

ПОКАЗАТЕЛИ ЗАРАСТАНИЯ ОЗЕР САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Р.Р. Хасанов¹, И.И. Зиганшин^{1, 2*}, В.С. Валиев¹,
А.Б. Александрова^{1, 2**}

¹ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ и

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Эл. почта: *irek_ziganschin@mail.ru; **adabl@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.04.2025; принята к печати 28.04.2025

Представлены результаты оценки уровня зарастания озер отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных в Саралинском участке Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника и его охранной зоны в пределах второй надпойменной террасы Волги и Камы, основанные на анализе разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения и данных полевых наблюдений 2021–2024 годов. Выявлены основные закономерности зарастания озер прибрежно-водной растительностью, преимущественно тростником южным (*Phragmites australis*). В зависимости от морфометрических особенностей озер степень их зарастания варьирует от 2 до 90%. На основе анализа динамики нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) рассчитана средняя скорость зарастания озер прибрежно-водной растительностью: 1206 м² в год. При сохранении темпов зарастания прогнозируется полное исчезновение части озер в ближайшие десятилетия.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище; прибрежно-водная растительность; динамика зарастания, дистанционное зондирование; Волжско-Камский заповедник.

PARAMETERS OF LAKES OVERGROWING IN SARALINSKY SECTION OF VOLGA-KAMA RESERVE

R.R. Khasanov¹, I.I. Ziganshin^{1, 2*}, V.S. Valiev¹, A.B. Aleksandrova^{1, 2*}

¹ Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Resources, Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia;

² Kazan (Privolzhskiy) Federal University, Kazan, Russia

Email: * irek_ziganschin@mail.ru; **adabl@mail.ru

The results of assessment of the dynamics of overgrowing of the detached bays of Kuibyshev Reservoir located in the Saralinsky part of Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve and its buffer zone on floodplain terrace II of the rivers Volga and Kama are presented. The assessment is based on the analysis of serial high-resolution satellite images and on field studies carried out in 2021–2024. The key patterns of lake overgrowing by aquatic and riparian vegetation, predominantly by southern reed (*Phragmites australis*) were identified. Depending on the morphometric characteristics of the lakes, the degree of overgrowing ranges from 2% to 90%. Based on the dynamics of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the average rate of lake overgrowing by aquatic vegetation is estimated to amount to 1206 m² per year. If the current rates of overgrowing will persist, the lakes may be expected to disappear in the coming decades.

Keywords: Kuibyshev Reservoir; aquatic and riparian vegetation; overgrowing; remote sensing; Volga-Kama Nature Reserve.

Введение

Истощение водных ресурсов на планете является жизненно важной проблемой современности, требующей глобальных усилий для ее решения. Нерациональное использование имеющихся водных ресурсов повлекло за собой их повсеместное истощение и ухудшение качества, выразившееся в пересыхании водных объектов, снижении качества воды, активизации про-

цессов опустынивания и засоления прибрежных земель. Одним из негативных процессов, приводящим к деградации водных объектов, является их ускоренное зарастание, приводящее к обмелению и заболачиванию водоемов, а в конечном итоге и к их полному исчезновению [1].

Поверхностные водные объекты, занимая около 7% территории Республики Татарстан, насчитывают

