



**XXIII Международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**



**Оценка состояния заливов Цимлянского
водохранилища в условиях маловодного
периода Юга России**

**Курбатова Ирина Евгеньевна,
Мулин Максим Олегович
*Институт водных проблем РАН
МИИГАиК, ГУЗ***

Москва 2025

Водохранилища относятся к уникальным водным объектам суши с целенаправленно регулируемым режимом в зависимости от поставленных водохозяйственных задач .

На всем протяжении существования Цимлянского водохранилища происходит переформирование его береговой зоны, специфика которого определяется:

- конкретными геологическими и геоморфологическими особенностями строения ложа и берегов искусственного водоема;
- внутригодовыми изменениями уровня воды за счет сработки/заполнения водохранилища;
- многолетними климатическими флуктуациями, определяющими многоводные и маловодные длительные периоды

Разные участки береговой зоны водохранилища отличаются по степени пространственной и временной изменчивости в зависимости от доминирования того или иного фактора.

Наиболее чувствительны к преобразованиям заливы, особенно их мелководные части.

В работе рассматривается динамика заливов левых боковых притоков водохранилища - рек Аксай Курмоярский и Мышкова

Основной целью спутникового мониторинга береговых зон является комплексный контроль за их многолетней трансформацией при значительных диапазонах колебания уровня водохранилища в результате его внутригодовой сработки или наполнения с учетом современного изменения климата.

Левобережные притоки

Название притока	Длина, км	Водосбор, км ²	Годовой объем стока*, млн м ³
Мышкова	129	1400	19
Аксай Есауловский	222	2650	36
Аксай Курмоярский	146	2387* (1843)	25

*При 50% обеспеченности стока

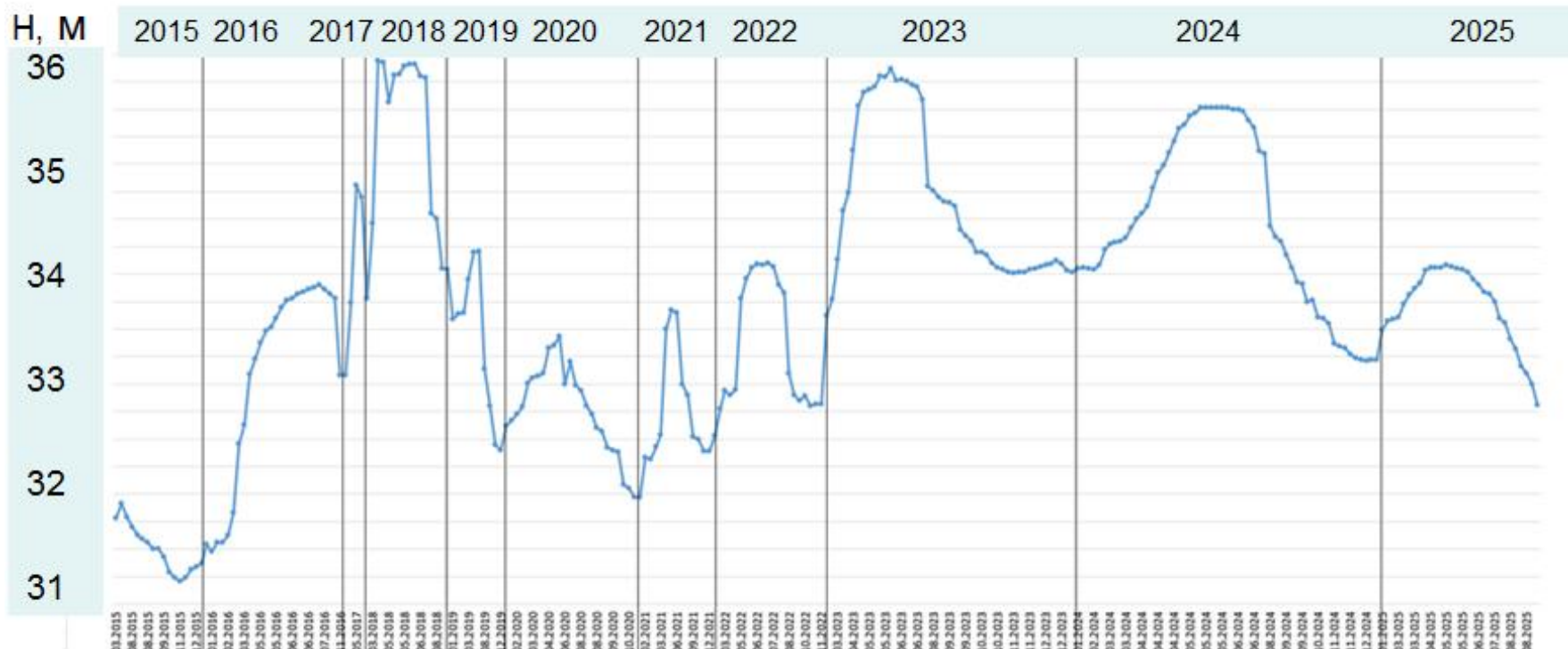
*Обновленные данные по ЦМР



К экологически важным факторам в зоне переменного подпора относятся

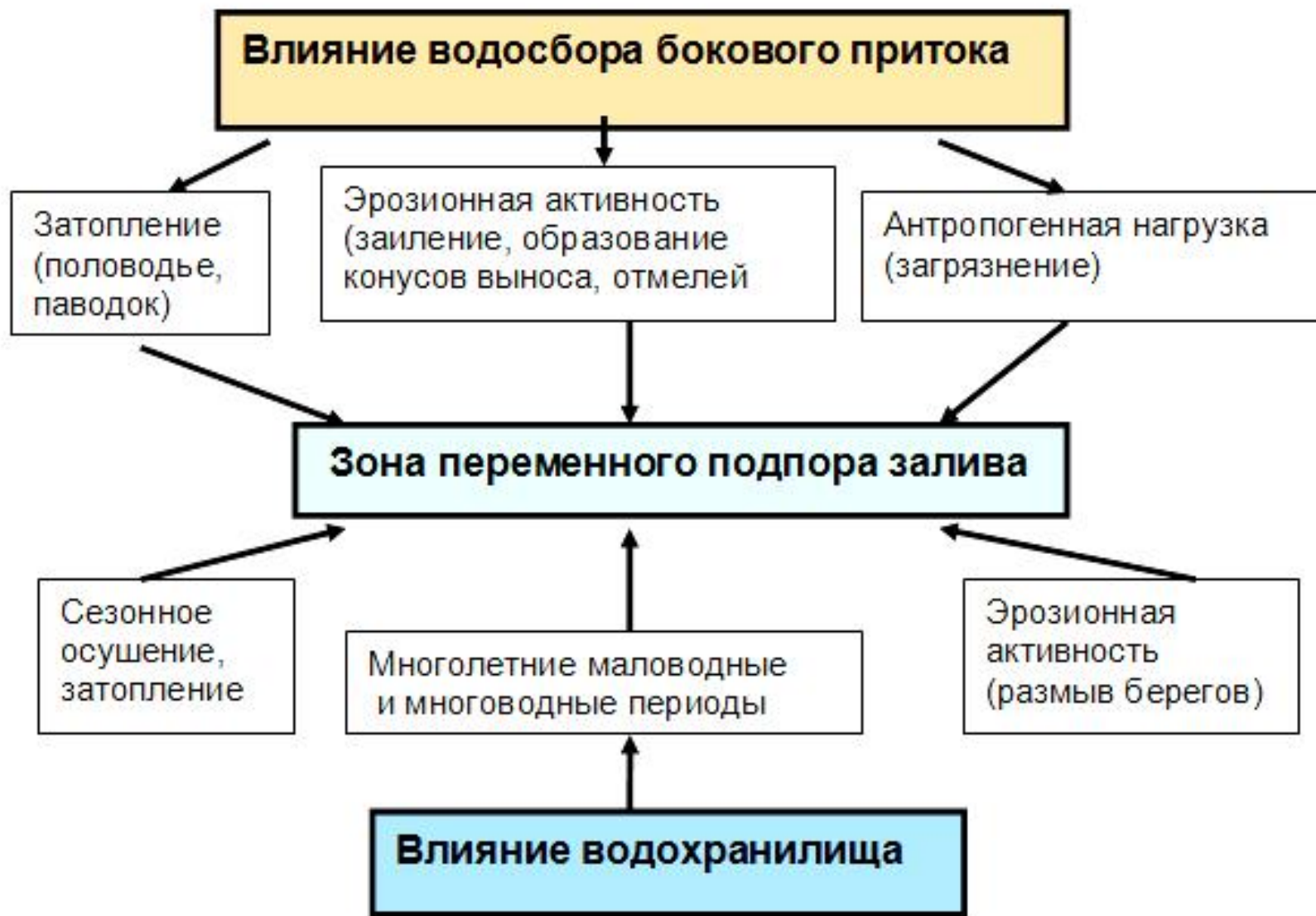
- Разнонаправленные колебания уровня;
- Длительность осушения/затопления;
- Заиление/размыв мелководных участков;
- Загрязнения, поступающее с водными массами рек и водохранилища

Климатические флуктуации климата XXI века привели к значительным изменениям уровня Цимлянского водохранилища, спровоцировав длительные маловодные периоды

