

Спутниковый мониторинг деградации Краснодарского водохранилища за последние 5 лет



*Курбатова И.Е., Афанасьева А.А
Институт водных проблем РАН
Государственный университет по
землеустройству*

Москва, ИКИ 2024

Краснодарское водохранилище



Период строительства **1968-1975**
площадь - **400 км²**,
наибольшая длина - **46 км**,
средняя ширина - **8.6 км**
полный объем - **2794 млн. м³**,
полезный объем – **2200 млн. м³**.
подпорный уровень воды у
плотины - **18 м**,
средняя глубина - **5 м**

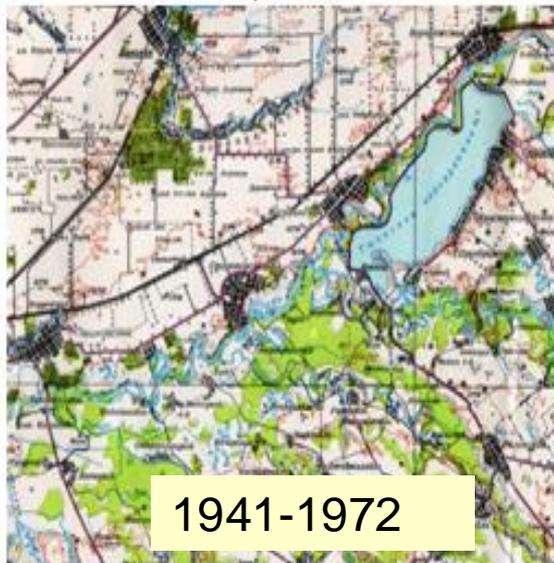
НПУ - 32.75 м абс
УМО – 25.85 м. абс

Твердый сток рек
Кубань -7.5 -9.2 млн т/год
Белая -1.5- 2 млн т /год

Назначение: предупреждение катастрофических наводнений в нижнем течении Кубани; обеспечение оросительных систем; улучшения условий судоходства, рыбоводства, водоснабжения и рекреации.

Проблемы: - высокая скорость заиления ложа водоема наносами рек Кубани и Белой, (водохранилище осаждается до 95 % приносимых речных наносов),
-формирование сплошной перемычки, разделение водоема на две самостоятельные части,
-уменьшение полезного объема на 0.5 км³,
-снижение защитных противопаводковых функций, загрязнение;
Участки дна водоема с отметками выше 30,75 м абс. к 2016 г. заросли практически полностью

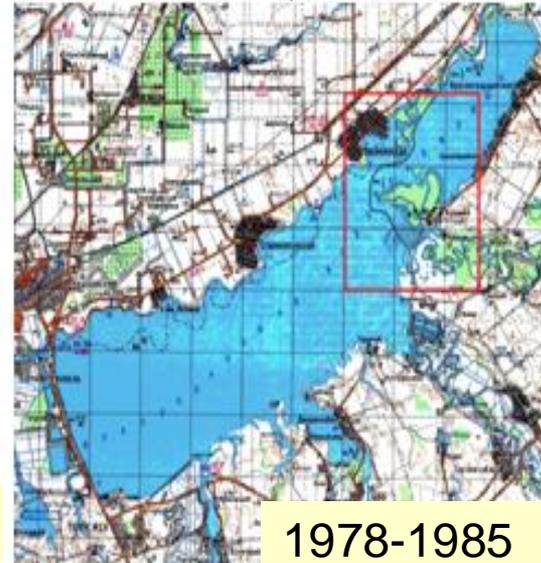
а)



б)



в)



г)

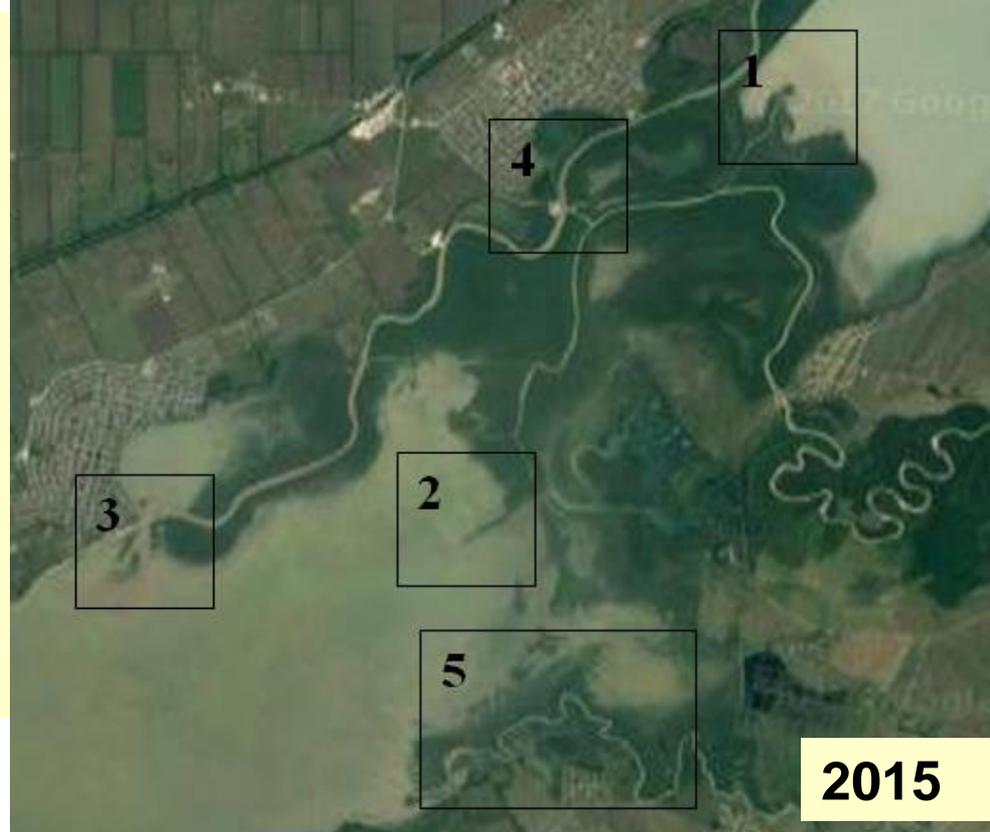
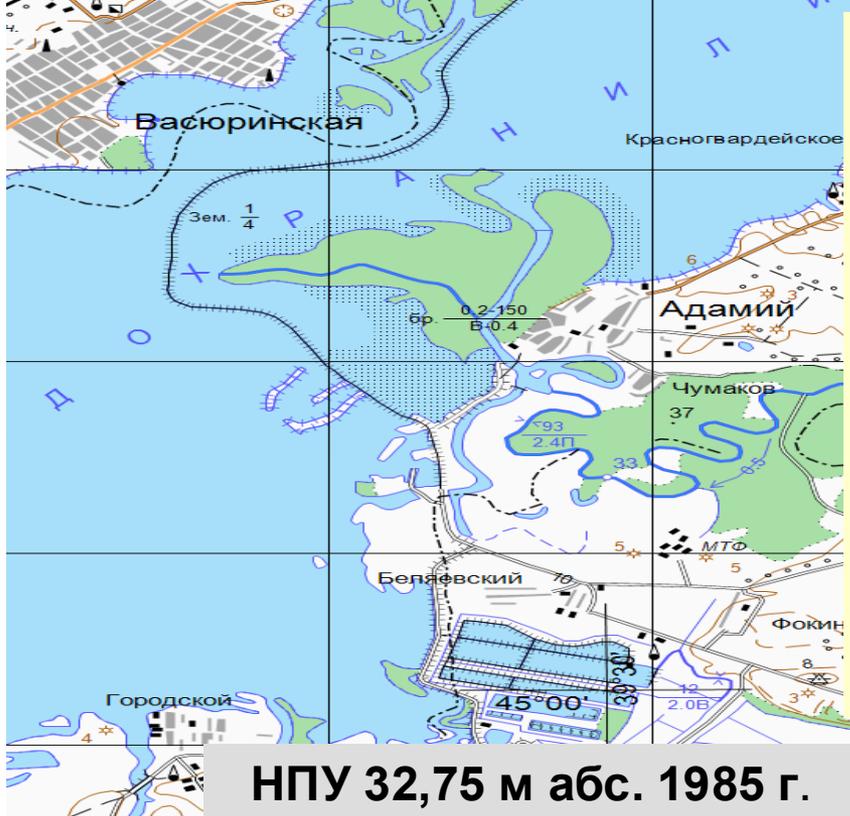