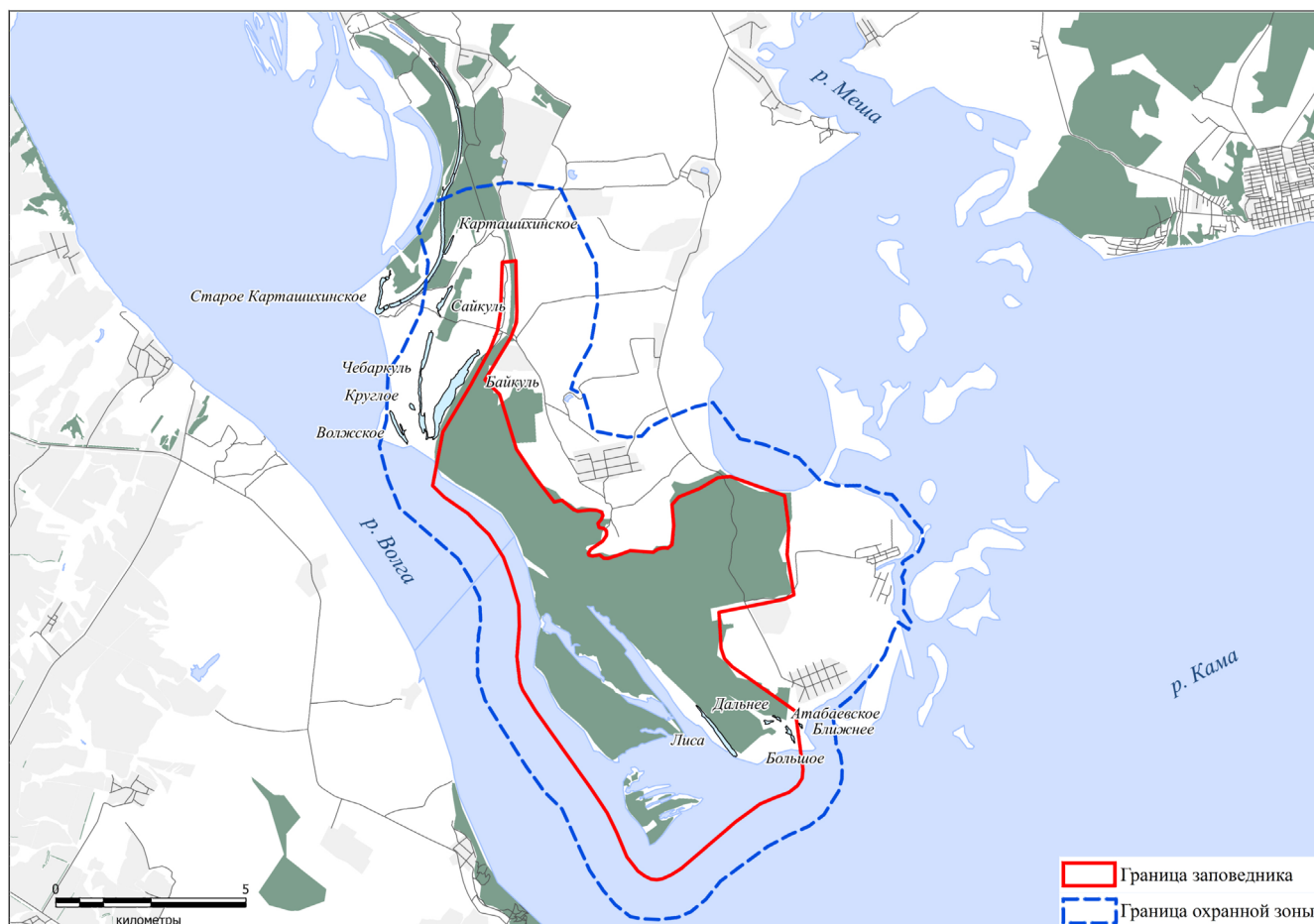


Рис. 1. Объекты исследования

14867 водных объектов¹. Процессы, определяющие скорость их зарастания, до настоящего времени остаются слабо изученными. Особенно актуально изучение этой проблемы для нового типа озер, ранее не характерного для поверхностных вод суши – для отчленившихся заливов, образовавшихся в результате отделения глубоко вдающихся в сушу частей водохранилищ. В силу морфологических особенностей они более уязвимы к климатическим изменениям и антропогенному воздействию и могут полностью деградировать за короткое время, в течение нескольких десятилетий [2]. На волжском участке Куйбышевского водохранилища при отметках, приближенных к нормальному подпорному уровню (НПУ), 53 абсолютных м, отмечено более 100 отчленившихся заливов с суммарной площадью водной поверхности 770 га [5]. Зарастание таких заливов сказывается на состоянии всего водохранилища и его водосборной территории и может представлять угрозу сохранению редких и исчезающих видов и биоразнообразию.

¹ Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Казань: Фолиант; 2018.

Особый научный интерес представляет изучение зарастания озер, находящихся на заповедных территориях с фоновым уровнем антропогенного воздействия, что делает их практически незатронутыми деятельностью человека. Результаты исследований в заповедниках могут использоваться для моделирования будущих изменений природной среды.