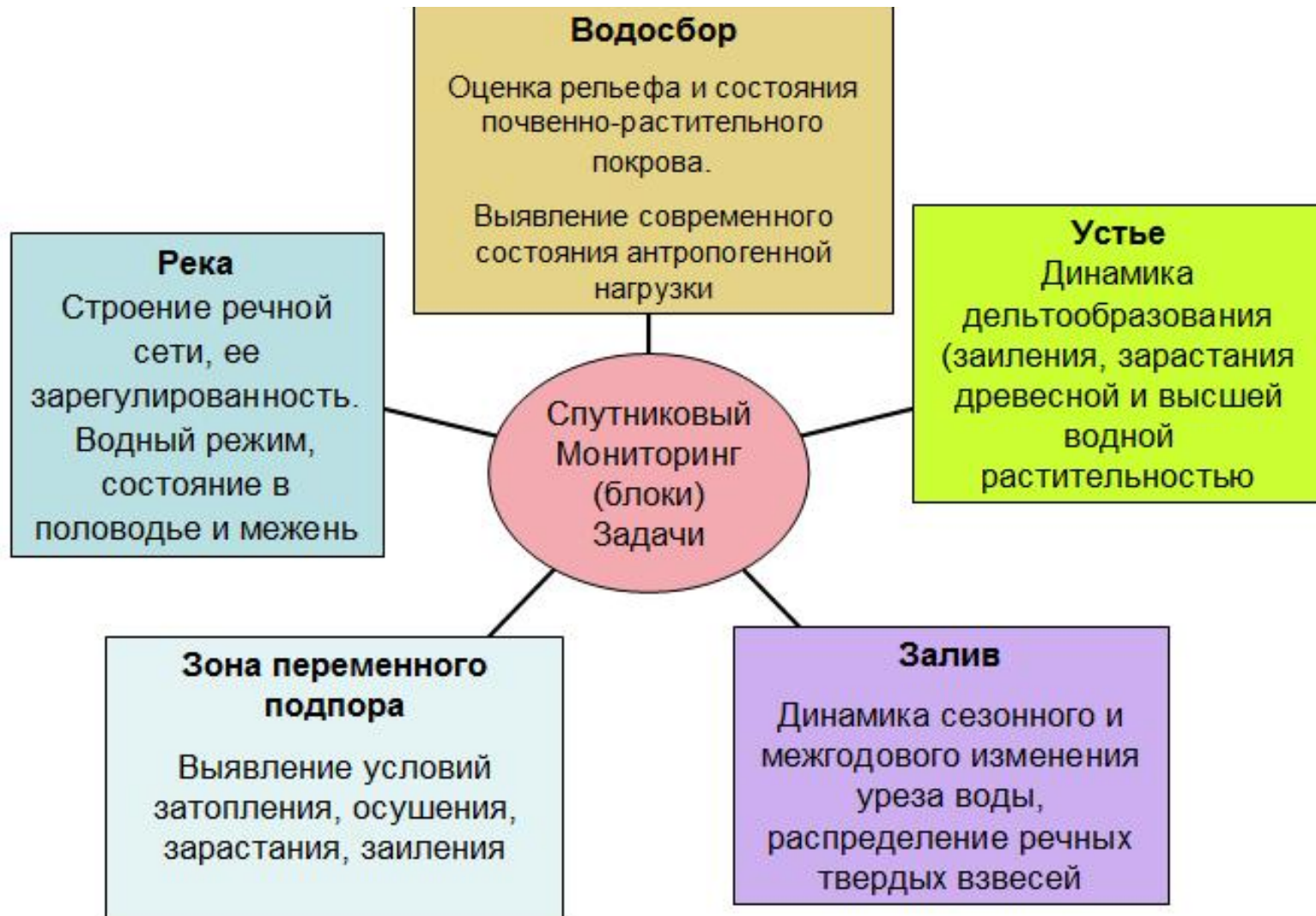


Изменения уровня Цимлянского водохранилища в 2015- 2025 гг

Основные факторы, влияющие на трансформацию и экологическое состояние зоны переменного подпора заливов водохранилища



Основные блоки и задачи спутникового мониторинга заливов водохранилищ



Экологическая значимость внутригодовых и многолетних уровенных периодов	
Период	Характерные изменения
Внутригодовой	
Весенний подъем уровня (конец мая - начало июня)	Быстрое затопление значительных площадей, размыв поверхностного грунтового слоя и уничтожение части прошлогодних надводных растительных сообществ
Летне-осенняя сработка уровня (июнь – ноябрь)	заращение осушенной зоны наземной и влаголюбивой растительностью, формирование пустошей, осушение мелководий
Зимняя межень, сработка уровня декабрь - март	Промерзание обсохших грунтов на значительную глубину, вымерзание зимующих гидробионтов, а также возникновение заморных явлений при установлении ледостава и в отдельные годы внутриводного льда
Многолетний	
МАЛОВОДНЫЙ	Сокращение площади зеркала воды, увеличение повышение температуры воды, увеличение концентрации загрязняющих веществ, бурное развитие синезеленых водорослей, сокращение нерестилищ
МНОВОДНЫЙ	Стабильно высокое положение уреза воды, затопление осушенных территорий, размыв берегов, смыв почвенного слоя, сокращение площади прибрежно-водной высшей растительности и смещение ее границ в сторону суши, снижение продукции фитопланктона.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА

- Дистанционные данные ИСЗ Sentinel-2 и Landsat-8-9 за 2015-2025 гг.;
 - Результаты преобразования снимков с помощью расчетных индексов
 - MNDVI, NDVI, NDTI;
 - картографические материалы разных лет издания;
 - данные гидрометеорологических наблюдений,
 - данные об уровне Бассейнового водного управления;
 - Результаты различных экспедиционных исследований;
 - научно-справочная литература, экспертные данные
-

Основные инструменты исследования – геоинформационные программы: QGIS, SasPlanet, ArcGIS Pro, ArcMap, а также программные обеспечения: Microsoft Word, Microsoft Excel, Adobe Photoshop

Разработка структурных направлений комплексного геоэкологического мониторинга базировалась на бассейновом подходе, при котором водохранилище рассматривается как составная часть единой геосистемы “водосбор-водоток-устье-приемный водоем (залив)”.

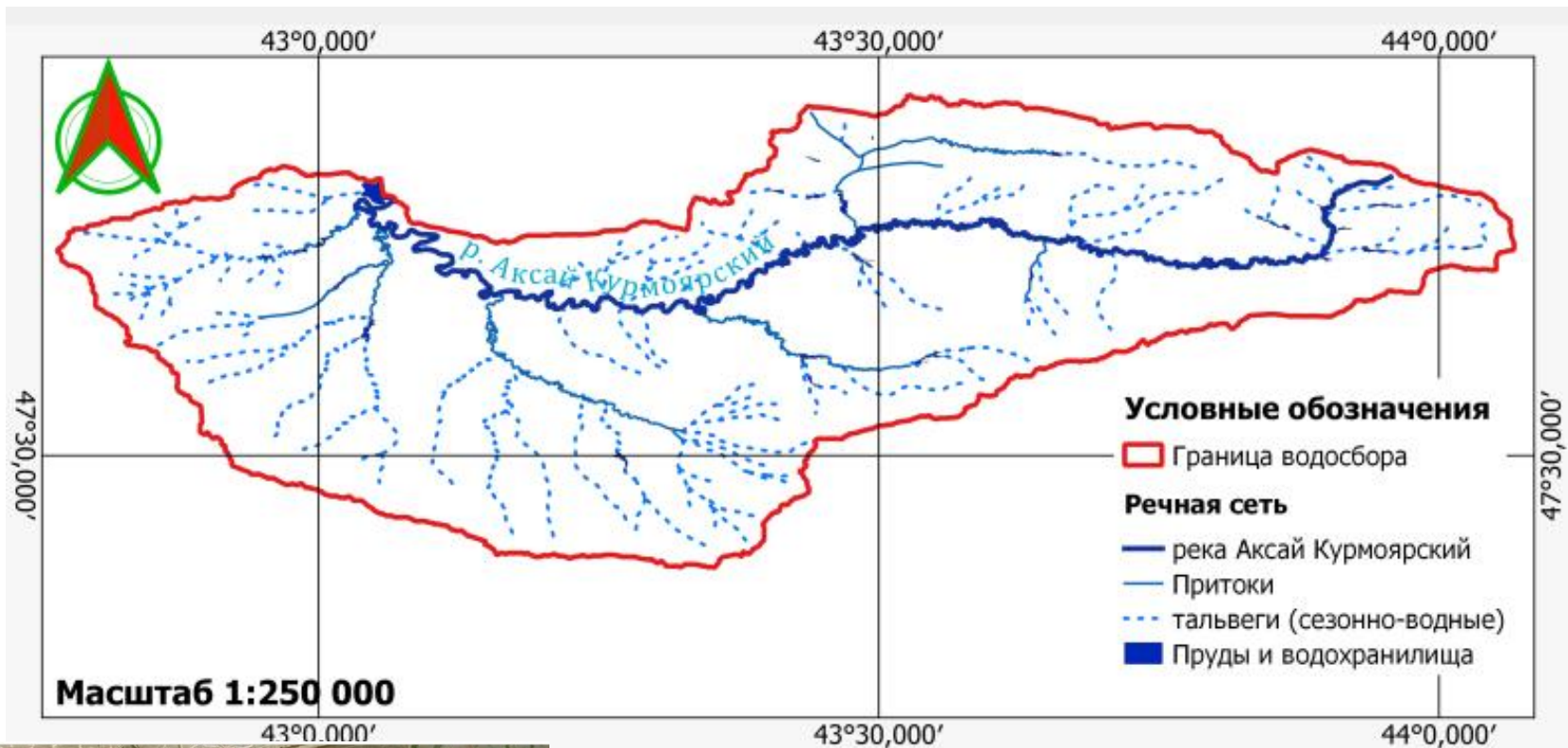
Местоположение водосбора р. Аксай Курмоярский



