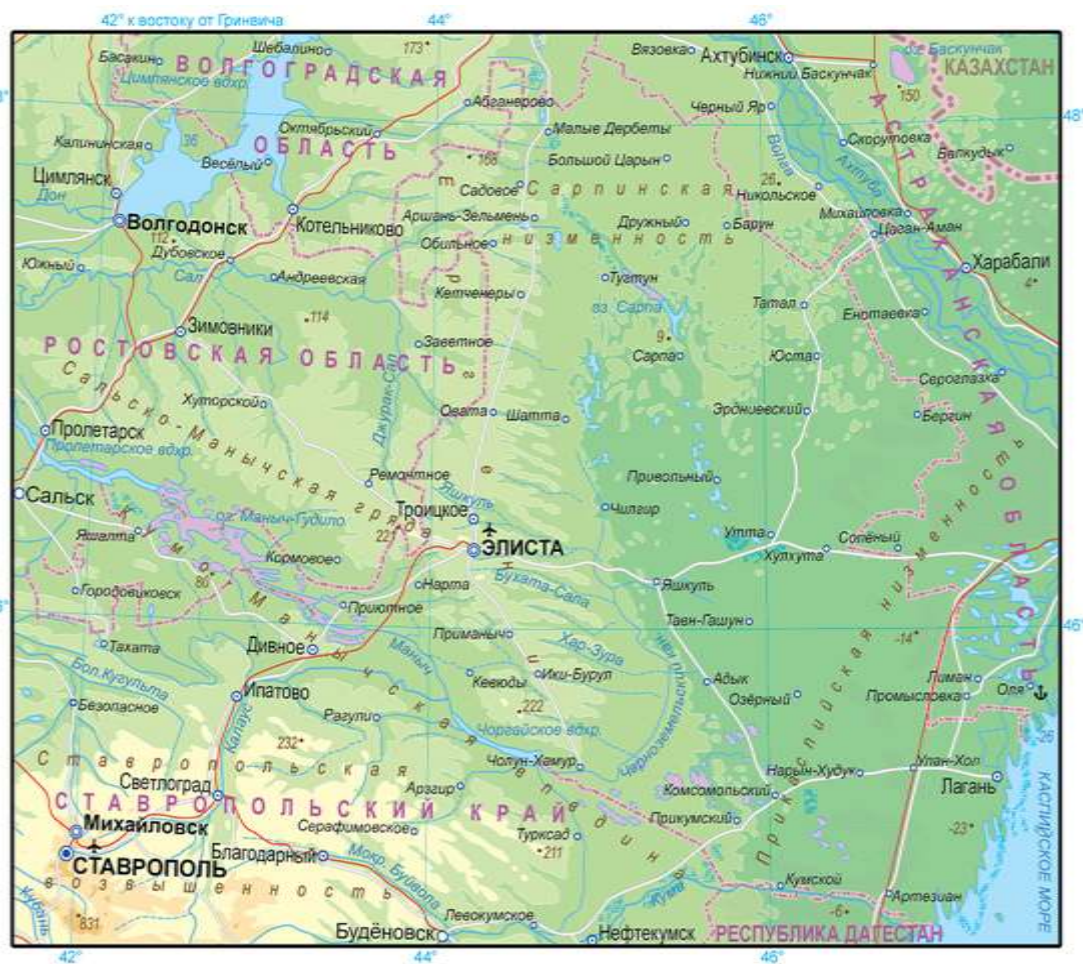
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ АРИДНОЙ ЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Уланова Светлана Сергеевна

Финансирование. Работа выполнена по госзаданию Института водных проблем РАН, тема № 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».

Москва 2025

Республика Калмыкия – один из самых вододефицитных регионов среди субъектов Российской Федерации (объём годового стока рек равен $1.83 \text{ км}^3/\text{год}$) и самых водозависимых (доля привлечённого стока с сопредельных территорий в водохозяйственном балансе составляет более 90%. Водопотребление из собственных водоисточников составляют всего 50 млн. м^3 .



Водные ресурсы РК заключены в 314 объектах, из них 256 – искусственно созданные водоемы (135 водохранилищ и 121 пруд), остальные – не имеющие антропогенного вмешательства – природные (15 озер и 43 малые реки).

Искусственные водоемы создавались в основном для целей ирригации. В 1950-60 гг. построены 5 оросительно-обводнительных систем проектной мощностью 124.5 тыс. га орошения. В настоящий период площадь используемых орошаемых земель по республике уменьшилась до 42 тыс. га.

Эти водоемы также используются для водопоя скота. Для целей питьевого водоснабжения используются 2 водоема.

Оценка состояния искусственных водоемов, их воздействия на окружающую среду и рациональное использование актуальна для вододефицитного региона Калмыкии

Цель работы – показать изменение площади искусственных водоемов Республики Калмыкия в результате их долговременного использования

Задачи:

1. Провести инвентаризацию водоемов Республики Калмыкия, оценить их вклад в обводненность территории и водные ресурсы на фоне изменения климата.
2. Охарактеризовать современное состояние искусственных водоемов и изменение во времени на основе данных долговременного мониторинга:
 - изучить динамику гидрологических параметров (изменение площади водного зеркала, объема, уровня водоема во времени)



ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ – 5 ВОДОЕМОВ

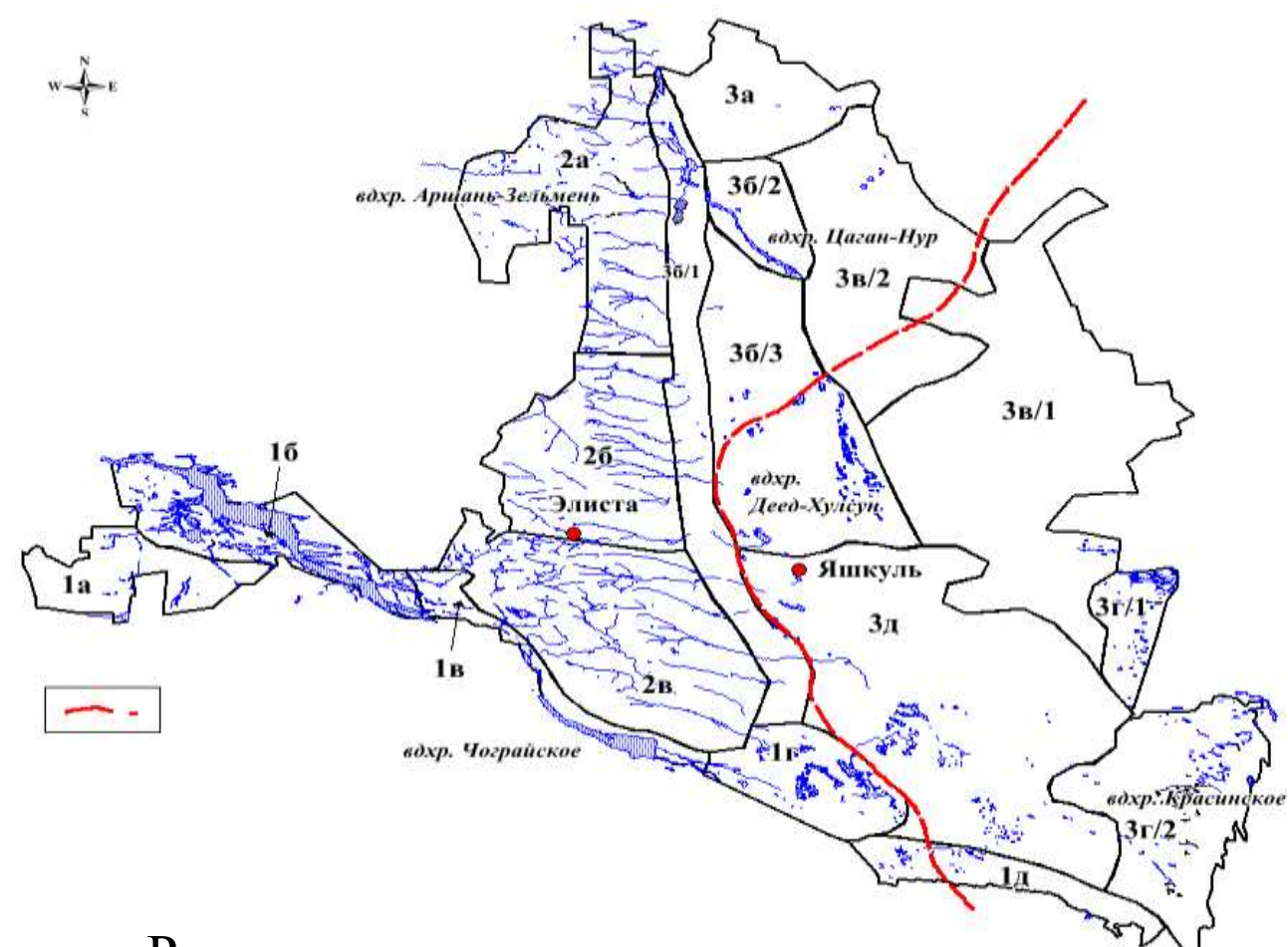
В условиях южной подзоны **степной** зоны:
Аршань-Зельмень, на восточном склоне
возвышенности Ергени;