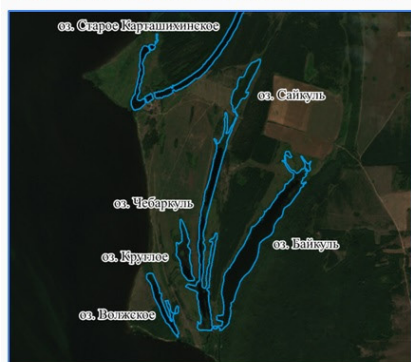
В статье представлен анализ динамики зарастания отчленившихся заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных на территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) и его охранной зоны.

Объекты и методы исследования

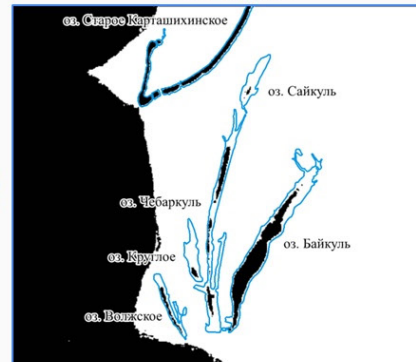
В качестве объектов исследования выбраны 12 озер, расположенных на территории Саралинского участка ВКГПБЗ и его охранной зоны (рис. 1).

Формирование озер как обособленных водных объектов связано с постепенным отчленением заливов Куйбышевского водохранилища, ранее образованных в результате затопления второй надпойменной терра-

Мультиспектральный снимок Sentinel 2

 $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ 

NDVI < 0,2

**Рис. 2.** Использование NDVI для дистанционной оценки зарастания озер

сы Волги и Камы водами в 1955–1957 годах. Процесс отделения происходил как естественным путем, через формирование абразионно-аккумулятивных пересыпей, так и в результате создания искусственных насыпей [3]. Основная часть озер расположена в северо-западной части Саралинского участка у бывшего с. Караташиха и в южной его части у с. Атабаево.

В качестве базовых использованы следующие материалы и информационные ресурсы: данные полевых экспедиционных исследований озер Саралинского участка ВКГПБЗ и спутниковые снимки GoogleEarthEngine и Sentinel-2.

Натурные исследования озер выполнены летом в 2021–2024 годах и включали батиметрическую съемку, описание и полевое картографирование прибрежно-водной растительности путем сплошного оконтурирования растительных группировок с помощью GPS-приемника. Для описания прибрежно-водной растительности использовалась методика В.Г. Папченко [6].

Вычисление морфометрических показателей, построение батиметрических карт озер и карт площадей их зарастания прибрежно-водной растительностью осуществлялось в ГИС MapinfoPro 16.0.

Оценка скорости зарастания озер выполнена с помощью нормализованного вегетационного индекса (NDVI), рассчитанного на основе разновременных мультиспектральных снимков Sentinel-2 за период 2018–2024 годов². Для расчета динамики растительного покрова на акваториях применен порог NDVI < 0,2, исключающий пиксели водной поверхности, облаков и объектов с низкой отражательной способностью в ближнем ИК-диапазоне (рис. 2).

На основе временных срезов NDVI проведено количественное сравнение оставшихся пикселей, характеризующих растительность, в пределах контуров водоемов, что позволило оценить межгодовые изменения скорости их зарастания.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета Statistica 8.0. Оценка значимости для зависимости зарастания от параметров водных объектов устанавливалась с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты и их обсуждение

Известно, что уровень зарастания водных объектов в значительной степени зависит от их глубины и доли мелководной зоны в общей площади [6–8]. В соответствии с ГОСТ³, исследуемые озера по основным морфометрическим показателям можно отнести к категории водоемов с малой площадью, малым объемом воды и очень малой глубиной водоема (табл. 1), что обусловлено их генезисом.

Доля мелководий с глубинами до 2 м колеблется от 23,6 (Байкуль) до 99,4% (Ближнее) и у большей части озер превышает 50%. Нами установлена положительная корреляция между зарастанием озер и площадью литорали ($r = 0,94$; $p < 0,05$). Береговая линия в основном имеет довольно изрезанную конфигурацию, озерные котловины удлинённые, вытянутые в виде борозды, что также подтверждается высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,84$; $p < 0,05$).

Глубины равномерно увеличиваются от берега к срединной линии озер (рис. 3). Сложившиеся благоприятные условия приводят к массовому развитию прибрежно-водной растительности, а высокая биологическая продуктивность способствует их прогрессирующему заилению и ускоренному зарастанию [4]. Вышесказанное утверждение подтверждается положительной корреляцией между зарастанием озера и долей илистых частиц в составе донных отложений озер литорали ($r = 0,71$; $p < 0,05$).