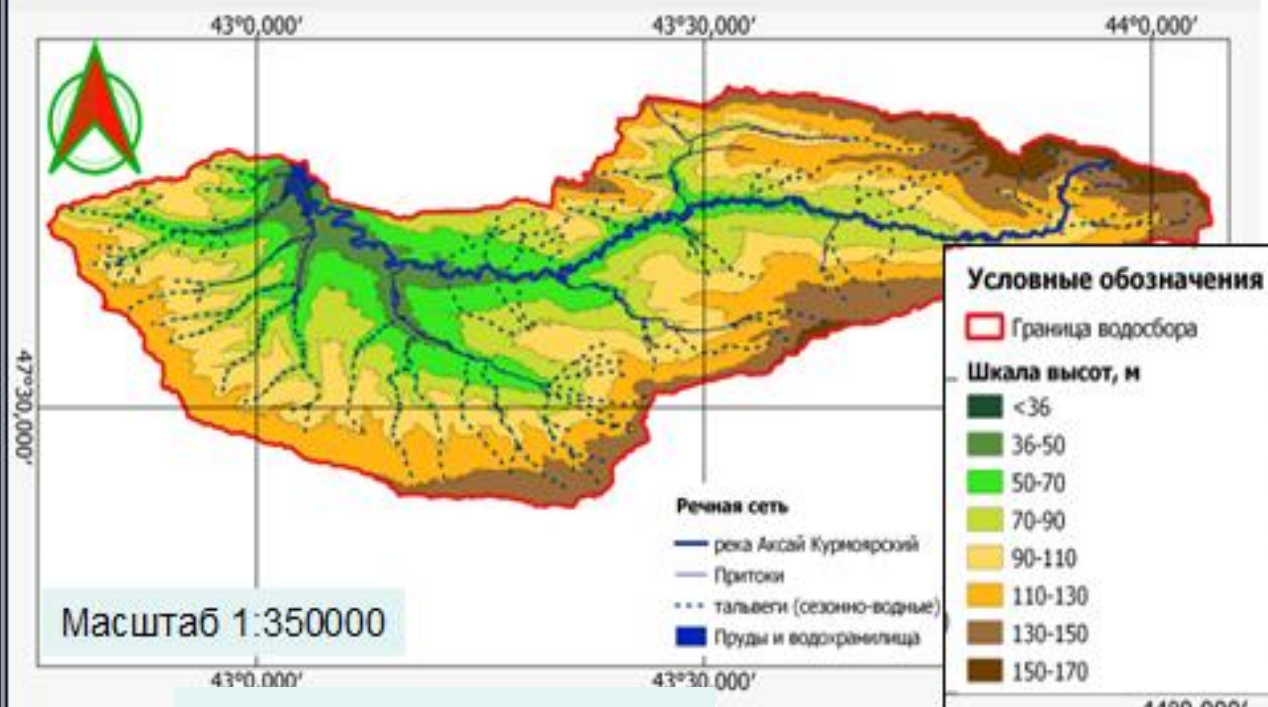
Аксай Курмоярский берет начало на западном склоне Ергеней, на высоте 150 м, и впадает в обширный залив Цимлянского водохранилища, образовавшийся в результате затопления долины реки. Река маловодна, летом сильно мелеет, но в глубоких плёсах вода держится всё лето. Русло в некоторых местах поросло камышом. Весеннее повышение уровня воды в реке в среднем достигает 1,5-2,5 м. Среднегодовой расход 0,1-0,2 м³/сек. Впадает в центральную озерную часть водохранилища.

На водосборе преимущественное развитие получили такие экзогенные процессы, как овражная эрозия, плоскостной смыл почвенных частиц талыми и дождевыми водами, абразия (разрушение берегов залива), дефляция (ветровая эрозия), суффозия (вынос частиц породы грунтовыми водами с последующей просадкой грунта).

Речная сеть водосбора

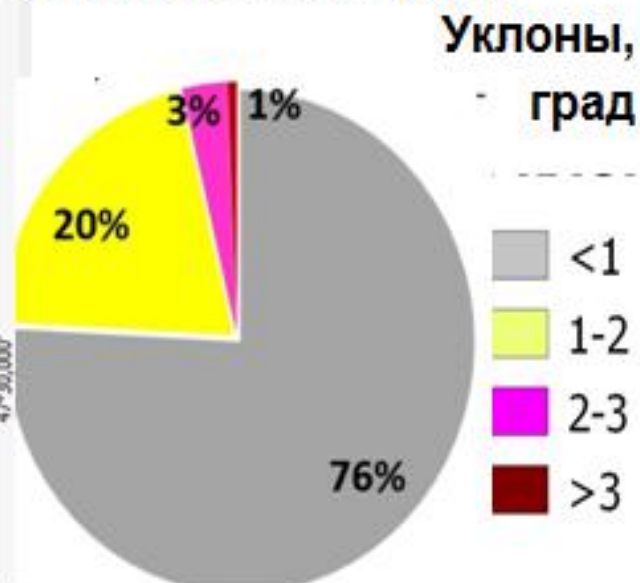
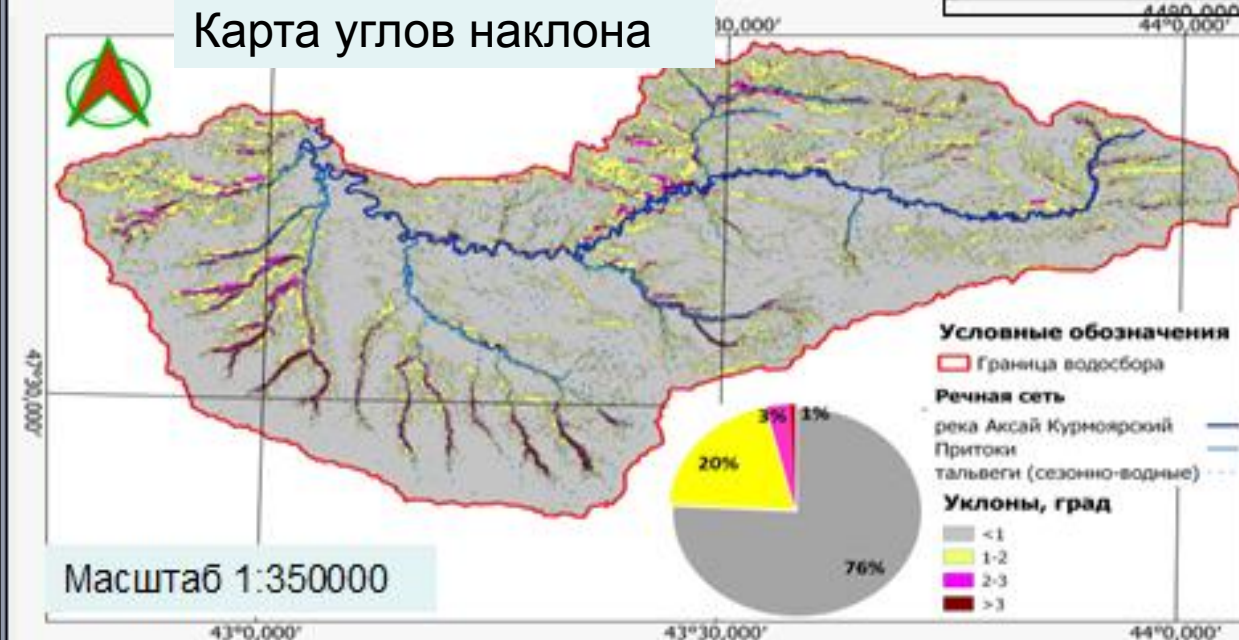


Цифровая модель рельефа



По данным разных исследований, с распаханых каштановых почв смывается от **1 до 5 тонн с 1 га/год.** Общая площадь пашен-около 70 % от площади водосбора (1671 кв. км). Минимальное количество твердого стока, поступающего в речную и овражно-балочную сеть - **167100 т /год.** До залива может доходить около **20% (33420 т/г)** и более при интенсивных паводках.

Карта углов наклона



Антропогенная нагрузка и экологические проблемы водосбора

Антропогенное воздействие

- Сельскохозяйственные угодья (пашни, выпас скота);
- Открытая разработка сырья для керамического кирпича, песка для строительных работ;
- Эксплуатация горно-обогатительного комбината по разработке Гремячинского месторождения калийных солей (площадь лицензионного участка 100 кв.км, комбината 150 га);
- Развитая транспортная сеть, городские и сельские населенные пункты.