Цаган-Нур – на Прикаспийской низменности;

Чограйское – в Кумо-Манычской впадине;

В условиях северной подзоны **пустынной** зоны:
Деед-Хулсун и **Красинское** – на Прикаспийской
низменности

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ – трансформация
водоемов и природной среды под их воздействием



Расположение исследованных ключевых водных объектов (на Схеме гидрографической сети Уланова, 2010) и Схеме природного районирования (Борликов, Бананова, 2001).

Условные обозначения: красным – граница степи и пустыни. *1а-3д* – ландшафтные районы: *1а* – Северо-Ставропольский; *1б* – Западно-Манычский; *1в* – Восточно-Манычский; *1г* – Состинский; *1д* – Прикумский; *2а* – Североергенинский, *2б* – Среднеергенинский, *2в* – Южноергенинский; *3а* – Волго-Сарпинский; *3б/1* – Приергенинский, *3б/2* – Сарпинский, *3б/3* – Даванский, *3в/1* – Приволжский восточный, *3в/2* – Приволжский западный, *3г/1* – Приволжский, *3г/2* – Приморский, *3д* – Черноземельский.

Значение климатических норм температуры и осадков за два климатических периода: 1 – 1961-1990 гг., 2 – 1991-2020 гг. по данным метеостанций Элиста и Яшкуль.

Показатель за период	Элиста			Яшкуль		
	Климатический период, годы		Разница между периодами (2-1)	Климатический период, годы		Разница между периодами (2-1)
	1961-1990	1991-2020		1961-1990	1991-2020	
Температура, Т°С, среднее многолетнее значение						
год	9.3	10.2	0.9	10.2	11.2	1.0
зима	-4.6	-3.2	-1.4	-3.8	-2.3	-1.5
весна	9.2	9.9	0.7	10.2	10.9	0.7
лето	23.0	24.1	1.1	24.1	25.3	1.2
осень	9.5	10.1	0.6	10.3	10.9	0.6
теплый период (4-9 мес.)	18.9	19.5	0.6	19.9	20.6	0.7
холодный период [(1-3)+(10-12) мес.]	-0.3	0.9	1.3	0.5	1.8	1.3
Осадки, мм, среднее многолетнее значение суммы						
год	344.1	385.3	41.2	244.1	281.6	37.5
зима	73.0	77.1	4.1	42.7	47.1	4.4
весна	75.2	110.2	35.0	56.6	84.7	28.1
лето	115.3	100.8	-14.5	82.8	81.1	-1.7
осень	80.7	97.2	16.5	62.0	68.7	6.7
теплый период (4-9 мес.)	202.6	212.8	10.2	151.3	169.6	18.3
холодный период [(1-3)+(10-12) мес.]	141.5	172.5	31.0	92.8	112.1	19.3

Сравнение двух климатических периодов по климатическим нормам выявило, что второй период на обеих метеостанциях оказался теплее почти на 1° (0.9 и 1.0°С соответственно), а норма осадков – больше почти на 40 мм (41.1 и 37.5 мм соответственно).

Изменение температуры происходит преимущественно за счет увеличения значений зимнего и летнего периодов, а осадков – за счет увеличения значений осеннего и весеннего периодов и заметного снижения в летний период.

Изучение направленности изменения температуры и осадков внутри климатических периодов позволило выявить наличие статистически значимого положительного тренда в изменении среднегодовой температуры во втором климатическом периоде на обеих метеостанциях и отрицательного статистически значимого тренда в изменении годовой суммы осадков по данным метеостанции Яшкуль.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРЕСУРСНОЙ РОЛИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ.

Ландшафтные районы	Площадь территории, км ² Sp	Площадь водной поверхности искусственных водоемов, км ² Sv	Обводненность Sv/Sp		
			общая	природная	За счет искусственных водоемов
Калмыкия	74500	1201.8	0.024	1.22*/0.008**	0.016
Ергенинский	16790	48.0		0.009	0.003
Прикаспийский	48370	133.5		0.003	0.003
Кумо-Манычский	9734	1010.4		0.026	0.104

* с учетом Волги и Каспийского моря; ** без них

Среднемноголетний объем годового стока на территории Калмыкии 1.83 км³.

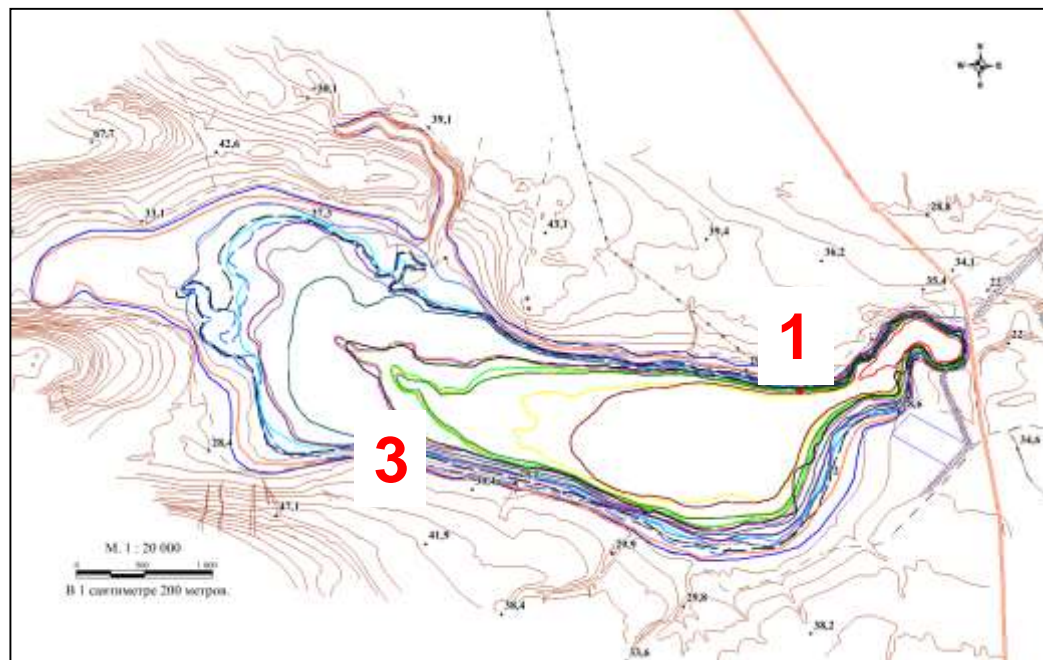
Привлеченный сток из источников за пределами республики составляет 0.7 км³ в год.