д)



е)





Состояние водохранилища и перемычки

- 1 – протока р.Белой в бывшее Тщикское водохранилище;
- 2 -выдвижная дельта Белой в центральную часть Краснодарского водохранилища;
- 3 – выдвижная дельта р. Кубань, формирование ее берегов, зарастающих растительностью, восстановление исторического русла;
- 4 – соединительная протока между Кубанью и Белой;
- 5 – заиление залива р. Пшиш и восстановление русла

Основные причины деградации Краснодарского водохранилища

1. Ошибки проектирования :

- включение в его акваторию Тщикского водохранилища, самостоятельно существовавшего на протоке р. Белой в 1941 – 1972 гг. и сохранении дамбы этого водохранилища;
- запроектированное впадение р. Кубань почти напротив устья р. Белой, что привело к суммарному накоплению наносов обеих рек на одном участке водохранилища;
- недооценка скорости и объема поступления твердого стока рек Кубани, Белой;
- принудительное снижение НПУ водохранилища на 0,9 м (с 33,65 до 32,75 м) в 1993 г., что активизировало процесс обмеления и увеличения площади дельты р. Белой, зарастания ее надводных участков.

2. Климатические факторы

Неблагоприятная гидрометеорологическая обстановка в бассейне реки Кубань:

- повышение среднегодовой температуры на 1,7 град
- постоянное из года в год снижение уровня водности в горах Кавказа;
- недостаточная приточность к Краснодарскому водохранилищу;
- длительное отсутствие дождей в летне-осенний период

3. Рост объема водопотребления на сельскохозяйственные и производственные нужды

Активный разбор вод Кубани и ее притоков на хозяйственные нужды вызывает периодическое обмеление рек.

Около 60% всего объема водохранилища расходуется на сельское хозяйство, примерно 40% на промышленность.

Основной объем воды забирает рисоводство - на заливку 1 га уходит 15-20 тыс. м³ воды.

К 2030 г планируется увеличить площадь посевов риса до 150 тысяч гектаров и получить урожай 1,3 миллиона тонн в год.

В 2024 г. посевы риса занимали площадь 110 тыс. га. Сочетание засухи и сработки водохранилища на орошение посевов привело к сокращению объема воды на 94%



Краснодарское водохранилище стремительно деградирует. Его берега обрушаются, чаша мельчает, водоем заливается

Деградация Краснодарского водохранилища (по данным ОАО «Кубаньводпроект»)

Годы	Полезная емкость, млрд м³	Площадь мелководных участков (до 2 м) км²	Средняя глубина, м	Средняя интенсивность заиливания, млн м³
1986	2,1	34	6	6
2016	1,5	100	4	10

На сегодняшний день объем заиливания водохранилища уже превышает 400 млн кубометров, что привело к еще большему сокращению полезной емкости водохранилища.

Цель работы заключается в выявлении по данным спутниковой информации тенденций и направленности сезонных изменений водохранилища на современном этапе его формирования в условиях маловодного периода

Задачи спутникового мониторинга:

Многолетние и сезонные наблюдения за изменениями уровня и морфометрических характеристик, ростом перемычки, зарастанием устьев боковых притоков, выносом и распространением взвесей, цветением воды

Архив космических снимков Краснодарского водохранилища представляет многолетнюю документальную летопись развития его экологической катастрофы, запечатлев основные этапы и специфические особенности деградации водоема, позволив выявить ключевые ошибки его создания и эксплуатации.

Мониторинг заполнения/осушения чаши водохранилища осуществлялся с помощью изображений ИСЗ Sentinel-2 за 2020 г и Landsat 8-9 за период 2022- 2024 гг.

Информационная составляющая современного космического мониторинга водохранилища значительно расширена за счет использования многочисленных автоматизированных индексов для выделения границ и определения площадей водных поверхностей, территорий с переменным осушением, участков, зарастающих древесной растительностью и т.п. при разных положениях уровня водоема.

Для каждого года были отобраны снимки за май, июнь, август и сентябрь, близкие по датам, каждой дате соответствовало значение уровня воды в водохранилище, выбранное из открытого архива Кубанского БВУ

НПУ – 32.75 м УМО – 25.85 м

Полная емкость чаши водохранилища 2794 млн м куб
(данные Кубанского БВУ)

Даты съёмки ИСЗ Landsat	Уровен ь м	Объем воды, млн м3	Свободная емкость, млн м3	Приток воды м3/с	Сброс воды м3/с
26.05.2022	32.41	1669	1125	365	750
11.06.2022	32.03	1531	1263	672	502
06.08.2022	32.10	1566	1238	242	590
07.09.2022	28.24	562	2232	314	377
05.05.20 23	33.06	1917	877	634	850
22.06.2023	33.54	2106	688	1402	1032
17.08.2023	29.63	855	1939	276	470
26.09.2023	25.70	175	2619	73	79
23.05.2024	32.39	1661	1133	323	533
24.06.2024	32.27	1617	1177	647	550
03.08.2024	28.62	636	2158	161	450
04.09.2024	25.61	160	2634	96	82

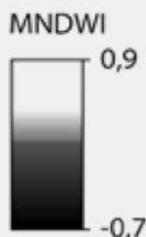
Для проведения мониторинга сезонных изменений за последние годы были использованы индексы:

-MNDWI (модифицированный нормализованный разностный водный индекс) используется для разделения границ воды и суши при разных значениях уровня воды и суши. Водные объекты принимают значения от 0,2 до 1, объекты, не содержащие влагу, принимают значения меньше 0.