Прибрежно-водная растительность озер представлена преимущественно тростниково-рогозовыми ассоциациями с доминированием тростника южного

² Copernicus Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

³ ГОСТ Р 59054–2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов.

Табл. 1

Морфометрические показатели озер

Озеро	Площадь, га	Объем, тыс. м ³	Длина, м	Литораль, %	Ширина, м		Глубина, м		Коэффициенты		Длина береговой линии, м
					сред.	макс.	сред.	макс.	удлиненности	изрезанности	
Байкуль	52,2	747,5	2707	23,6	193	306	1,4	2,7	14,1	2,3	5822
Ближнее	0,4	3,4	151	99,4	44283	58	0,8	1,2	5,3	1,6	378
Волжское	8,7	105,2	993	38	88	101	1,2	2,3	11,3	2,7	2813
Карташинское	58,2	465,4	7476	55,1	78	172	0,8	2,7	96,1	6,2	16738
Круглое	1,5	12,2	218	50,1	70	106	0,8	1,3	3,2	1,2	511
Сайкуль	5,8	33,2	923	98,7	64	127	0,6	1	14,5	2,4	2114
Старое Карташинское	10,6	158,9	1561	25	68	161	1,5	2,9	23	3,1	3595
Чебаркуль	22,9	257,6	2962	24,8	77	150	1,1	2,7	38,4	3,9	6749
Атабаевское	1	9,3	275	64,3	37,7	71,8	0,9	1,4	7,3	1,8	639,8
Большое	2,9	32,4	506	78,6	58,2	141	1,1	1,7	8,7	2,1	1255,7
Дальнее	1,5	13,1	269	89,5	54,2	90,5	0,9	1,3	5	1,5	660,8
Лиса	14,8	34,1	1713	81,9	86,6	121	0,2	1	86,6	2,6	3541

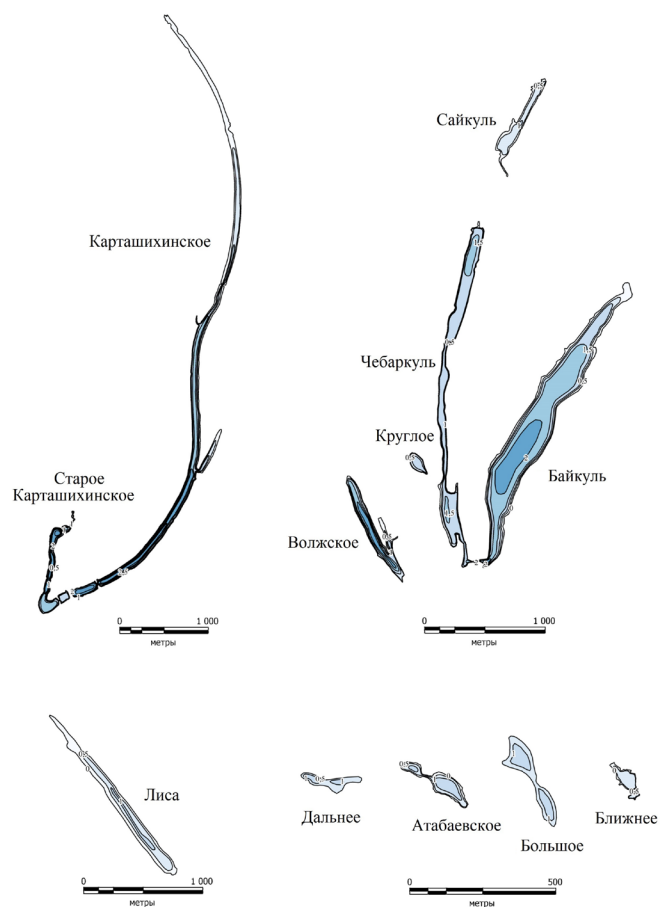


Рис. 3. Батиметрические карты озер

(*Phragmites australis*) и рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) (рис. 4).