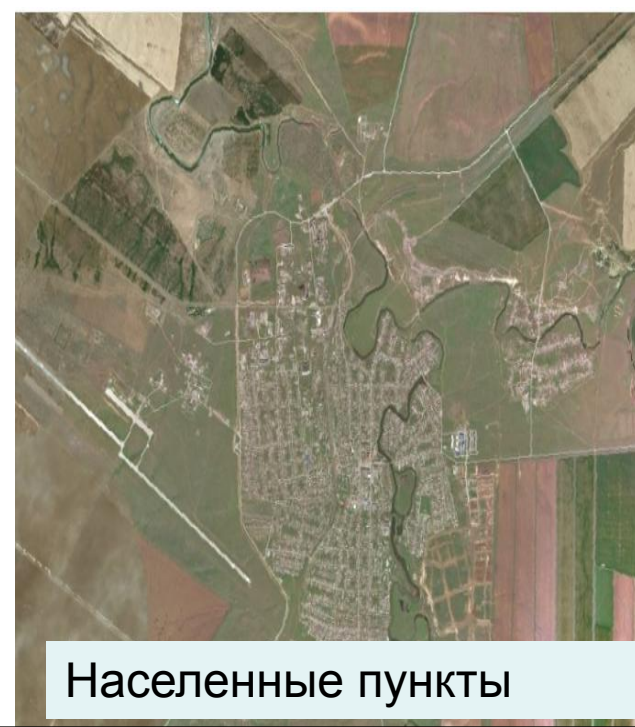
Экологические проблемы водосбора связаны с химическим и биологическим загрязнением воздуха, воды и почв, уничтожением растительного покрова, усилением эрозионных процессов.



ГОК

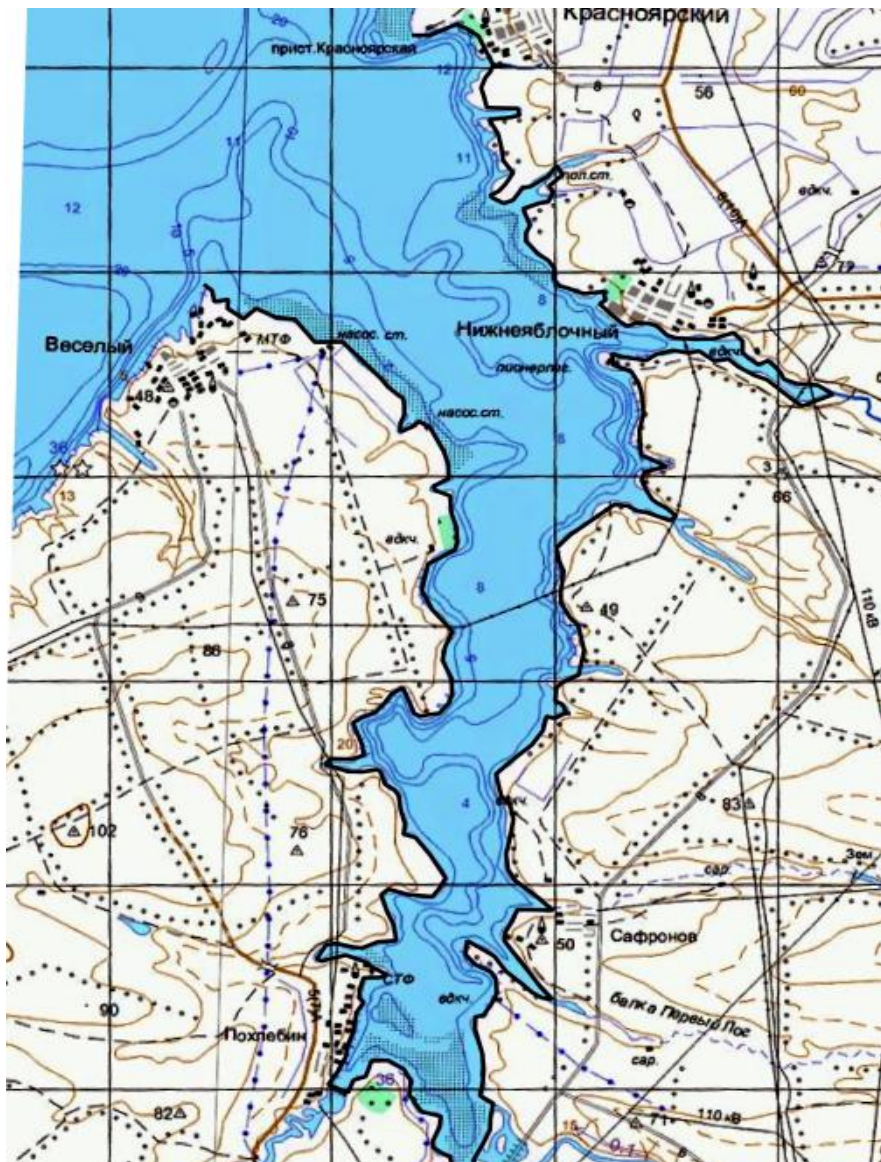


Пашни
эродированные



Населенные пункты

Залив Красноярский, сформировавшийся в затопленной долине р. Аксай Курмоярский



16.10.2015 Н-31.25 м

Топографическая карта НПУ-36,0 м

Оценка площадей зеркала воды в заливе при разных уровнях наполнения водохранилища вычислялась при помощи расчетного водного индекса MNDWI, а динамика зарастания высшей водной растительностью - по сравнительному анализу значений индекса растительности NDVI.

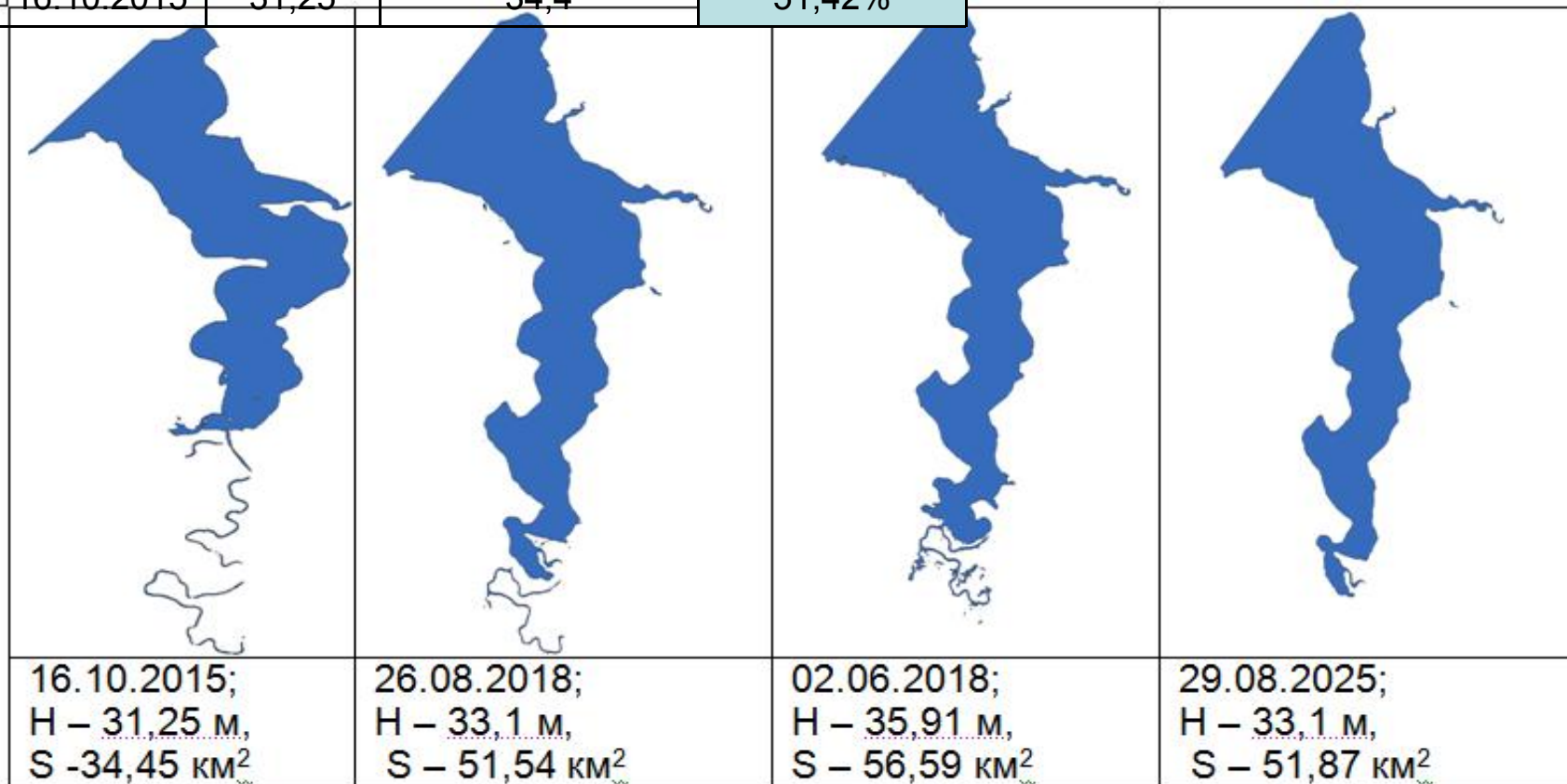
Площадь залива, образованного подпором водохранилища русла реки Аксай Курмоярский при НПУ (36,0 м) составляет 67,1 км² (определено по топографической карте, на которой границы водной поверхности водохранилища показаны по состоянию при НПУ). В октябре 2015 г при уровне 31,25 площадь залива сократилась вдвое за счет устьевой части и мелководий. В августе 2025 г. при уровне 33,1 м площадь сократилась на 22,7% до 52 км².