Водные ресурсы (статические) за счет искусственных водоемов увеличились на 1.8-2.4 км³

Обводненность территории Калмыкии за их счет увеличилась в 2 раза – с 0.008 до 0.016.

Искусственные водоемы стали важным фактором изменения водных ресурсов и трансформации исходных аридных ландшафтов Калмыкии.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА ВО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

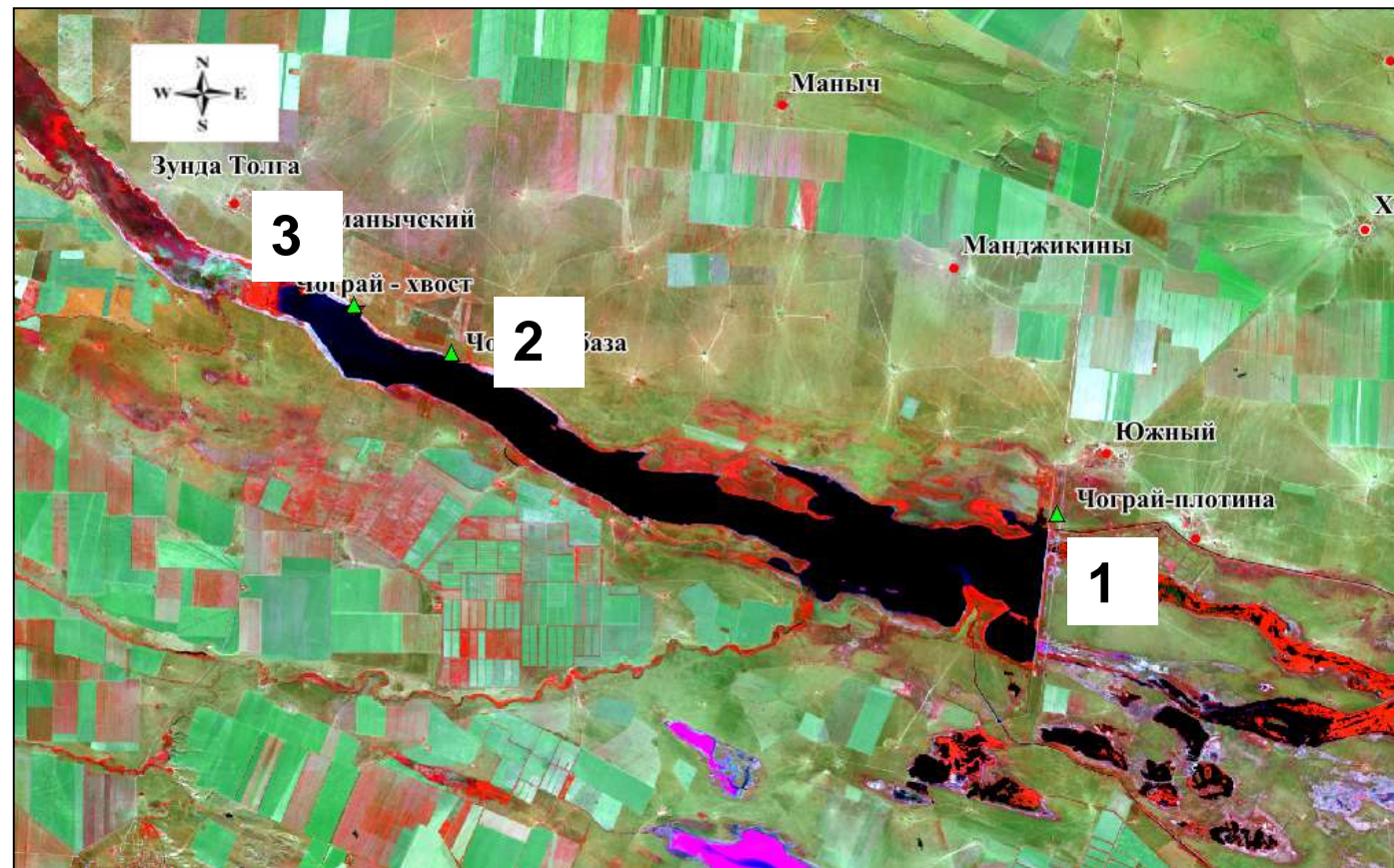


Динамика площади водной поверхности водоема Аршань-Зельмень по материалам аэро- и космосъемки за осенние периоды (сентябрь) 1990-2023 гг. (1, 2 –ключевые участки)

Показатель	max (год)	min (год)	Изменение, в разы
Площадь, км ²	8.07 (1990)	1.1 (2022)	7.3
Уровень, м	29.6 (1990)	25.0 (2022)	на 4.6
Минерализация, г/л	68.62 (2022)	2.4 (1990)	28.5

Год заполнения	1936
Бассейн реки	Аршань-Зельмень
Длина, км (при НПУ)	5.5
Ширина, км (при НПУ)	1.7
Средняя глубина, м	1.5
Площадь водного зеркала при НПУ, км ²	8.11
Полезный объем, млн. м ³ (при НПУ)	26.6
Полный объем, млн. м ³ (при НПУ)	29.4
НПУ	33.0
ФПУ	33.7
УМО	26.0
Ширина плотины, м	10
Длина плотины, м	340
Назначение и использование	орошение, рыболовство, водопой