Ширина прибрежных зарослей колеблется от 5 до 200 м, а максимальные ее значения характерны для Атабаевских озер (Атабаевское, Большое и Дальнее), ранее составлявших единый водоем. В основном ширина мелководной части озер, занятой макрофитами, составляет 20–30 м. Рогоз узколистный местами далеко заходит в воду от кромки берега (до 30 м). Тростник обыкновенный распространен вдоль всей береговой линии большей части озер, занимая всю мелководную зону до глубины 1,5 м (рис. 5).

Отсутствие крупных тростниковых зарослей отмечается лишь на тех участках, где литораль практически отсутствует, таких как Карташихинское и Старое Карташихинское, котловина которых имеет корытообразную форму (рис. 5).

По степени зарастания, согласно классификации В.Г. Папченко [6], рассматриваемые водоемы распределяются на 5 классов (рис. 6):

1) не заросшие или почти не заросшие – площадь зарослей менее 1% площади акватории (Старое Карташихинское);

2) очень слабо заросшие – площадь зарослей 1–5% (Карташихинское);

3) умеренно заросшие – площадь зарослей 11–25% (Байкуль, Волжское, Лиса);

4) сильно заросшие – площадь зарослей 41–65% (Сайкуль, Чебаркуль);

5) очень сильно заросшие – 66–95% (Атабаевские озера, Ближнее, Круглое).

Очень сильно заросшие озера при сохранении текущих темпов зарастания прекратят свое существование как водные объекты в ближайшие десятилетия.



Рис. 4. Прибрежно-водная растительность некоторых озер

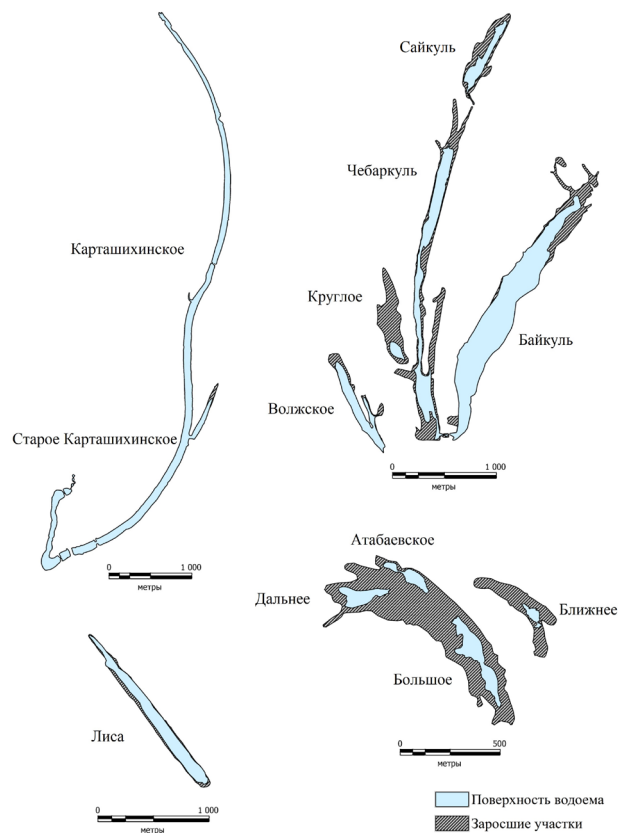


Рис. 5. Зарастание озер

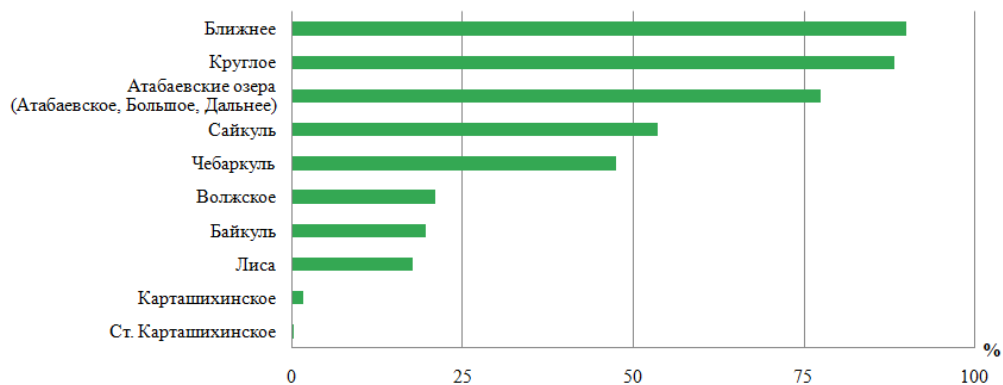


Рис. 6. Степень зарастания озер

тилетия. Колебания уровня Куйбышевского водохранилища мало влияют на площадь зарастания озер. В 2024 году, когда весь год отмечались приближенные к НПУ значения, площадь распространения прибрежно-водной растительности кардинально не менялась.