Вдоль мелководного берега залива к осени 2025 г. сформировались множественные участки земноводной и водной растительности, увеличилась площадь синезеленых водорослей на акватории и древесной растительности в верхней части залива

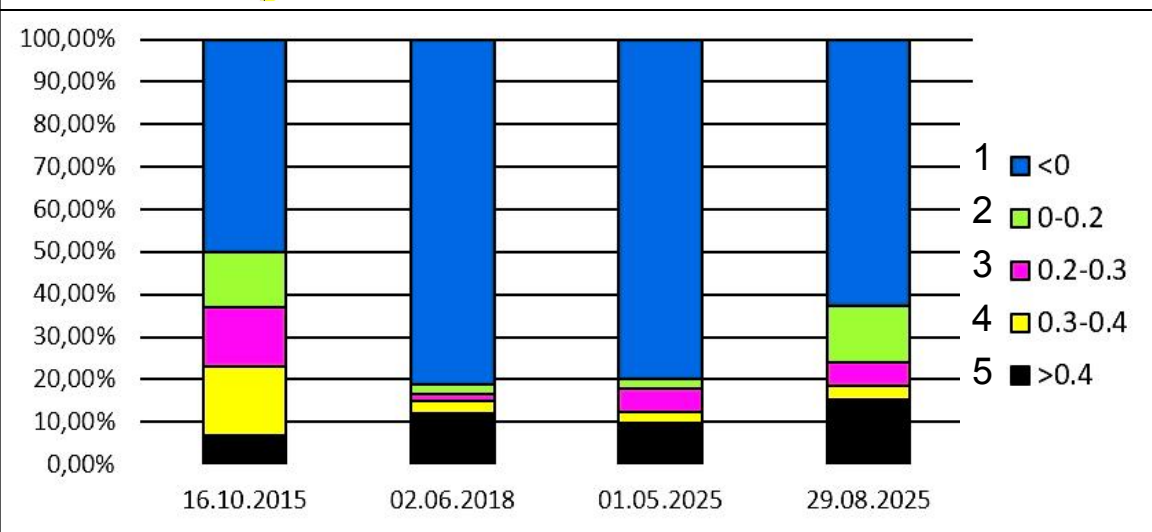
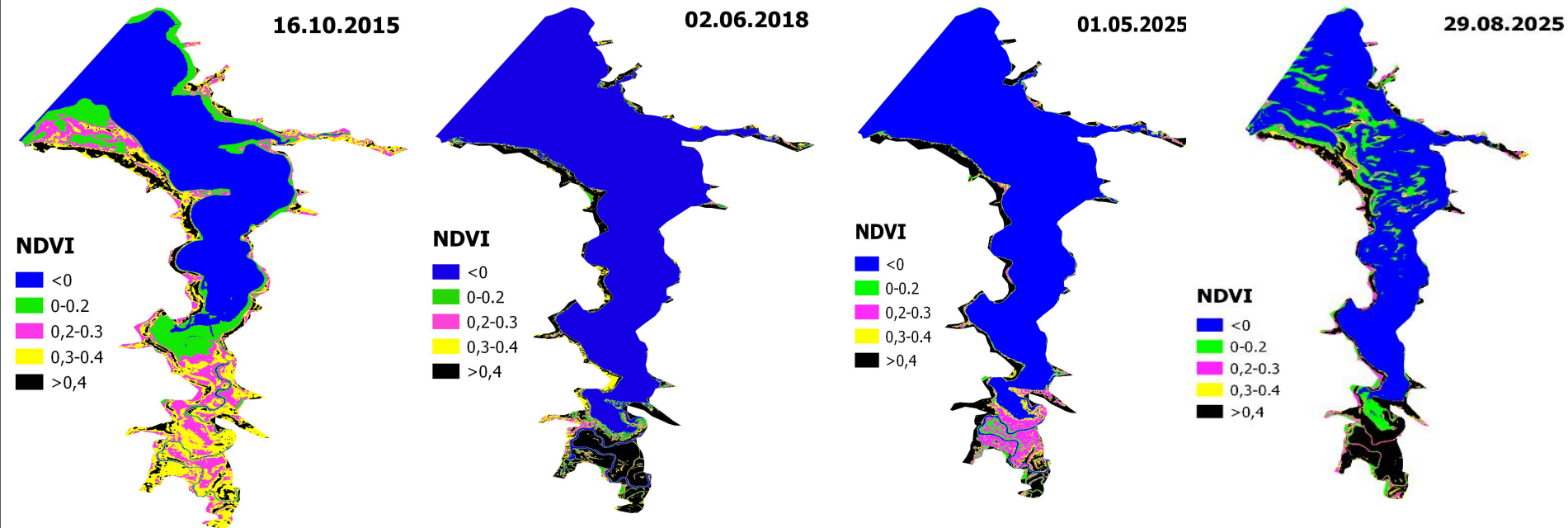
Дата снимка	Уровень ЦВ, м	Площадь зеркала залива, км ²	Доля площади от НПУ, %
29.08.2025	33,1	51,9	77,42%
30.08.2022	33,1	51,5	76,93%
01.05.2025	34,06	53,8	80,22%
02.06.2018	35,91	56,6	84,46%
26.08.2018	34,57	53,9	80,45%
16.10.2015	31,25	34,4	51,42%

Площадь залива при НПУ =67,11 км²
Глубина от 2-4 м до 10 м
Длина 25 км

Динамика зеркала воды по результатам расчета индекса MNDWI 2015-2025 гг.

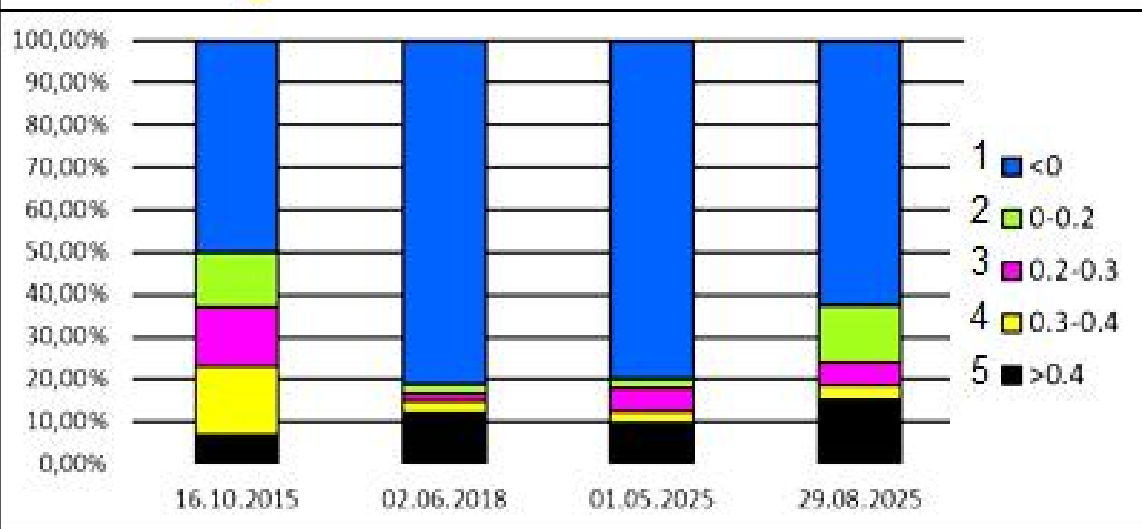
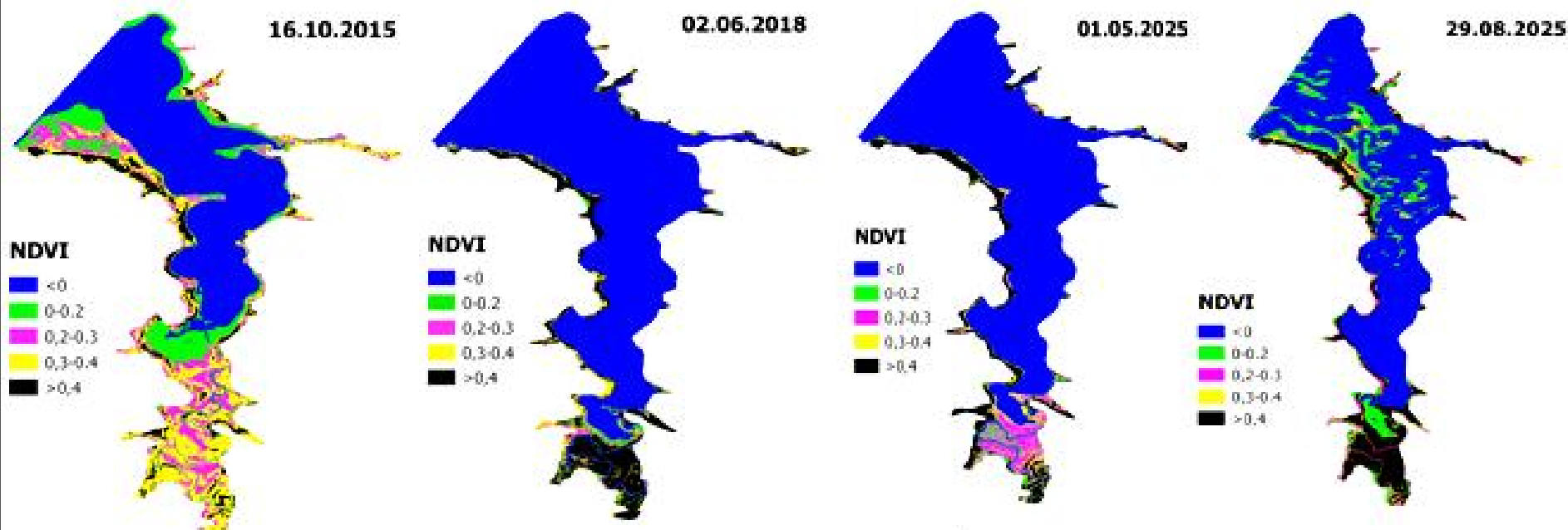