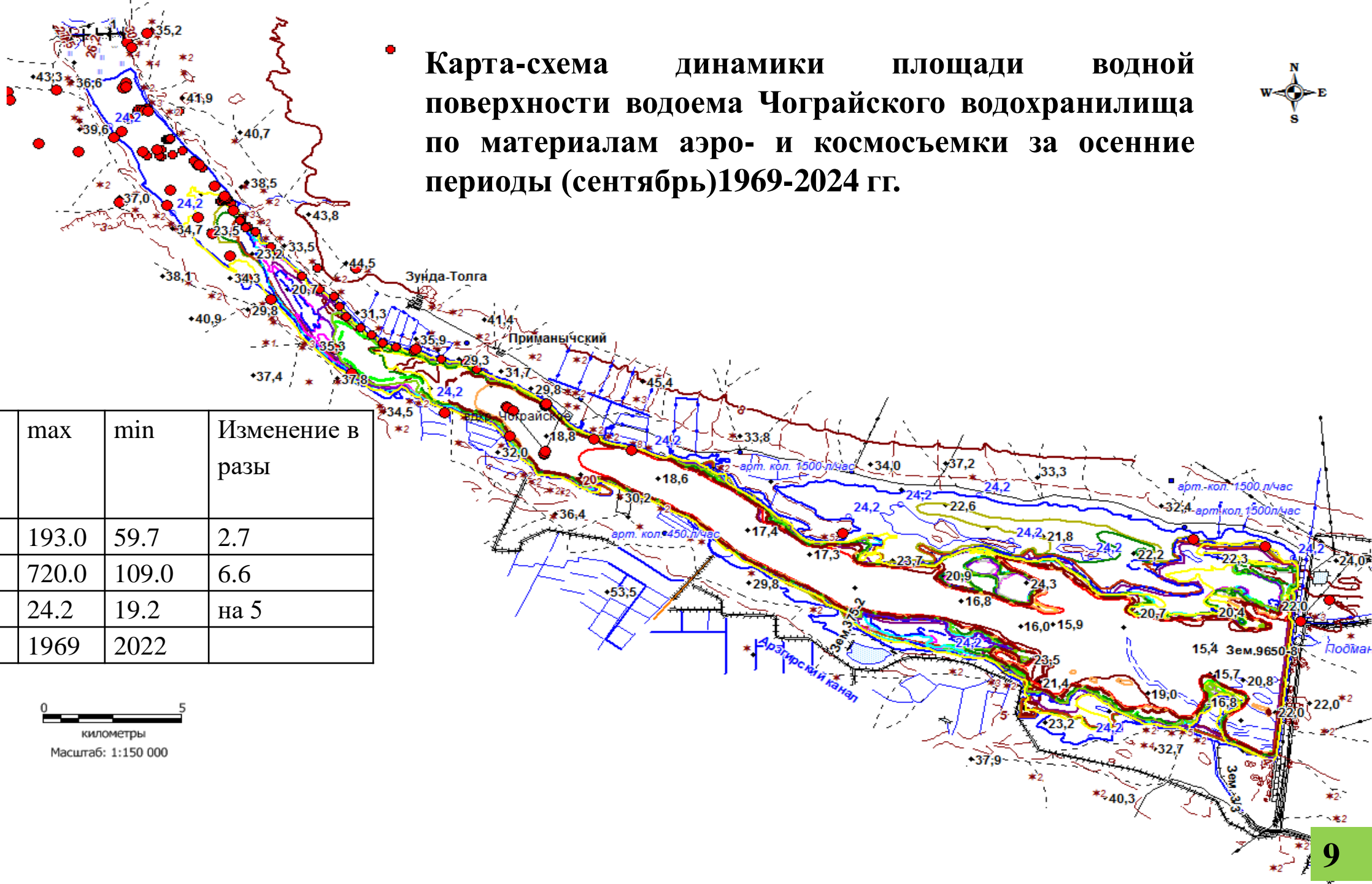
Чограйское водохранилище



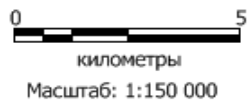
Год заполнения	1970
Бассейн реки	Восточный Маньч
Длина, км (при НПУ)	48.8
Ширина, км (при НПУ)	8.8
Средняя глубина, м	3.7
Площадь водного зеркала при НПУ, км ²	193
Полезный объем, млн. м ³ (при НПУ)	670
Полный объем, млн. м ³ (при НПУ)	720
НПУ	33.0
ФПУ	33.7
УМО	26.0
Ширина плотины, м	10
Длина плотины, м	340
Назначение	Питьевое водоснабжение, орошение, рыбоводство

Расположение ключевых участков на Чограйском водохранилище. Фрагмент космического изображения с ИСЗ «Landsat-8», камера OLI-TIRS, 29 сентября 2024 г., синтез каналов 4,6,3. Масштаб в 1 см: 2 км.

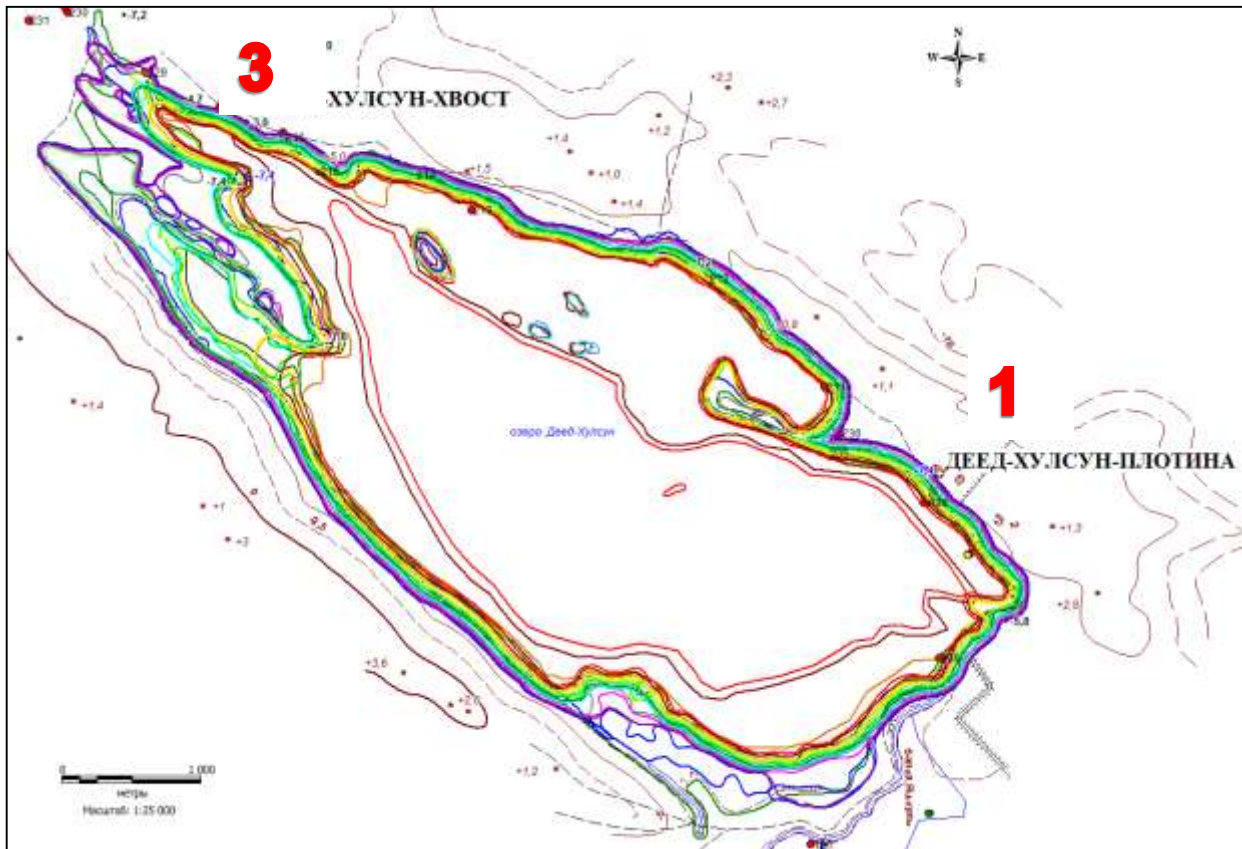
Карта-схема динамики площади водной поверхности водоема Чограйского водохранилища по материалам аэро- и космосъемки за осенние периоды (сентябрь) 1969-2024 гг.



Показатель	max	min	Изменение в разы
Площадь, км ²	193.0	59.7	2.7
Объем, млн. м ³	720.0	109.0	6.6
Уровень, м	24.2	19.2	на 5
Годы	1969	2022	