Значительная площадь зарастания прибрежно-водной растительностью характерна для Атабаевских озер (Атабаевское, Большое и Дальнее), которые ранее составляли единый водоем площадью 24 га. В дальнейшем единое озеро распалось на три самостоятельных водоема (рис. 5).

Динамика зарастания озёр

Озеро	Количество пикселей с NDVI > 0,2		Динамика зарастания 2018–2024 годы	
	2018 год	2024 год	м²	%
Карташихинское	1818	2000	2366	10,0
Байкуль	1692	1813	1573	7,2
Чебаркуль	2067	2068	13	0,1
Лиса	1264	1508	2440	19,3
Старое Карташихинское	193	190	0	0
Волжское	483	511	364	5,8
Сайкуль	696	736	520	5,8
Ближнее	430	430	0	0,0

Значительные изменения произошли и с оз. Ближнее, возникшим на месте бывшего с. Табаево, которое попало в зону затопления при создании водохранилища. Водоем к настоящему времени сильно зарос, потеряв 90% первоначальной площади открытой акватории (рис. 5).

Минимальной степенью зарастания отличается озеро Старое Карташихинское, что объясняется регулярной связью с р. Волгой в половодье и особенностями морфологического строения озерной котловины, которые не способствуют развитию прибрежно-водной растительности (рис. 6).

Таким образом, более крупные озера (Карташихинское, Байкуль, Старое Карташихинское, Лиса) менее подвержены негативным последствиям зарастания макрофитами, мелкие же озера (Ближнее, Круглое, Атабаевские озера) с незначительной глубиной находятся в зоне риска их скорого исчезновения.

На основе данных о площадях акваторий, подвергшихся зарастанию, и времени, за которое этот процесс произошел, можно с определенной долей условности рассчитать среднюю скорость зарастания. Это позволяет прогнозировать время полного исчезновения озера при сохранении текущих темпов зарастания: Атабаевские озера могут полностью зарости в течение ближайших 15 лет; озера Сайкуль и Чебаркуль – в течение 50 лет; озера Волжское, Байкуль и Лиса – в течение 200 лет; озера Карташихинское и Старое демонстрируют значительно более высокую устойчивость к зарастанию, и их полное зарастание прогнозируется на более отдаленный срок.

На основе анализа данных NDVI установлено, что наибольшая скорость зарастания отмечается у более крупных озера и глубоких, таких как Карташихинское, Байкуль и Лиса (табл. 2).

В то же время небольшие по площади и мелкие по глубине Атабаевские озера, и озеро Круглое, демонстрируют нулевую или даже отрицательную динамику зарастания, что может быть связано с ограничениями метода NDVI при анализе небольших объектов.

Заключение

Проведенный анализ разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения и данных полевых наблюдений показал, что степень зарастания отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных на территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника и его охранной зоны, прибрежно-водной растительностью варьирует от 2 до 90% в зависимости от морфометрических особенностей озера. Среднюю скорость зарастания озера прибрежно-водной растительностью можно оценить в 1206 м² в год. Критической степенью зарастания характеризуются Атабаевские озера и озеро Круглое, которые при сохранении существующих темпов зарастания полностью исчезнут как водные объекты в ближайшие десятилетия.

Зарастание водоемов прибрежно-водной растительностью приводит к заилению и уменьшению площади водоемов, при отмирании и разложении фитомассы происходит вторичное загрязнение водоемов. Однако заросли прибрежно-водной растительности играют важную экологическую роль, служа местом гнездования для водоплавающих птиц, создавая благоприятные условия для размножения рыб, подавляя развитие сине-зеленых водорослей, являясь естественным фильтром, очищая воду. Таким образом, процесс зарастания имеет как негативные, так и позитивные аспекты, влияя на биоразнообразие и устойчивость экосистемы.