Зарастание залива в маловодный период (2015), многоводный (2018) и средний по водности (2025) по данным расчетного вегетационного индекса NDVI



1-вода
2-водоросли
3-водоплавающая
растительность
4-высшая водная
растительность
5- кустарники

Заращение залива в маловодный период (2015), многоводный (2018) и средний по водности (2025) по данным расчетного вегетационного индекса NDVI

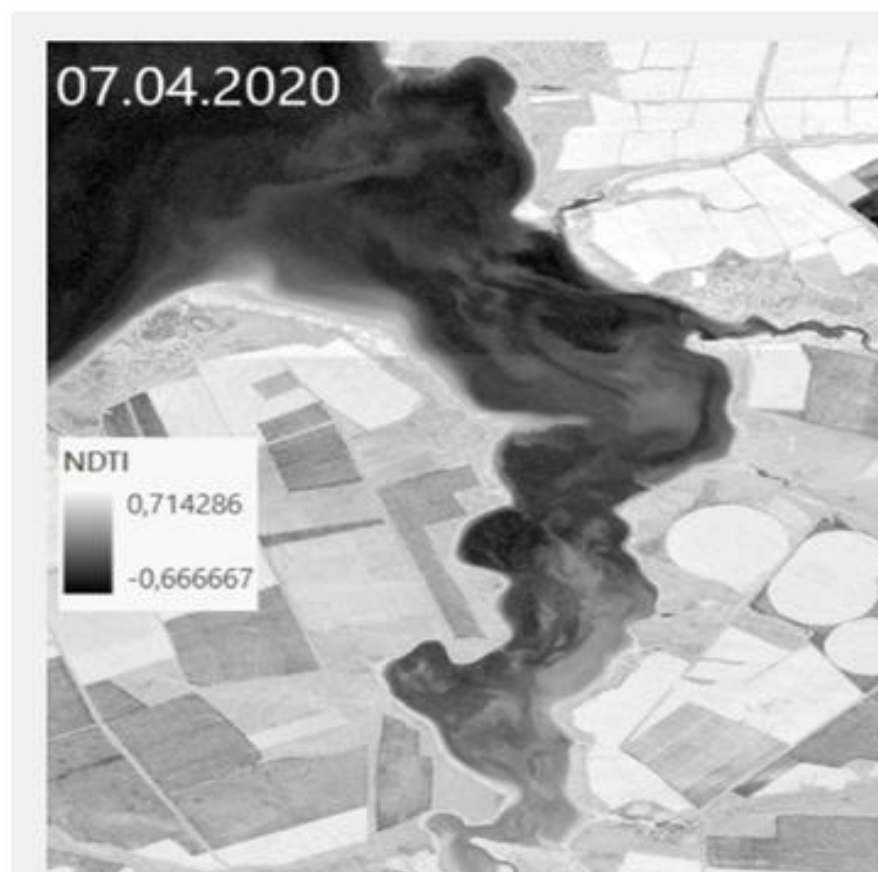


1-вода
2-водоросли
3-водоплавающая
растительность
4-высшая водная
растительность
5- кустарники

мутявых взвесей с водосбора в залив в различные сезоны года.

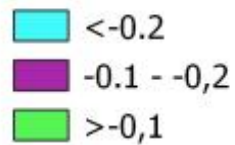
Июнь 2018 г - высокий уровень половодья (близкий к НПУ) привел к максимальному подпору и заполнению залива водами водохранилища, увеличению его глубин. В это время у левобережных притоков к июню половодье уже закончилось и вынос речных взвесей не обнаружен.

Апрель 2020 г. – отсутствие высокого подпора водохранилища в маловодный год привело к доминированию речного стока (жидкого и твердого) в период апрельского половодья.



01.05.2024

NDTI



01.05.2025

NDTI



В мае 2024 г.(среднем по водности) и в мае 2025 г (маловодном) выносы твердых стоков и повышения мутности воды не наблюдаются, т.к. половодье закончилось в марте).

Трансформация залива в устье р. Мышкова 1978-2025 гг

Река Мышкова, левый приток Дона, после заполнения водохранилища примыкает к его верхнему мелководному участку.

Протяжённость реки составляет 100 км, площадь водосбора - 1 400 км².

Район относится к степной ландшафтной зоне, характерной для юга России.

Рельеф местности равнинный, с абсолютными высотами от 50 до 200 метров. Основными формами рельефа являются пологие склоны, балки и овраги глубиной до 10 метров, сформированные эрозией и ветровой деятельностью.

Вдоль русла реки встречаются узкие полосы лесов из ивы и тополя, а также луга с осокой и тростником.

Климат умеренный континентальный с жарким летом и малоснежной зимой, иногда с большими холодами.

Экологические проблемы бассейна тесно связаны с сельскохозяйственной деятельностью. **Распашка 70% степных площадей** привела к деградации почв, ежегодные потери грунта из-за водной эрозии достигают 10 т/га, а 15% пахотных земель подвержены засолению из-за нерационального орошения минерализованными водами.

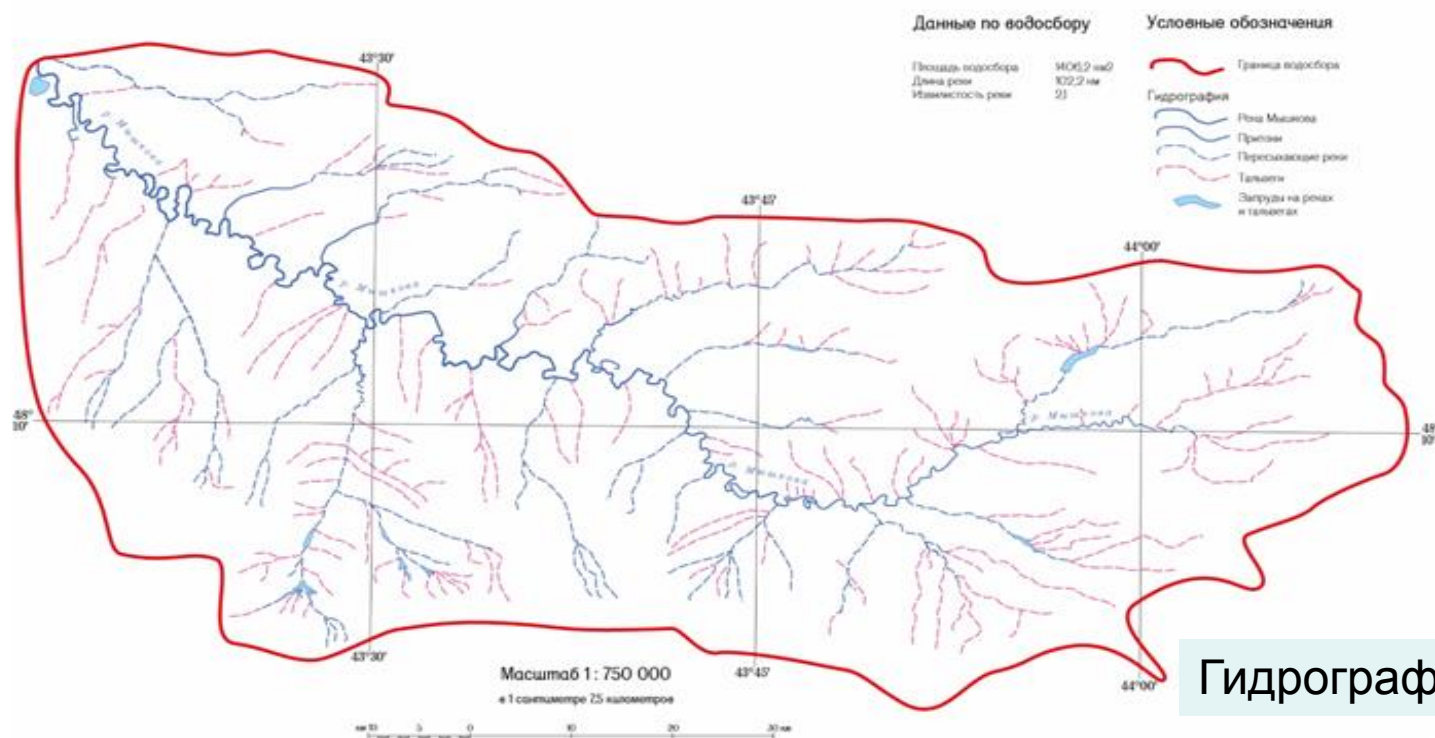
Заиление русла реки вызвано увеличением поступлением продуктов эрозии с водосборной площади.