Водохранилище Деед-Хулсун

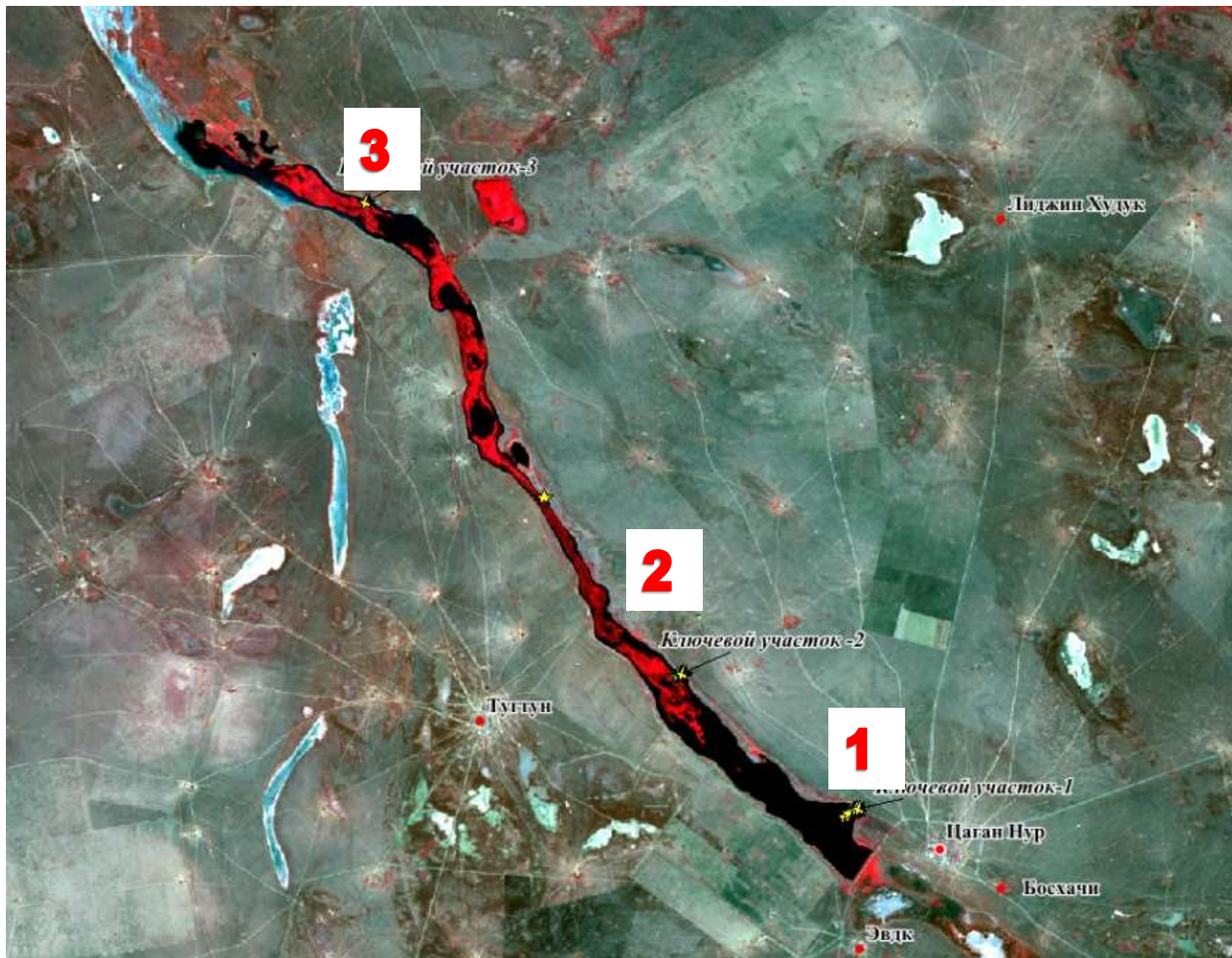


Год заполнения	1975
Бассейн реки	Яшкуль
Длина, км (при НПУ)	13
Ширина, км (при НПУ)	3-4
Средняя глубина, м	2.2
Площадь водного зеркала при НПУ, км ²	22
Полезный объем, млн. м ³ (при НПУ)	18
Полный объем, млн. м ³ (при НПУ)	22.1
НПУ	-7.0
ФПУ	
УМО	
Ширина плотины, м	7
Длина плотины, м	1200
Назначение	Водоприемник СДВ, рыбоводство, водопой скота

Изменение площади водной поверхности водоема Деед-Хулсун по материалам космосъемки за 1975-2024 гг.

Показатель	max	min	Изменение в разы
Площадь, км ²	17.21	6.54	2.6
Объем, млн. м ³	23.1	3.1	7.4
Уровень, м	-7.2	-8.65	на 1.7
Годы	1988	1999	

Водохранилище Цаган-Нур



Расположение ключевых участков. Фрагмент космического сканерного изображения с ИСЗ «Landsat-8» (камера OLI-TIRS) от 29.09.2024 г.

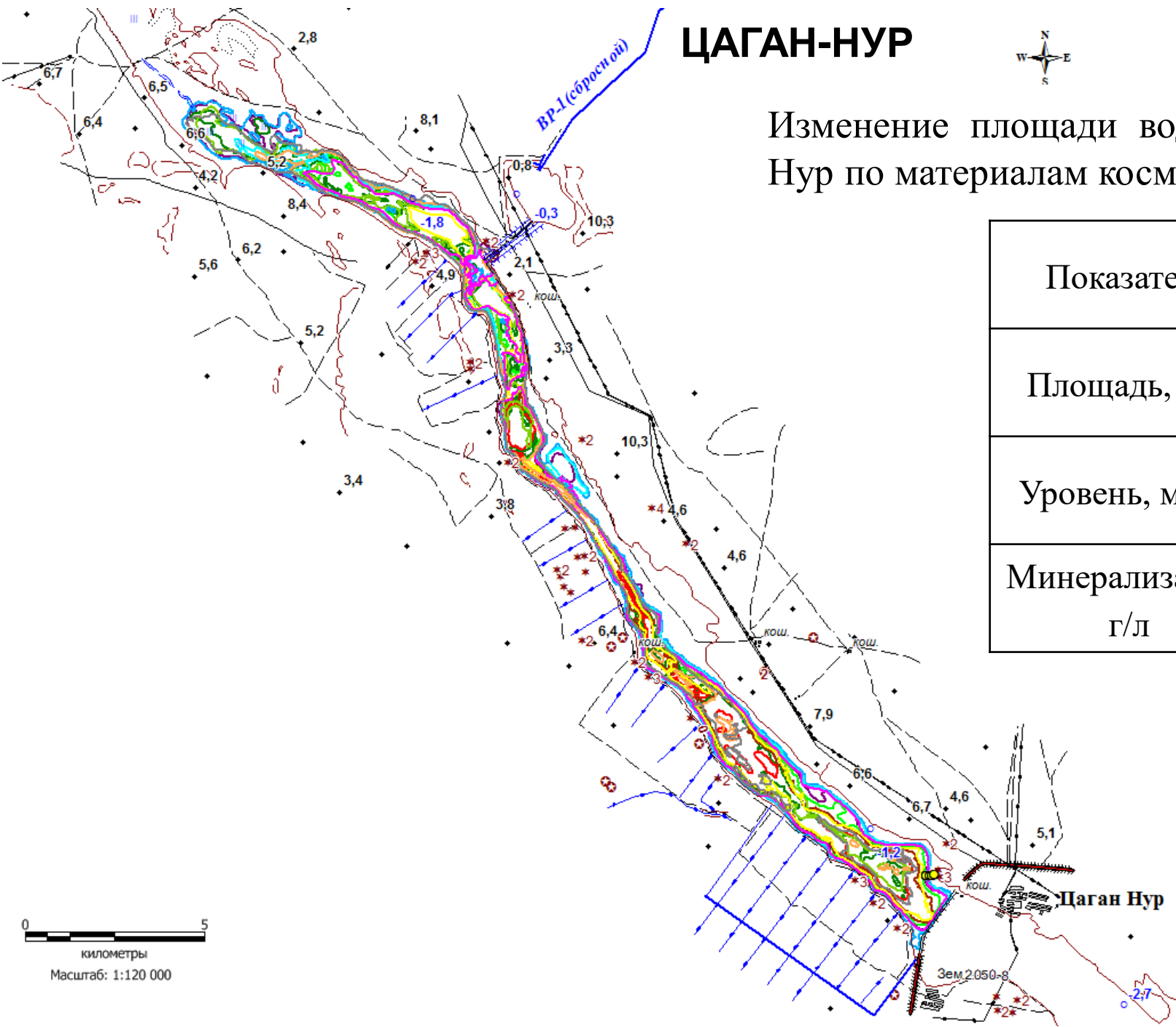
Год заполнения	1978-1979
Бассейн реки	древнее русло Волги
Длина, км (при НПУ)	45
Ширина, км (при НПУ)	0.7-1.5
Средняя глубина, м	1.15
Площадь водного зеркала при НПУ, км ²	45.41
Полезный объем, млн. м ³ (при НПУ)	62
Полный объем, млн. м ³ (при НПУ)	84
НПУ	-0.68
ФПУ	
УМО	-2.10
Ширина плотины, м	10
Длина плотины, м	2000
Назначение	Водоприемник СДВ, рыбоводство, водопой скота

ЦАГАН-НУР



Изменение площади водной поверхности водоема Цаган-Нур по материалам космосъемки за 1978-2024 гг.