- NDTI (нормализованный разностный индекс мутности) характеризует уменьшение прозрачности воды из-за наличия неорганических и органических примесей или планктона в водном объекте. Диапазон значений индекса от -1 до +1.

- NDVI (нормализованный относительный индекс растительности) показатель количества активной биомассы.

**Для обработки снимки были сгруппированы по сезонам –
весна, лето, осень**



С августа по декабрь 2020 г. уровень воды находился ниже уровня мертвого объема (УМО) с отметкой 25,85 м абс. По данным Кубанского БВУ запас воды в водохранилище составлял 6-10 % его полного объема. Расчет индекса MNDWI площади зеркала воды и осушки показал, что на момент съемки с ИСЗ Sentinel-2 17 сентября 2020 г. площадь от перемычки до плотины составила 121,5 км², а площадь бывшего Тщикского водохранилища – 42,4 км² вместо 80. Перемычка и обсохшие мелководья заняли 235 км² (или 58 %) от исходной площади водоема

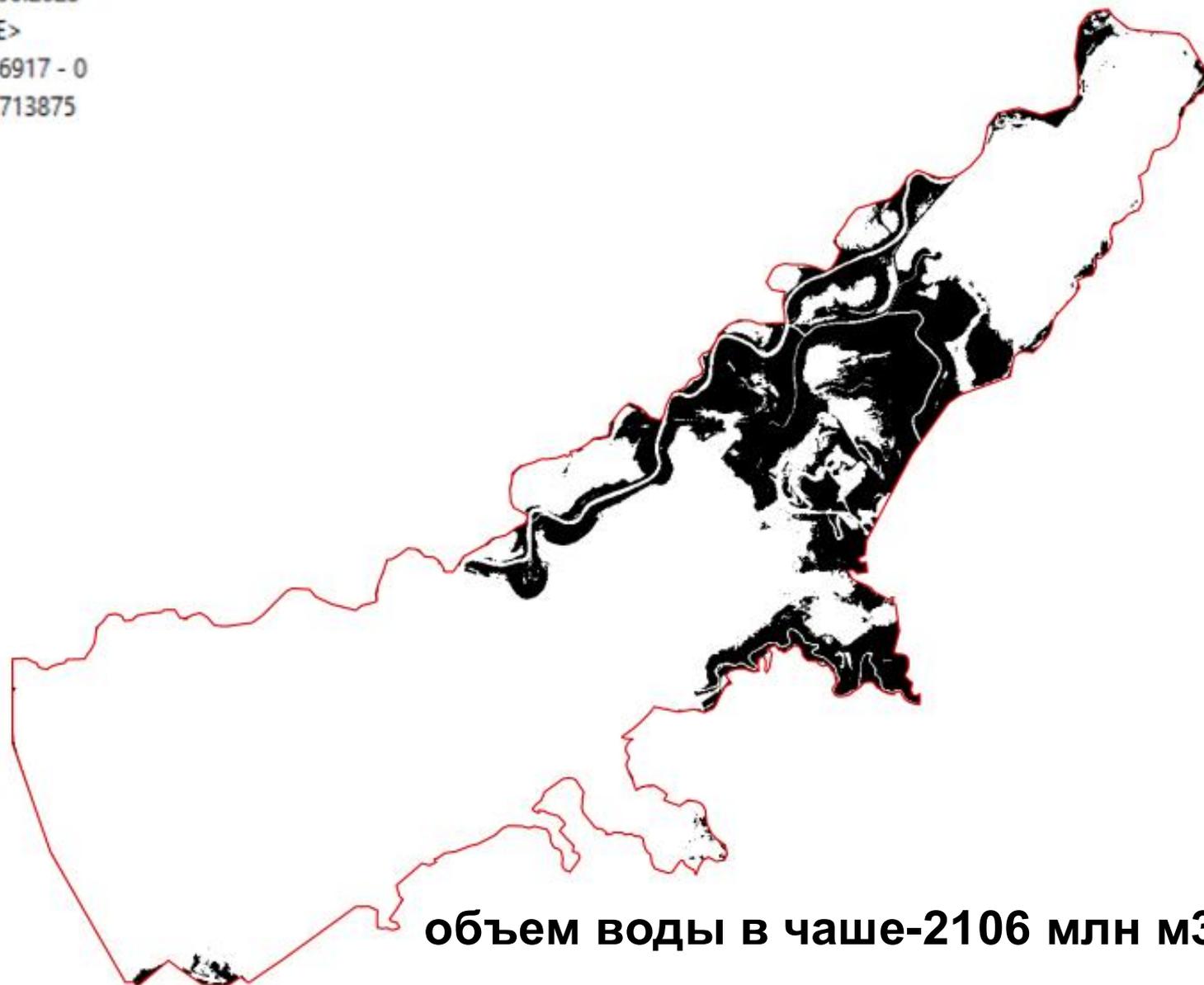
С помощью MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), были получены соотношения вода-суша для каждой даты и конкретного уровня. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию 2023 г., в котором отмечались и максимальные и минимальные значения уровня. Так, 22.06 высота уровня в период половодья составила 33.54 м, что на 80 см выше НПУ (32.75 м абс). Как показали расчеты индекса MNDWI, открытая водная поверхность занимала 310 км², а суша –69 км². В период затяжной межени 26 сентября зафиксирована отметка уровня 25.70 м, что ниже УМО на 15 см (25.85 м абс). Соотношение вода-суша составило 128/220 км². По данным БВУ, объем воды, содержащийся в чаше водохранилища, был равен 175 млн куб. м, что соответствует наполнению лишь 6% от полной емкости водохранилища. В 2024 году ситуация еще больше осложнилась, продолжительность безводного периода увеличилась

MNDWI22.06.2023

<VALUE>

■ -0,277286917 - 0

□ 0 - 0,267713875



объем воды в чаше-2106 млн м3,

MNDWI 22.06. 2023 Н – 33.54 м Суши - 68 кв. км

MNDWI26.09.2023

<VALUE>

■ -0,296236724 - 0

□ 0 - 0,242064923



MNDWI 26.09.2023 Н – 25.70 м Суши - 220 кв. км (прирост 152 кв.км)