Измерения качества воды в реке Мышкова выявляют превышение ПДК по нитратам (в 1,5-2 раза) и пестицидам, что объясняется смывом агрохимикатов с полей, что стало ключевым фактором ухудшения качества воды.

Картографирование водосбора по спутниковым данным



Среднее течение р. Мышкова



Гидрографическая сеть

Базовая топографическая карта

 Граница водосбора



Привольный	более 1000
Васильевка	от 500 до 1000
Дальний	менее 500

- Железные дороги
однопутные. Станции
- Автомобильные дороги:
 - 1) Усовершенствованные шоссе
 - 2) Улучшенные грунтовые дороги
 - 3) Грунтовые проселочные дороги
 - 4) Полевые и лесные дороги

△98

4 146

Склады горючего и газгольдеры

Нефтяные и газовые промыслы

Пункты государственной
геодезической сети

То же самое на курганах (4 - высота кургана в метрах)

Речная сеть:


1) Речи и ручьи постоянные (шириной менее 60м). Мосты. Стрелки, указывающие направление течения в м/с. Отметки урезов воды.

Подземные водопроводы

Колодцы

Артезианские колодцы

2
1
3




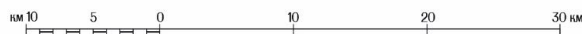
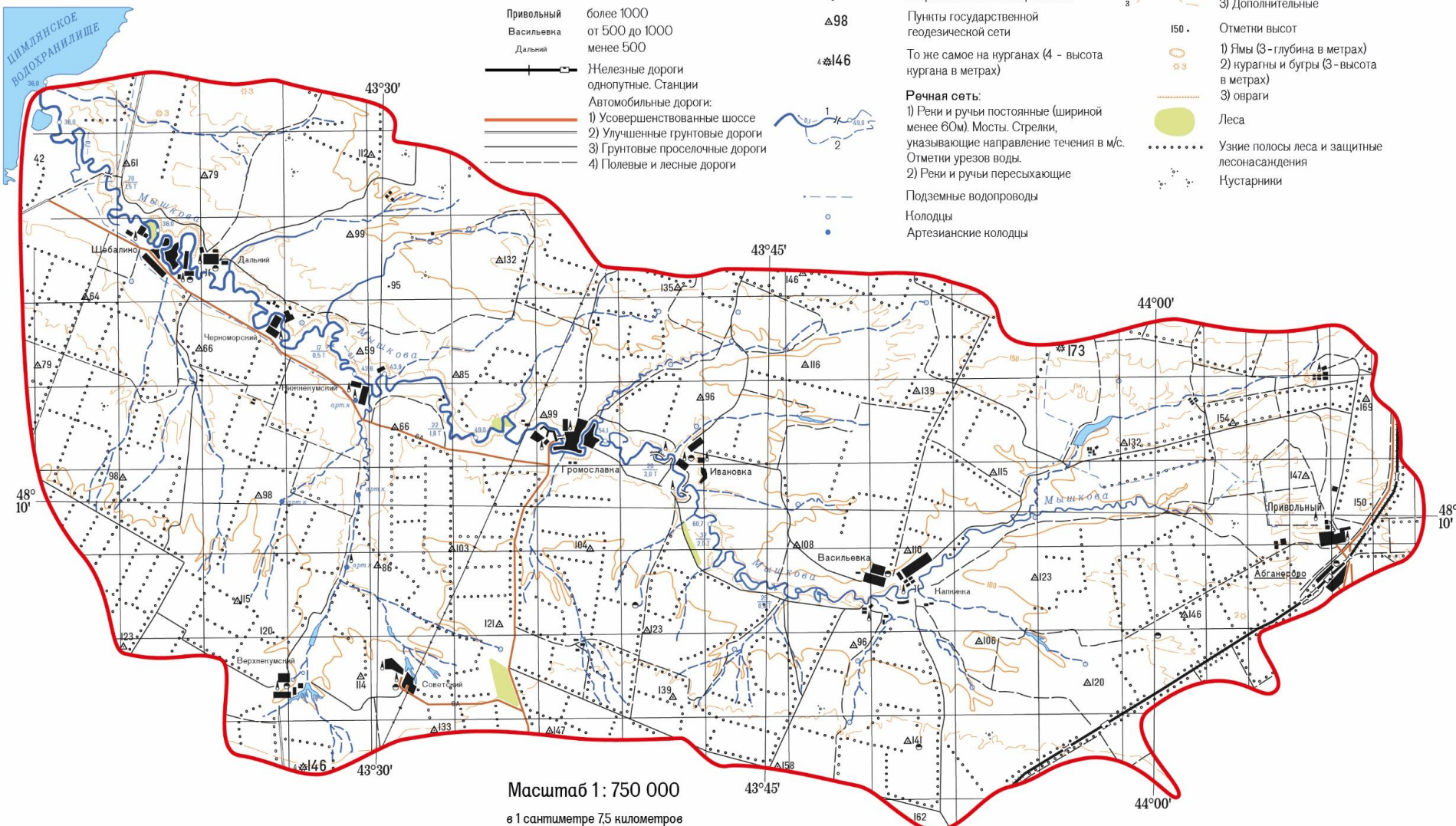
Горизонтالي и их подпisi: 1) Основные
утолщенные 2) Основные с берштрихами
3) Дополнительные

Отметки высот

- 1) Ямы (3-глубина в метрах)
- 2) курагны и бугры (3-высота в метрах)
- 3) овраги

Леса

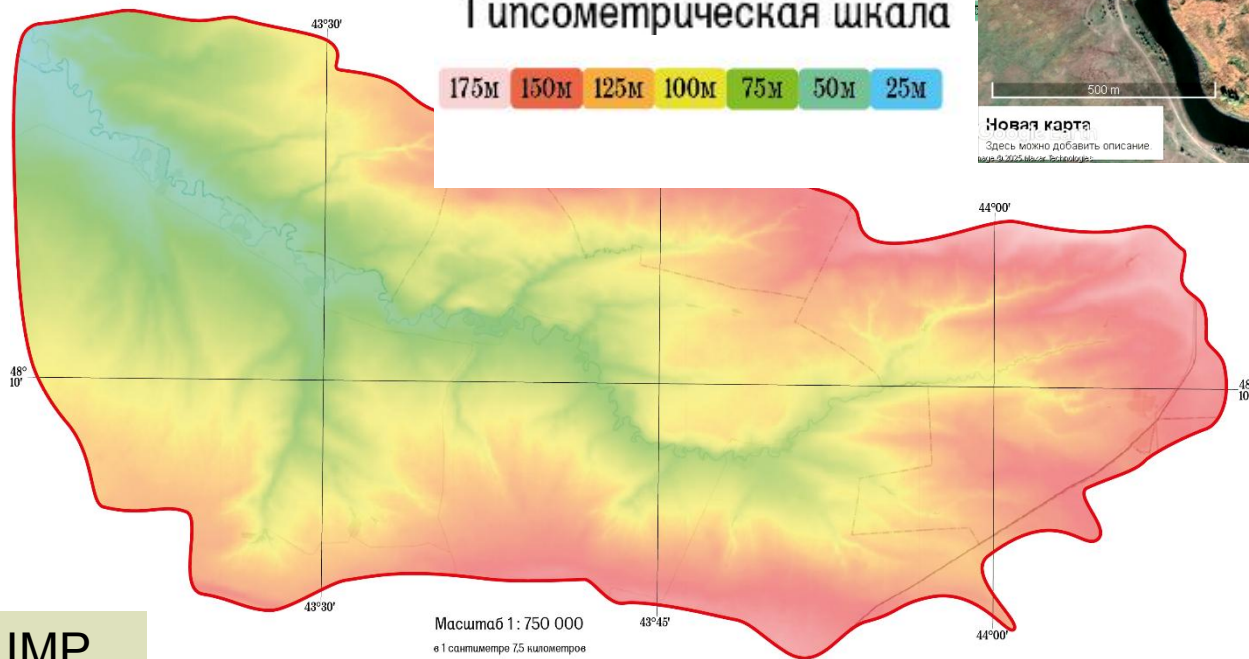
- Узкие полосы леса и защитные лесонасаждения
-  Кустарники



Сплошные горизонталы проведены через 50 метров

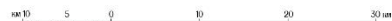


Гипсометрическая шкала



ЦМР

Масштаб 1: 750 000
в 1 сантиметре 75 километров





Зарегулированность рек



Добыча полезных ископаемых
открытым способом



Транспортная нагрузка



Image © 2025 Maxar Technologies

Производственные предприятия

Антропогенная нагрузка на водосбор



Пашни с эрозией



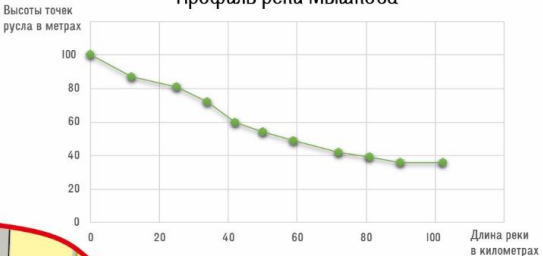
Пашни без эрозии

Карта современного состояния водосбора р. Мышкова (на основе КС)