Показатель	max (год)	min (год)	Изменение в разы
Площадь, км ²	60.80 (2004)	6.41 (2018)	9
Уровень, м абс	-0.65 (2004)	-3.0 (2018)	на 2.3
Минерализация, г/л	70.24 (2019)	8.9 (2004)	7



ТИПЫ КЛЮЧЕВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО РАЗМЕРАМ И ВОДНОМУ ПИТАНИЮ

Размер водохранилища (полный объем, км ³)	Тип питания				
	местный речной сток в подпоре	смешанное		наливное	
		местный речной сток+привлеченный речной сток Кубани и Терека	местный речной сток+ сбросные и дренажные воды Черноземельской ООС	привлеченный сток Волги+ сбросные и дренажные воды Сарпинской ООС	привлеченный сток Волги+ нагонные воды Каспия
Среднее (1-0.1)		Чограйское		Цаган-Нур	
Небольшое (0.1-0.01)	Аршань-Зельмень		Деед-Хулсун		
Малое (менее 0.001)					Красинское

Площадь водной поверхности водохранилищ в разные годы, осень

Категории водохранилищ по площади водного зеркала, км² :

Малые – меньше 2

Небольшие – 2-20

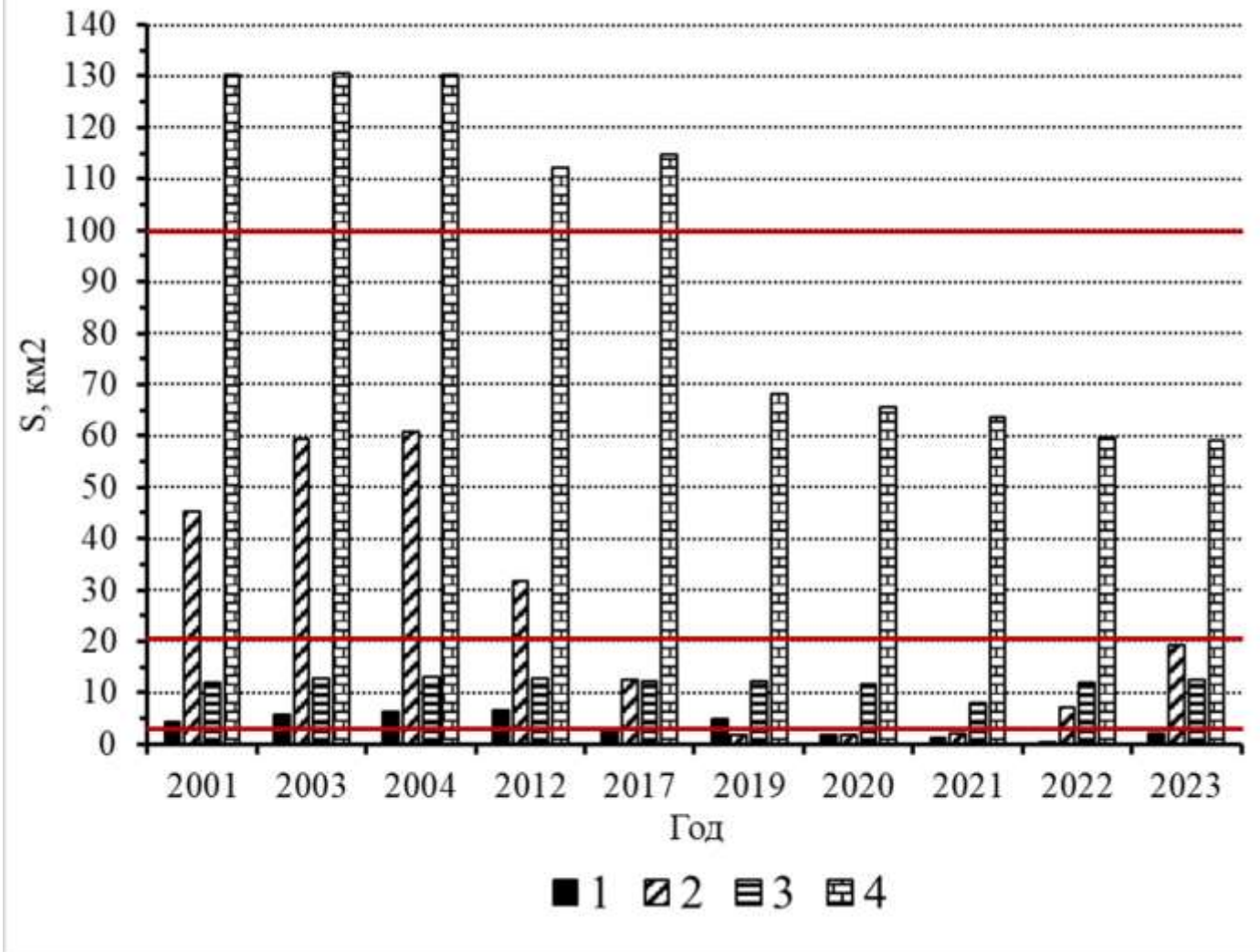
Средние – 20-100

Крупные – 100-500

Площадь (объем) водохранилищ изменяется по годам, они переходят из категории в категорию по размерности.