Проведенный анализ зарастания водоемов имеет значение для понимания состояния водных систем и оценки их устойчивости в долгосрочной перспективе. Полученные результаты исследования могут быть использованы в целях организации и проведения фоновых мониторингов водных экосистем заповедника, а также при разработке прогнозов социально-экономического развития Республики Татарстан и принятии соответствующих решений.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Авакян АБ, Широков ВМ. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Минск: Университетское; 1990.
2. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР. Динамика морфометрических параметров Атабаевских озер Волжско-Камского заповедника. В кн.: Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XVI Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием. Киров; 2022. С. 85-9.
3. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР. Генезис и морфометрическая характеристика озер охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского заповедника. Российский журнал прикладной экологии. 2021;(1):36-43. doi: 10.24411/2411-7374-2020-10039.
4. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР. Осадконакопление в озерах охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского заповедника. Российский журнал прикладной экологии. 2021;(2):47-52. doi: 10.24852/2411-7374.2021.2.47.52.
5. Зиганшин ИИ, Иванов ДВ, Хасанов РР, Кочетков ДА. Генезис и морфометрические особенности отчлененных заливов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища. Российский журнал прикладной экологии. 2024;(4):10-7. doi: 10.24852/2411-7374.2024.4.10.17.
6. Папченков ВГ. Закономерности зарастания водотоков и водоемов. Экология. 2003;(1):18-22.
7. Папченков ВГ. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ; 2001.
8. Папченков ВГ, Папченкова ГА. Динамика и зарастание водохранилищ Волги. Водные ресурсы. 2020;(4):402-10. doi: 10.31857/S0321059620040112.
9. Поддубный СА, Папченков ВГ, Чемерис ЕВ, Бобров АА. Зарастание защищенных мелководий верхневолжских водохранилищ в связи с их морфологией. Биология внутренних вод. 2017;(1):65-73. doi: 10.1134/S0320965218030142.

Общий список литературы/References

1. Avakian AB, Shirokov VM. Kompleksnoye Ispolzovaniye Okhrana Vodnykh Resursov. [Integrated Use and Protection of Water Resources]. Minsk: Universitetskoye; 1990. (In Russ.)
2. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR. [The dynamics of morphometric parameters of the Atabaevsky lakes of Volga-Kama Reserve]. In: Ekologiya RodnogoKraya: Problemyi Putilkh Resheniya. Kirov; 2022. P. 85-9. (In Russ.)
3. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR. [Genesis and morphometric characteristics of lakes in the protected area of the Saralinsky section of the Volga-Kama Reserve]. Rossiyskiy Zhurnal Prikladnoy Ekologii. 2021; (1):36-43. (In Russ.). doi: 10.24411/2411-7374-2020-10039.
4. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR. [Sedimentation in lakes of the protected area of the Saralinsky section of the Volga-Kama Reserve]. Rossiyskiy Zhurnal Prikladnoy Ekologii. 2021; (2):47-52. (In Russ.). doi: 10.24852/2411-7374.2021.2.47.52.
5. Ziganshin II, Ivanov DV, Khasanov RR, Kochetkov DA. [Genesis and morphometric features of the isolated gulfs of the Kazan region of the variable reservoir of the Kuibyshev reservoir]. RossiyskiyZhurnalPrikladnoyEkologii. 2024;(4):10-7. (In Russ.). doi: 10.24852/2411-7374.2024.4.10.17.
6. Papchenkov VG. [Patterns of overgrowth of watercourses and reservoirs]. Ekologiya. 2003;(1):18-22. (In Russ.)
7. Papchenkov VG. Rastitelnyi Pokrov Vodoyomovi Vodotokov Srednego Povolzhya. [Vegetation Cover of Reservoirs and Watercourses of the Middle Volga Region]. Yaroslavl: TsMPMUBiNT; 2001. (In Russ.)
8. Papchenkov VG, Papchenkova GA. [Dynamics and overgrowth of Volga reservoirs]. VodnyeResursy. 2020;(4):402-10. (In Russ.). doi: 10.31857/S0321059620040112.
9. Poddubnyi SA, Papchenkov VG, Chemeris EV, Bobrov AA. [Overgrowth of the protected shallow waters of the Upper Volga reservoirs in connection with their morphology]. BiologiyaVnutrennikhVod. 2017;(1):65-73. (In Russ.). doi: 10.1134/S0320965218030142.