Данные по водосбору

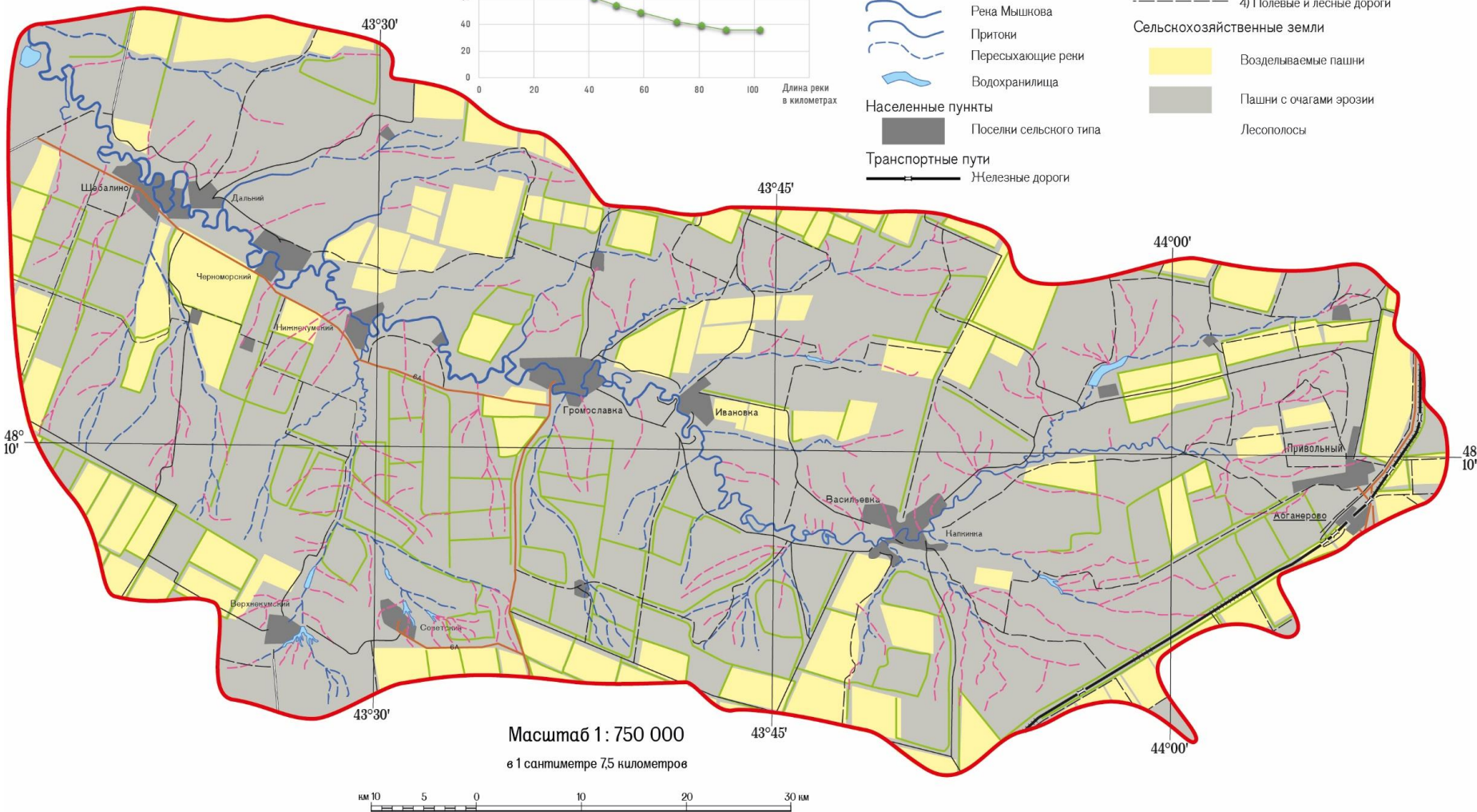
Площадь водосбора 1406,2 км²
Длина реки 102,2 км
Извилистость реки 21

Профиль реки Мышкова



Условные обозначения

- Гидрография**
- Граница водосбора
 - Рена Мышкова
 - Притоки
 - Пересыхающие реки
 - Водохранилища
- Населенные пункты**
- Поселки сельского типа
- Транспортные пути**
- Железные дороги
- Автомобильные дороги:**
- 1) Усовершенствованные шоссе
 - 2) Улучшенные грунтовые дороги
 - 3) Грунтовые проселочные дороги
 - 4) Полевые и лесные дороги
- Сельскохозяйственные земли**
- Возделываемые пашни
 - Пашни с очагами эрозии
 - Лесополосы

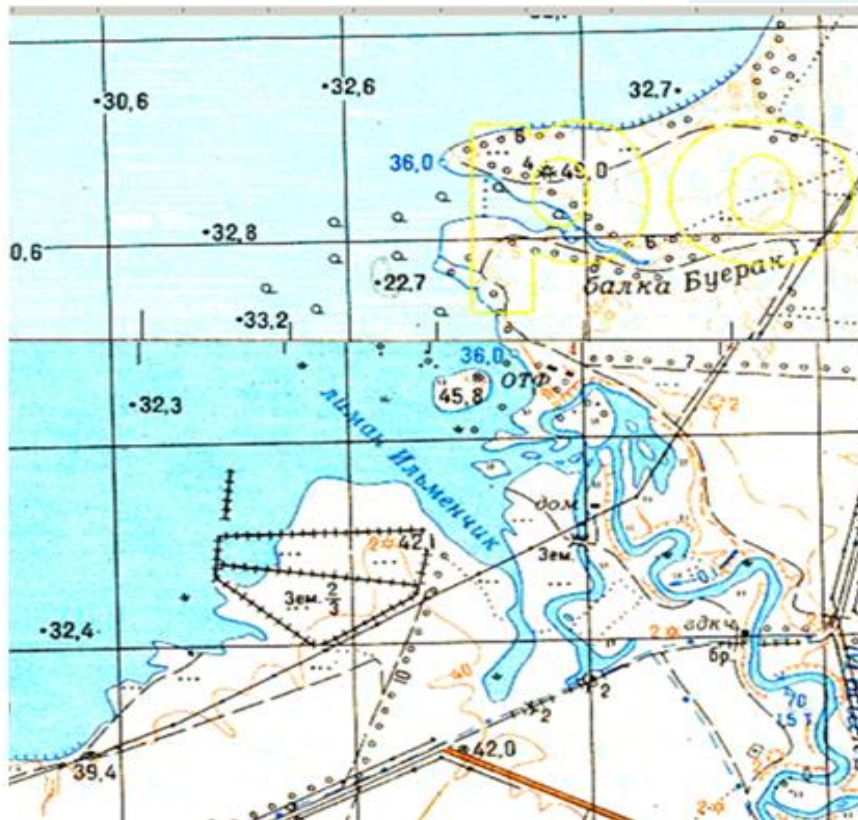


Желтым цветом – пашни без эрозии, серым – с эрозией

а)

Залив

б)



Полное заиление и зарастание залива в устье р. Мышкова: а) топографическая карта масштаба 1:100 000 (1978 г, береговая линия соответствует НПУ 36,0 м абс). Площадь залива при НПУ 5 кв.км; б) космическое изображение территории бывшего залива ИСЗ "WorldView-2" от 24.09.2011.

Основные причины полного заиления залива в устье р. Мышкова

1. Мелководность залива;
2. Длительный маловодный период;
3. Высокая степень эрозионной расчленённости водосбора (0,5-0,6 км/км²), что объясняется рыхлым грунтом, легко размываемым водой;
4. Антропогенная нагрузка



В рамках проекта "Сохранение уникальных водных объектов" в 2018 г. выполнена расчистка устьевых и предустьевых участков реки от заиливания и наносов грунта. (а). Восстановлены оптимальные параметры реки (глубина 2 м) и условия для нереста рыб (б)



Дата съемки 10.2.2025

Дата съемки: 10.2.2025 48°20'40.92" С 43°18'17.04" В Высота над уровнем моря: 0 м Airbus

Маловодный период последних лет спровоцировал повторное обмеление и зарастание береговой зоны, что привело к частичному восстановлению участка исторического русла р. Мышкова и этапу формирования выносной дельты

Выводы

- ❖ Комплексный подход к изучению взаимовлияния компонентов системы «водосбор-водоток-водоем» применительно к заливам водохранилища позволил получить более детальное представление об их взаимосвязях и расширить возможности спутникового мониторинга;
- ❖ Использование расчетных спектральных индексов способствует получению ценной информации о пространственно-временных характеристиках заливов на фоне их слабой изученности, обусловленной дефицитом регулярных наземных наблюдений;
- ❖ Трансформация заливов зависит от морфометрических характеристик участка водохранилища и залива, гидрологических условий, климатических изменений, а так же от местоположения устья реки, конфигурации ее долины, интенсивности эрозионных процессов и степени антропогенной нагрузки на водосбор;

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



Река Аксай Курмоярский