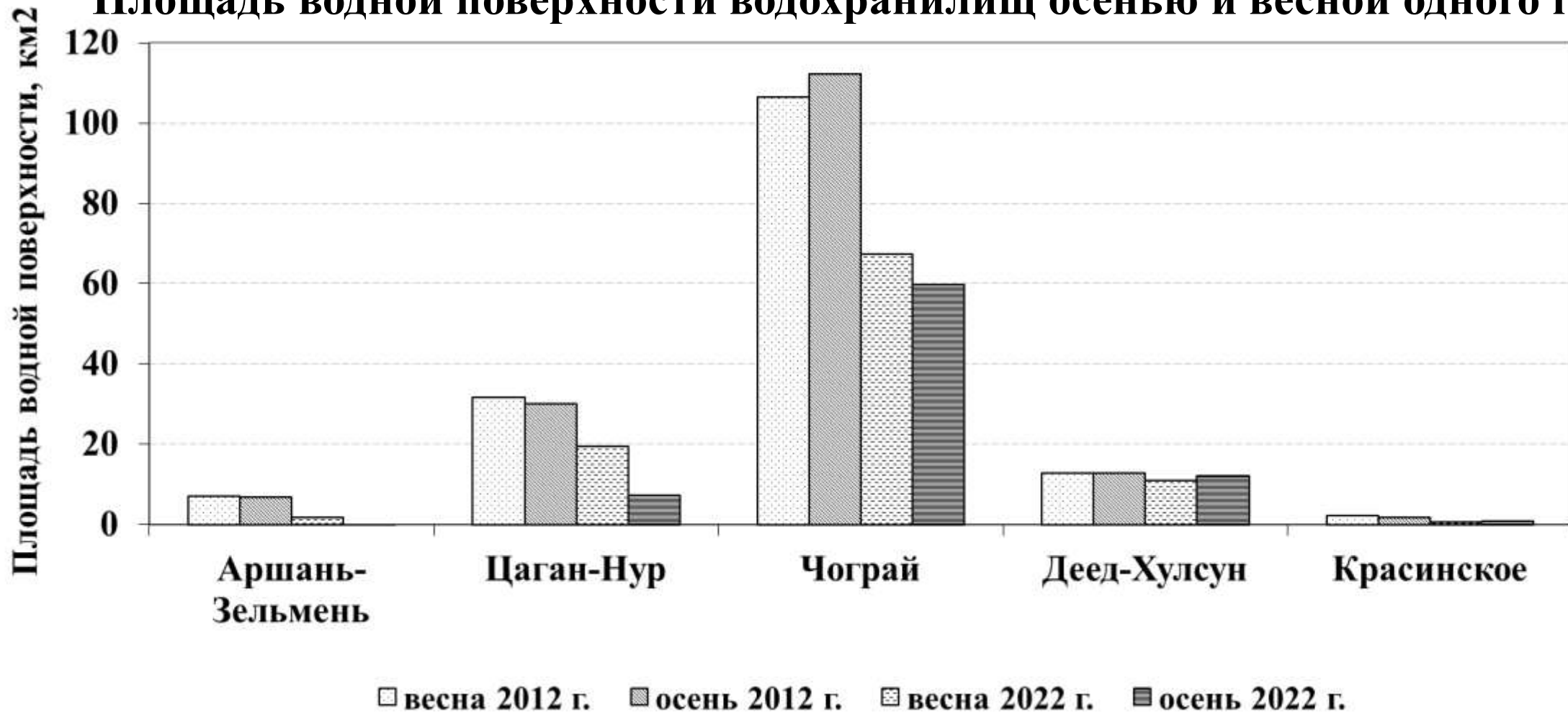
Наиболее стабильны размеры Деед-Хулсуна – смешанного питания (речного+ сбросных и дренажных вод) – остается в одной категории;

Наиболее изменчивы размеры Цаган-Нура – накопителя сбросных и дренажных вод – переходит из средней в небольшую и малую.



**Водохранилища: 1 – Аршань-Зельмень; 2 – Цаган-Нур;
3 – Деед-Хулсун; 4 – Чограйское**

Площадь водной поверхности водохранилищ осенью и весной одного года



весна 2012 г.
 осень 2012 г.
 весна 2022 г.
 осень 2022 г.

ОСАДКИ

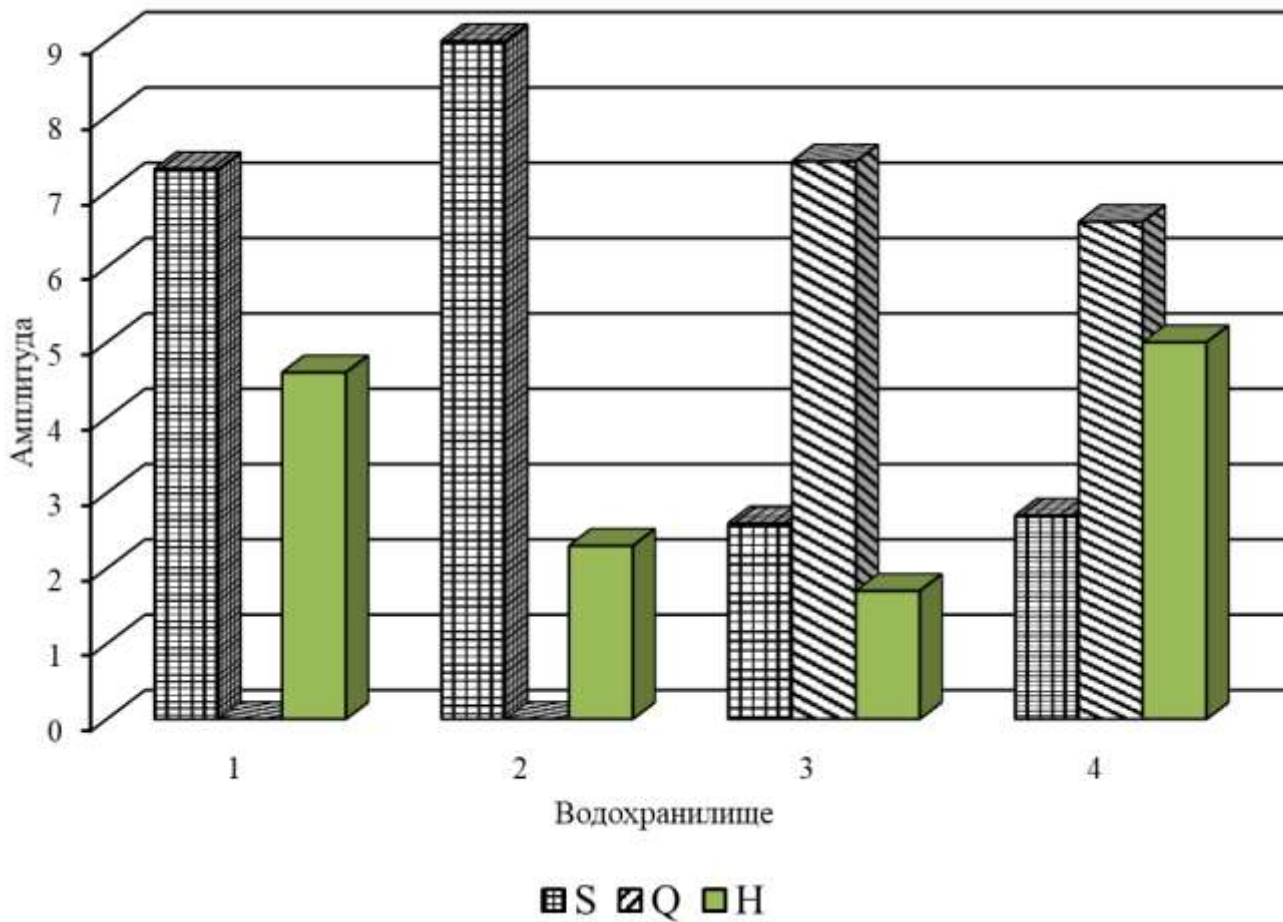
Год	Ср. многол.				Год	Ср. многол.			
	Элиста	Яшкуль	Элиста,	Яшкуль		Элиста,	Яшкуль		
2010	432,4	364	317,1	263	2020	260	364	165,4	263
2011	440,3	364	304	263	2021	414,5	364	334,7	263
2012	288,5	364	225,6	263	2022	261,8	364	223,8	263
Ср. за 3 года	387	364	282	263	Ср. за 3 года	312,1	364	241,3	263

Анализ средних многолетних, абсолютных минимальных и максимальных значений площади водохранилищ в разные годы.

Проведенные расчеты по материалам разновременной космической информации показали, что в период 2001-2012 гг. площади водной поверхности исследуемых водоемов были максимальными, а далее, с 2017 к 2022 г. произошло их существенное уменьшение. Поэтому были рассчитаны средние значения для двух периодов: 2001-2012 и 2017-2022 гг.