Объем воды 175 млн м3. Сокращение за 3 месяца -1931 млн м3

MNDWI04.09.2024

<VALUE>

■ -0,325632453 - 0

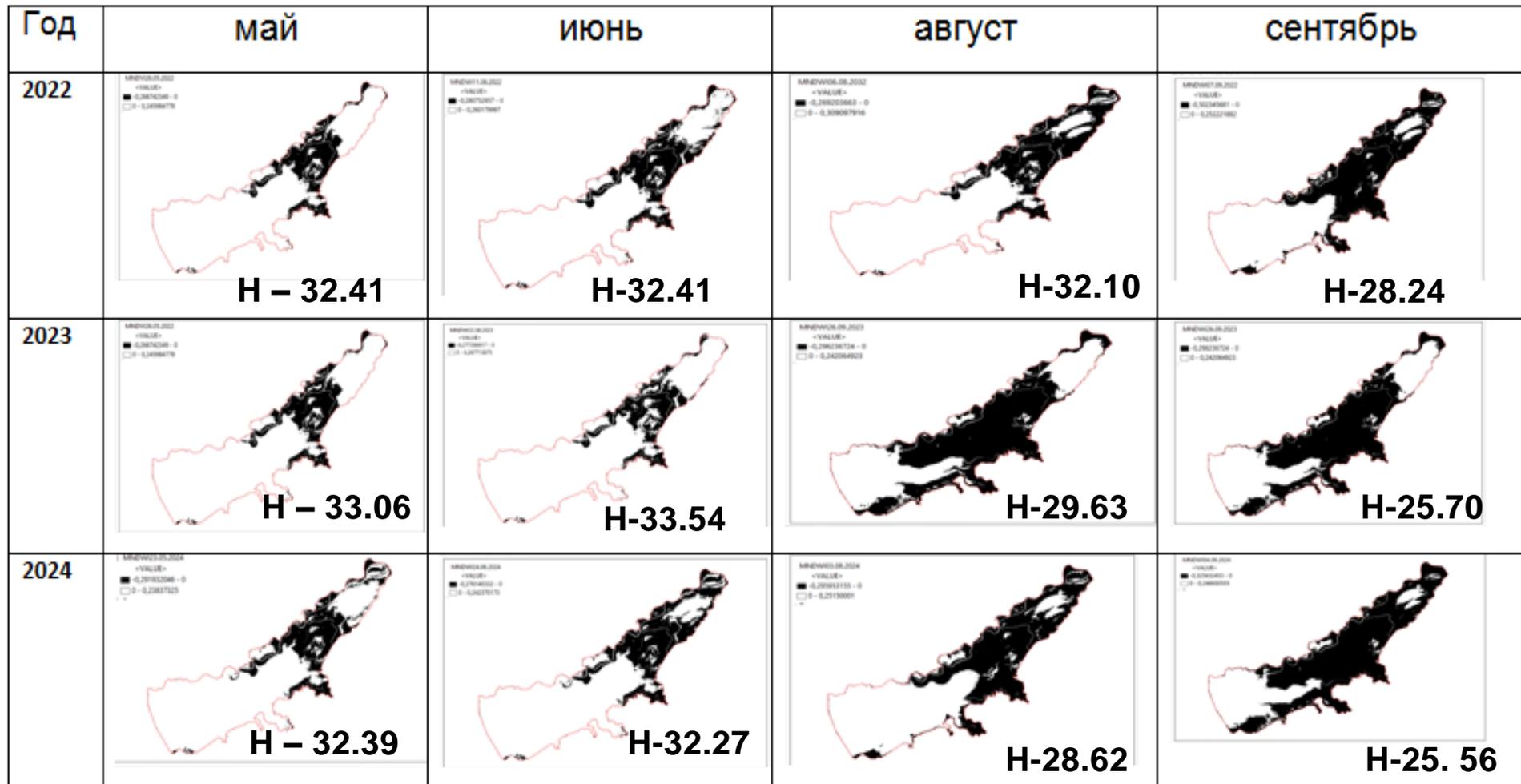
□ 0 - 0,246930555



04.09. 2024 Н – 25.56 м Суши -255 кв. км (прирост 187 кв.км)

Объем воды в чаше -160 млн м3 . В мае-1661млн м3. Сокращение на 1501 млн м3

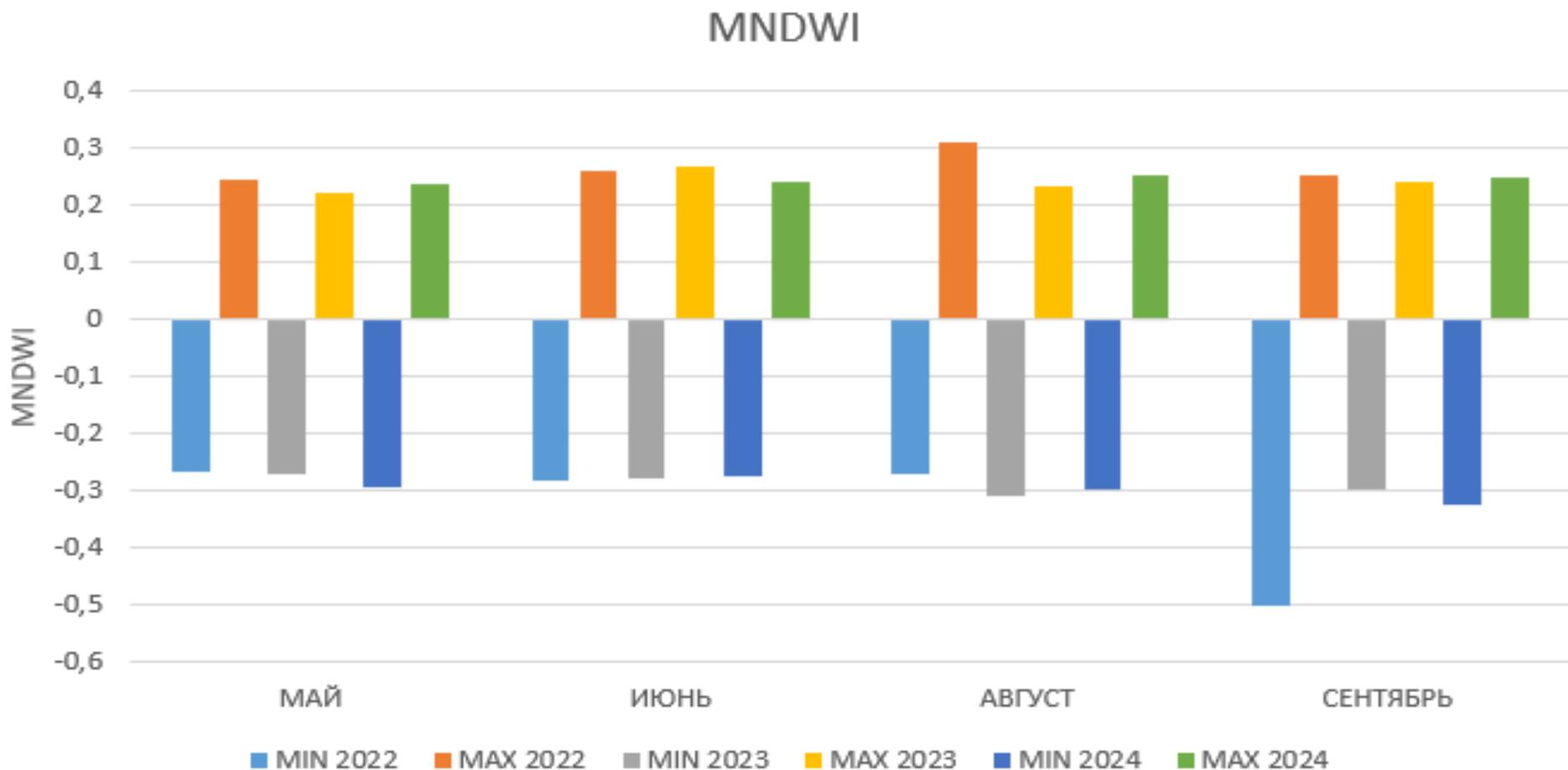
Сезонная динамика MNDWI (км кв), Н - отметки уровня, м