Площадь водной поверхности водохранилищ за 2001-2012 и 2017-2022 гг. (км²)

Период, годы	Водохранилище			
	Аршань-Зельмень	Цаган-Нур	Деед-Хулсун	Чограйское
Среднее значение за период и разница между периодами, км ² (разы)				
2001-2012 гг.	5.79	49.28	12.67	125.88
2017-2022 гг.	2.08	7.43	11.25	63.28
Разница	3.71 (3)	41.84 (7)	1.42 (1)	62.59 (2)
Абсолютное минимальное значение за период и разница между периодами, км ² (разы)				
2001-2012 гг.	4.31	31.63	11.97	112.1
2017-2022 гг.	1.98	6.41	11.25	63.28
Разница	2.33 (2)	25.22 (5)	0.72 (1)	48.82 (2)
Абсолютное максимальное значение и разница между периодами, км ² (разы)				
2001-2012 гг.	6.72	60.8	13.14	130.6
2017-2022 гг.	1.98	6.41	11.25	63.28
Разница	4.74 (3)	54.39 (9)	1.89 (1)	67.32 (2)



Условные обозначения:

S – изменение площади водохранилища, разы

Q – изменение объема водохранилища, разы

H – изменение уровня водохранилища, на, м

Водохранилища: 1 – Аршань-Зельмень;

2 – Цаган-Нур; 3 – Деед-Хулсун; 4 – Чограйский.

Максимальные изменения гидрологических параметров водохранилищ

Годы и причины изменений:

Аршань-Зельмень – 1990/2022 гг. – естественная, сокращение осадков;

Цаган-Нур – 2004 /2019 гг. – сокращение поступления воды из Волги;

Деед-Хулсун – 1988/1990 гг. – сокращение притока из ЧООС;

Чограйское водохранилище – 1969/2022 гг. – реконструкция плотины, сокращение водоподачи и усиление сброса в нижний бьеф

Гидрологические параметры нестабильны и зависят как от природных, так и от антропогенных факторов

***Средние многолетние значения минерализации на водохранилищах разного типа, г/дм³**

Размер водохранилища (полный объем, км ³)	Тип питания				
	местный речной сток в подпоре	смешанное		наливное	
		местный речной сток+привлеченный речной сток Кубани и Терека	местный речной сток+ сбросные и дренажные воды Черноземельской ООС	привлеченный сток Волги+ сбросные и дренажные воды Сарпинской ООС	привлеченный сток Волги+ нагонные воды Каспия
Среднее (1-0.1)		Чограйское (1.6-2.0)*		Цаган-Нур (18.7-32.0)*	
Небольшое (0.1-0.01)	Аршань-Зельмень (6.2-19.0)*		Деед-Хулсун (9.1-12.9)*		
Малое (менее 0.001)					Красинское (0.5-0.6)*

Оценка возможности водохозяйственного использования водохранилищ в зависимости от средних многолетних значений минерализации их воды

Водопользование и водопотребление	Предельно допустимая минерализация воды, г/дм ³ [(Унивод)]	Водохранилище				
		Аршань-Зельмень	Цаган-Нур	Деед-Хулсун	Чограйское	Красинское
		Минерализация воды водохранилища, г/дм ³ (абс. макс)				
		5.3-19.0 (68.62)	10.8-32 (46.23)	9.1-12.9 (23.6)	1.6-2.0 (2.96)	0.5-0.8 (1.51)
Питьевое водоснабжение	<1	нет	нет	нет	нет	да
Орошение	1.5	нет	нет	нет	нет	да
Рыбоводство	6	нет	нет	нет	да	да
Водопой мелкого рогатого скота	1/5*	нет	нет	нет	нет/да*	да
- молодняка	0.3/3	нет	нет	нет	нет/да	да
Водопой лошадей	0.5/1	нет	нет	нет	нет	да
- молодняка	0.4/0.8	нет	нет	нет	нет	нет/да
Водопой крупного рогатого скота	0.6/1.8	нет	нет	нет	нет	нет/да
- молодняка	0.5/1	нет	нет	нет	нет	нет/да

*В числителе желательные значения, в знаменателе – допустимые.

Трансформация экотонной системы в зоне выклинивания подпора Чограйского водохранилища с 2001 по 2019 гг.



2001 г. *Phragmites australis*, *Tamarix ramosissima*-*Salicornia perennans*, *Salicornia perennans*- *Suaeda salsa*.



2008 г. *Salicornia perennans*



2019 г. *Amaranthus albus*, *Phragmites australis*, *Rusciniella gigantea* –единично, ближе к коренному берегу: *Ranunculus oxyspermus*, *Aster tripolium*, *Eremopyrum triticeum*, *Aeloropus littoralis*, *Xanthium spinosum*

Особенности произошедших с 2000-2023 гг. трансформаций в компонентах блоков экотонных систем водоемов

Водохранилище	флуктуационный	динамический	дистантный	маргинальный
Чограйское	Расширение блока до 300 м, заглубление ГВ на 1.1 м, увеличение минерализации ГВ в 3.7 раз, уменьшение количества видов растений в 6 раз	Заглубление ГВ на 0.5 м, засоление ГВ в 2.2 раза, гибель тамариковых поясов и смена их рудеральной растительностью	Увеличение стравливания и смена доминирующих видов полыней на менее поедаемую полынь таврическую.	Увеличение обилия рудеральной растительности
Цаган-Нур	Расширение блока до 400 м, заглубление ГВ и увеличение засоления в 2 раза, снижение количества видов растений	Расширение блока до 220 м, увеличение минерализации ГВ в 1.5 раз, гибель тамариков и смена фитоценозов	Расширение блока, увеличение поясов растительности, засоление почвы, увеличение галофитов	Увеличение обилия рудеральной растительности
Аршань-Зельмень	Расширение блока до 50-150 м, увеличение минерализации ГВ в 2.5-4 раза.	Увеличение минерализации ГВ в 1.2-1.4 раза, увеличение обилия галофитов, рудеральной растительности	Увеличение количества поясов растительности, увеличение обилия сорной растительности	Увеличение обилия рудеральной растительности
Деед-Хулсун	Увеличение минерализации ГВ в 1.8-2.4 раза, увеличение обилия галофитов	Увеличение минерализации ГВ в 2.4-2.7 раз, увеличение обилия галофитов	Увеличение минерализации ГВ в 4.2 раза, увеличение обилия галофитов, рудеральной растительности	Увеличение обилия рудеральной растительности
Красинское	Увеличение минерализации ГВ в 2.2 раза, выпадение из состава фитоценозов краснокнижных видов растений, уменьшение количества видов	Увеличение минерализации ГВ в 2.3 раза, выпадение из состава фитоценозов краснокнижных видов растений, уменьшение количества видов растений	Увеличение обилия рудеральной растительности	Увеличение обилия рудеральной растительности

Выводы

1. Искусственные водоемы стали важным фактором изменения водных ресурсов и трансформации исходных аридных ландшафтов Калмыкии. Обводненность территории за их счет увеличилась в два раза. Водные ресурсы (статические) увеличились на 1.8-2.4 км³.
2. Водный режим водохранилищ не стабилен. Для большинства водоемов характерно уменьшение площади водного зеркала (объема) от весны к осени и в годы, когда количество атмосферных осадков ниже среднемноголетних значений. Площадь (объем) водохранилищ изменяется по годам, они переходят из категории в категорию по размерности. Наиболее стабильны размеры Деед-Хулсуна – смешанного питания (речного+ сбросных и дренажных вод) – остается в одной категории; наиболее изменчивы размеры Цаган-Нура – накопителя сбросных и дренажных вод – переходит из средней в небольшую и малую.
3. Длительные наблюдения показывают, что с течением времени (50 лет и более) происходит сокращение водной поверхности водоемов и увеличение минерализации. Это преимущественно обусловлено антропогенными причинами (сокращение площади орошения и затяжная реконструкция плотин). В связи с возрастанием минерализации вод многие водоемы утратили свои водохозяйственные функции.
4. Обусловленная обмелением водохранилищ трансформация экотонных систем «вода-суша» на побережьях приводит к сокращению биоразнообразия, снижению хозяйственной ценности луговых сообществ, служащих пастбищами для скота.

Спасибо за внимание!