MNDWI	26.05.2022	11.06.2022	06.08.2022	07.09.2022	05.05.2023	22.06.2023	17.08.2023	26.09.2023	23.05.2024	24.06.2024	03.08.2024	04.09.2024
<0	75,8	89,40	113,4	182,3	69,6	68,0	117,4	219,3	91,02	109,3	170,5	255,4
≥0	301,7	288,1	264,1	195,2	307,8	308,5	260,0	158,3	286,5	268,2	207,0	122,1

Максимальные и минимальные значения индекса MNDWI

Годы	2022				2023				2024			
Даты	26.05	11.06	06.08	07.09.	05.05.	22.06.	17.08.	26.09	23.05.	24.06	03.08.	04.09
MIN	-0,27	-0,28	-0,27	-0,50	-0,27	-0,28	-0,31	-0,30	-0,29	-0,28	-0,30	-0,33
MAX	0,25	0,26	0,31	0,25	0,22	0,27	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25



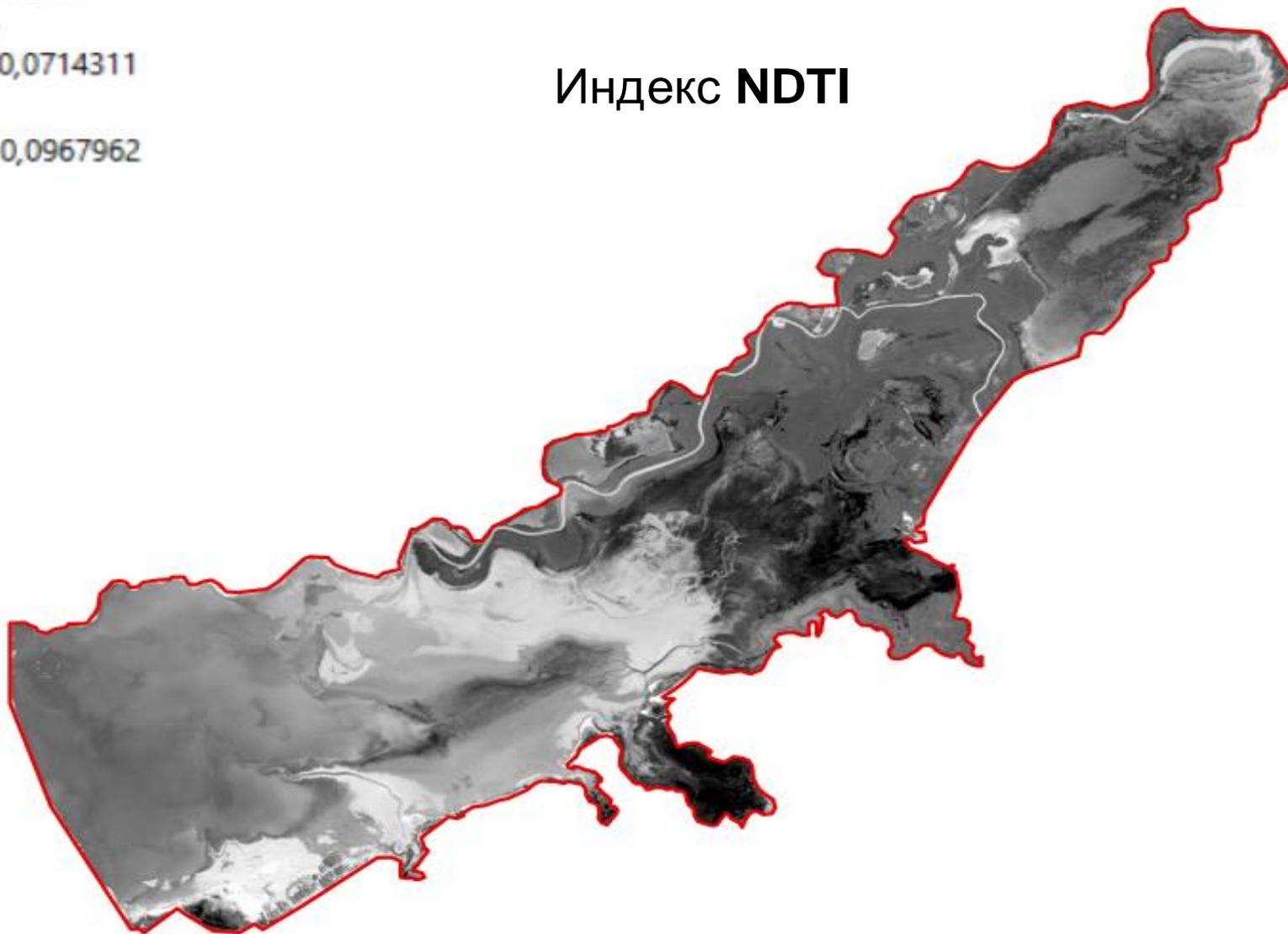
NDTI04.09.2024

Value

High : 0,0714311

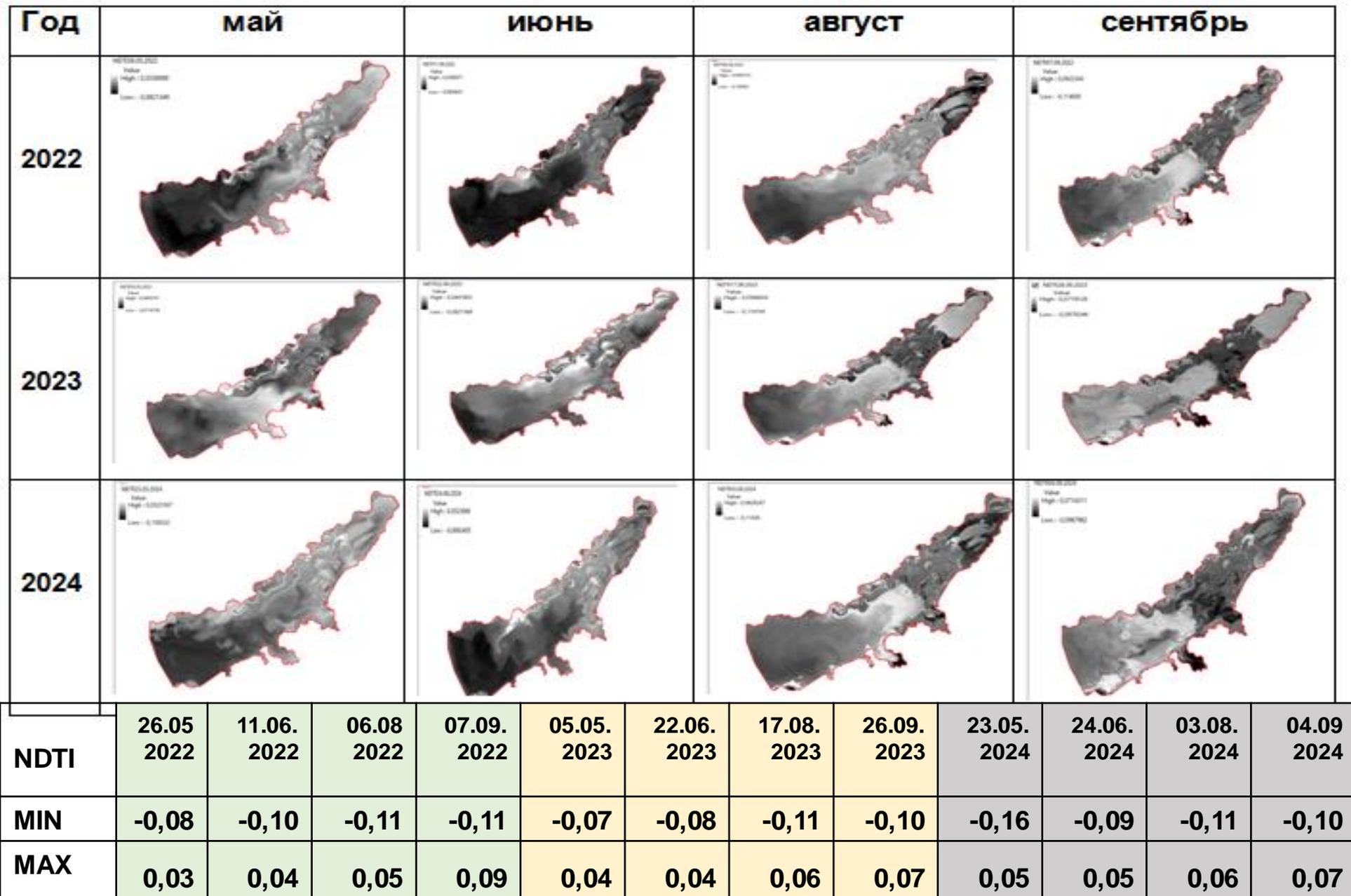
Low : -0,0967962

Индекс NDTI

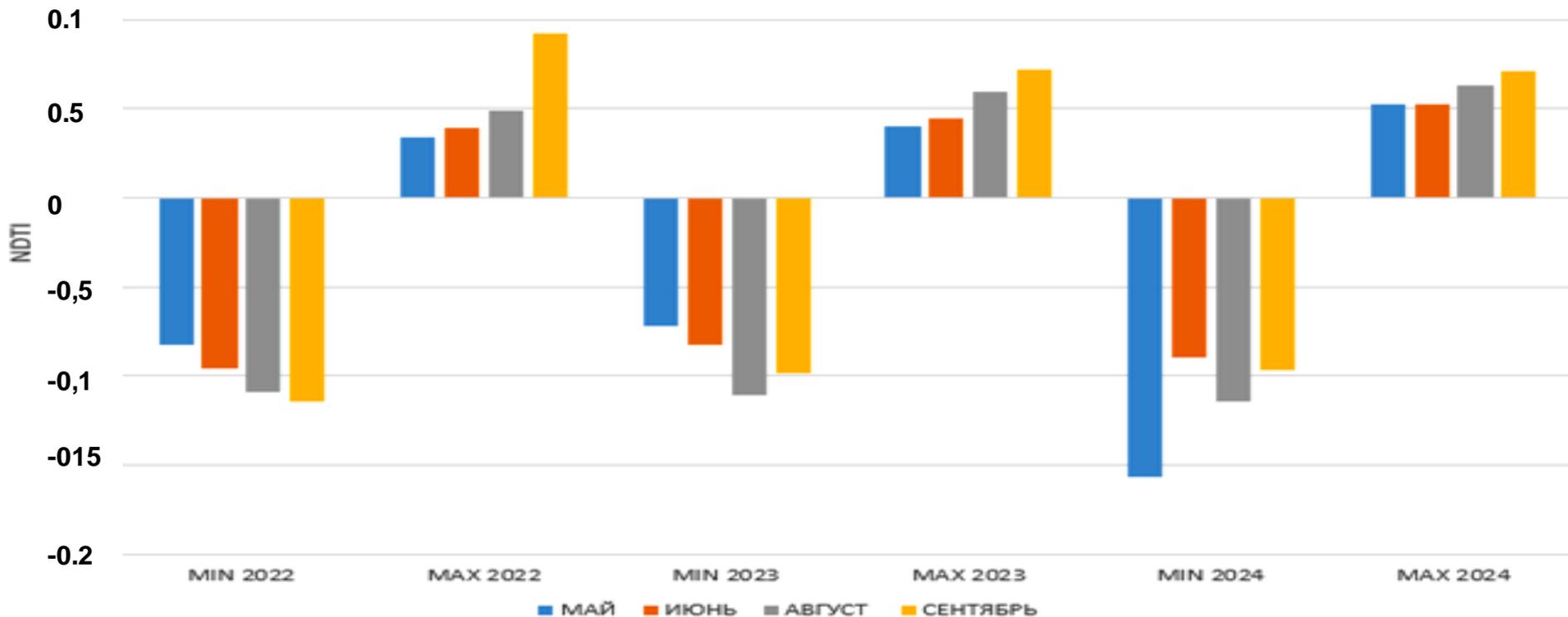


04.09.2024 H – 25.56 м S_{взвесей} -92 кв.км

Сезонная динамика NDTI



Распределение значений индекса мутности NDTI сезонам 2022-2024 гг



Площади участков водной поверхности с равными значениями NDTI (км²)

NDTI	26.05.2022	11.06.2022	06.08.2022	07.09.2022	05.05.2023	22.06.2023	17.08.2023	26.09.2023	23.05.2024	24.06.2024	03.08.2024	04.09.2024
-0,2- 0,1			0,62	0,06							0,65	
-0,1-0	377,0	369,3	371,2	301,9	356,8	340,9	291,4	136,2	374,0	369,1	332,0	285,6
0-0,1	0,6	8,2	5,7	75,6	20,8	36,6	86,2	241,3	3,6	8,5	44,9	91,9

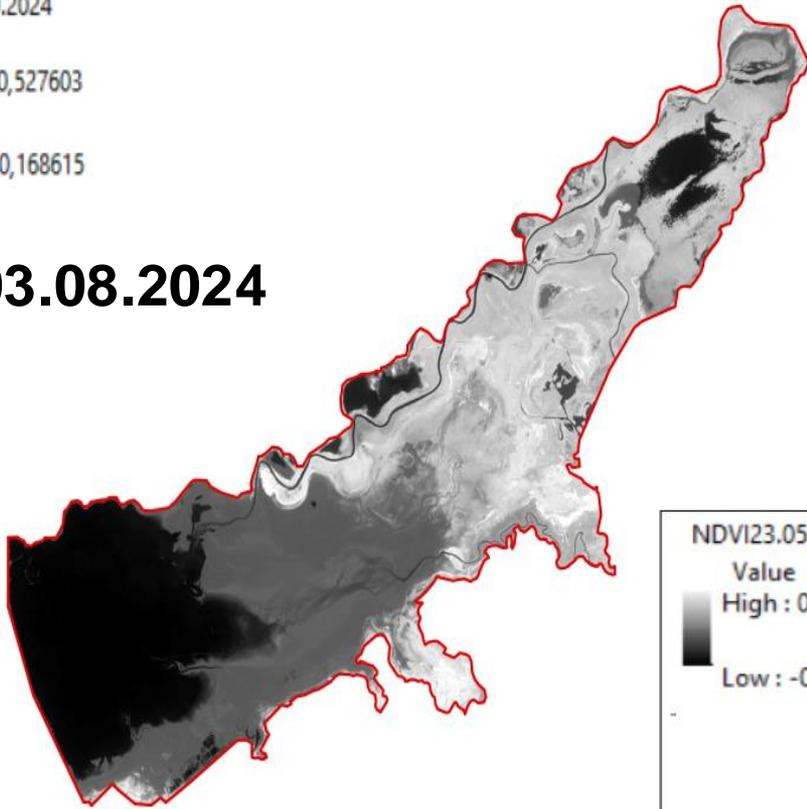
NDV04.09.2024

Value

High : 0,527603

Low : -0,168615

03.08.2024



Н – 25.56 м

Вегетационный индекс

NDVI - Актуален для выявления зарастания мелководных участков водохранилища высшей водной растительностью и незатапливаемых массивов перемычки деревьями и кустарниками

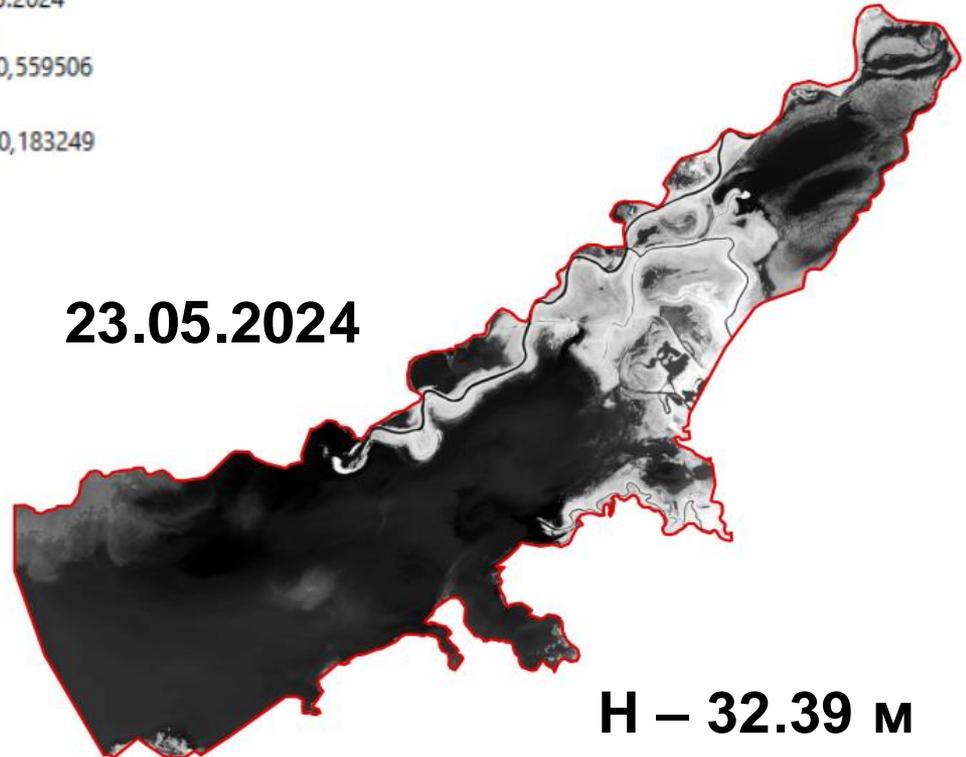
NDVI23.05.2024

Value

High : 0,559506

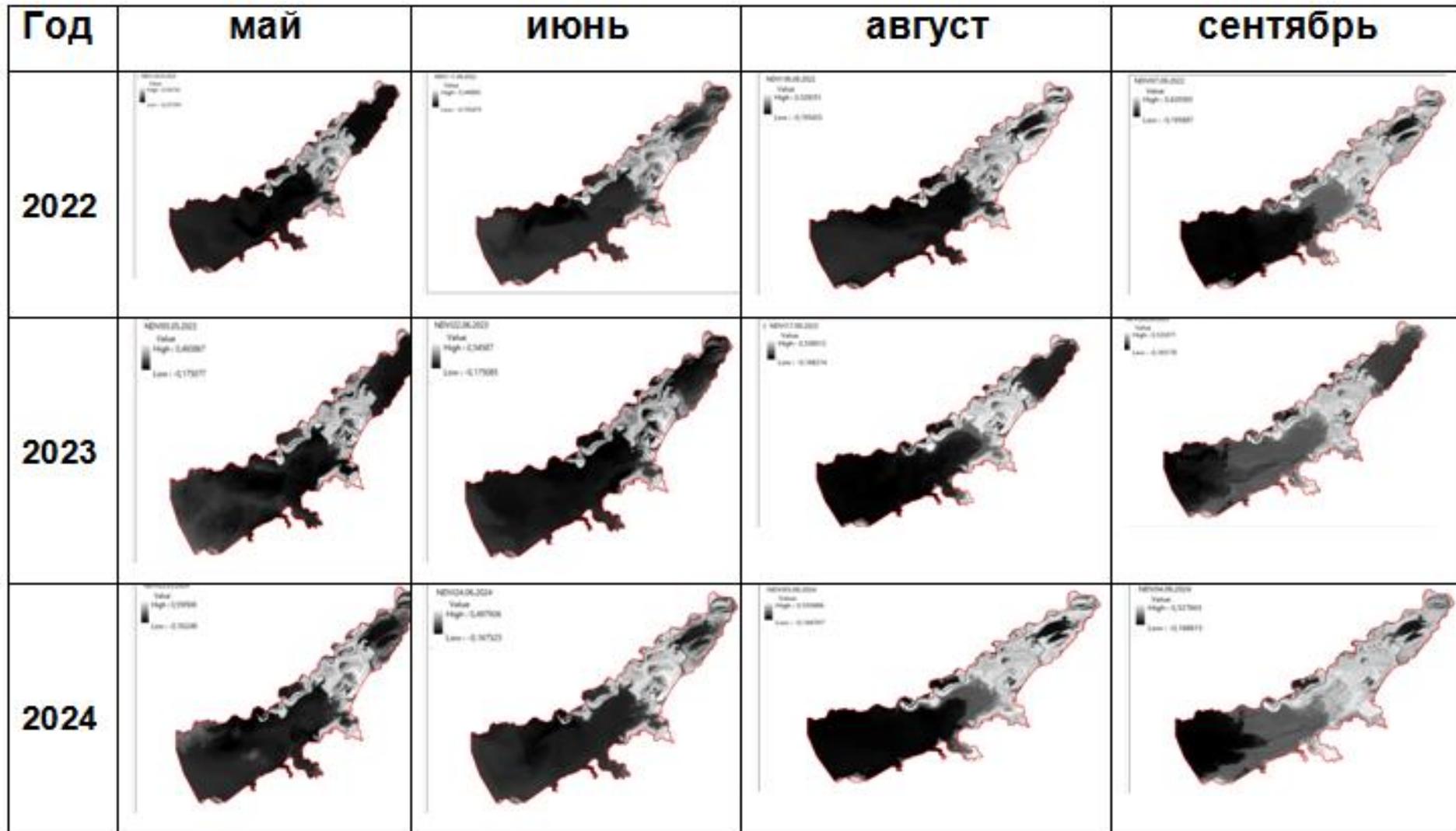
Low : -0,183249

23.05.2024



Н – 32.39 м

NDVI



Площади участков растительности с одинаковыми значениями индекса NDVI (км2)

NDVI	26.05 2022	11.06 2022	06.08. 2022	07.09 2022	05.05. 2023	22.06 2023	17.08. 2023	26.09 2023	23.05. 2024	24.06. 2024	03.08. 2024	04.09 2024
-0,3- - 0,2	0,004											
-0,2- - 0,1	119,3	46,43	64,33	165,1	124,2	177,3	171,4	43,51	76,70	20,68	178,3	77,79
-0,1-0	167,8	208,2	179,3	16,42	159,9	105,8	78,66	69,87	164,2	211,6	15,38	19,69
0-0,1	13,37	25,58	17,52	55,49	21,00	17,87	23,60	133,2	34,66	29,80	37,19	91,75
0,1-0,2	10,61	22,48	14,78	24,04	14,44	17,82	16,23	23,11	22,04	21,57	17,62	22,95
0,2-0,3	30,16	30,87	36,57	42,32	43,81	32,85	16,97	25,14	20,40	36,04	17,59	45,94
0,3-0,4	28,07	31,70	53,15	66,16	12,88	20,41	56,71	70,09	39,99	49,54	78,21	103,3
0,4-0,5	7,84	11,73	11,76	7,84	1,18	5,12	13,83	11,90	18,80	8,18	31,88	15,94
0,5-0,6	0,17	0,44	0,08	0,14		0,17	0,07	0,65	0,68		1,25	0,12
0,6-0,7				0,001								

Максимальные и минимальные значения индекса NDVI 2022-2024 гг

Даты	26.05 2022	11.06 2022	06.08 2022	07.09 2022	05.05 2023	22.06 2023	17.08 2023	26.09 2023	23.05 2024	24.06 2024	03.08. 2024	04.09 2024
MIN	-0,24	-0,19	-0,20	-0,20	-0,18	-0,18	-0,17	-0,17	-0,18	-0,17	-0,16	-0,17
MAX	0,54	0,55	0,53	0,62	0,49	0,55	0,54	0,53	0,56	0,50	0,56	0,53

ВЫВОДЫ

-Использование водных и вегетационных расчетных индексов позволяет получать оперативную информацию о динамике береговой линии при разных положениях уровня воды, проследить сезонные и многолетние изменения, определить степень зарастания перемычки древесной растительностью в зонах аккумуляции наносов;

-Исследование подтвердило возможность использования индекса мутности NDTI для анализа неоднородности содержания взвесей акваторий. В многоводный весенний период значения индекса NDVI ниже, чем в осенний. Более детальное изучение должно базироваться на результатах гидрологических наблюдений;

-Сведения, полученные с помощью спутникового мониторинга, необходимо учитывать для принятия реалистических решений по рациональному использованию водного запаса водохранилища

A high-angle photograph of a parched, cracked earth surface. The ground is light-colored and has formed a complex, irregular pattern of deep, dark cracks. In the center of the frame, a small, vibrant green plant with several leaves is growing out of the cracks, providing a stark contrast to the surrounding dry, cracked soil.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Фото Юрий Будильников