

УДК: 528.854.4:5815:556(574)

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-301-316

Т. Ю. Зенгина¹

ВЛИЯНИЕ ОБВОДНЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КОРГАЛЖЫНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)

АННОТАЦИЯ

Ядром крупнейшего в Республике Казахстан Коргалжынского государственного природного заповедника являются водно-болотные угодья (ВБУ), занимающие площадь около 2,6 тыс. км² и представляющие собой чередование многочисленных заросших водной растительностью соленых и пресных мелководных озер, обширных участков мелководий, а также наземных экосистем разной степени увлажненности с разнообразной растительностью. Заповедник является важнейшим центром сохранения биоразнообразия в Евразии и включен в Рамсарский список ВБУ международного значения. В период линьки и сезонных миграций численность птиц может достигать 5 тыс. особей. Водно-болотные угодья также являются местообитанием множества видов животных и растений. Одной из проблем заповедника является крайне неустойчивый гидрологический режим, что приводит к сильным колебаниям площади водного зеркала озер и степени обводненности сопредельных территорий, а следовательно, к изменению состава и пространственной структуры растительных сообществ. Изменение условий местообитания приводит к колебаниям численности орнитофауны и обеднению видового состава, что создает угрозу биоразнообразию заповедника. В работе на основании данных дистанционного зондирования Земли на примере двух лет (маловодного 2006 и многоводного 2019 гг.) анализируется изменение растительного покрова ВБУ заповедника в связи с изменением степени обводненности территории. Описана методика создания разновременных карт растительности, включающая несколько последовательных этапов: выделение на основании спектральных индексов наземных экосистем как основного объекта для изучения растительности; расчет и сравнение степени обводненности территории за рассматриваемые годы; выбор и обоснование числа классов и коэффициента генерализации результатов неконтролируемой классификации изображений для детализации и уточнения границ растительных сообществ; решение задачи тематической интерпретации полученных спектральных классов с использованием карты растительности проекта ГЭФ/ПРООН 2006 г. и полевых данных; создание разновременных векторных карт, расчет и сравнение площади выделенных растительных сообществ. Предложенный подход позволил существенно детализировать контурную часть карты растительности проекта ГЭФ/ПРООН 2006 г. и провести более детальное разделение растительных сообществ. Проведенные расчеты и сравнение ситуации 2006 и 2019 гг. показало, что соотношение площадей разной степени обводненности может меняться в зависимости от года в 2–3 р. Результаты картографирования растительного покрова подтвердили изменчивость и зависимость состава и пространственной структуры растительных сообществ в первую очередь от степени обводненности территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Коргалжынский заповедник, водно-болотные угодья, растительный покров, обводненность территории, спектральные индексы

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, e-mail: tzengina@mail.ru

Tatiana Yu. Zengina¹

INFLUENCE OF WATERLOGGING OF THE TERRITORY ON THE CHANGE OF VEGETATION COVER OF THE KORGALZHYN RESERVE (ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA)

ABSTRACT

The core of the largest Korgalzhyn State Nature Reserve in the Republic of Kazakhstan is the wetlands, which occupy an area of about 2.6 thousand km² and represent an alternation of numerous salt and fresh shallow lakes overgrown with aquatic vegetation, vast areas of shallow water, as well as terrestrial ecosystems of varying degrees of humidity with diverse vegetation. The reserve is the most important center for the conservation of biodiversity in Eurasia and is included in the Ramsar List of Wetlands of International Importance. During the moulting period and seasonal migrations, the number of birds can reach 5 thousand individuals. Wetlands are also a habitat for many species of animals and plants. One of the problems of the reserve is the extremely unstable hydrological regime, which leads to strong fluctuations in the area of the water surface of lakes and the degree of waterlogging of adjacent territories, and, consequently, to a change in the composition and spatial structure of plant communities. Changes in habitat conditions lead to fluctuations in the number of avifauna and depletion of species composition, which poses a threat to the biodiversity of the reserve. In this paper, based on remote sensing data, the change in the vegetation cover of the reserve wetlands is analyzed in connection with the change in the degree of waterlogging of the territory using the example of two years (low-water 2006 and high-water 2019). The paper describes a method for creating multi-temporal vegetation maps, which includes several successive stages: selection of terrestrial ecosystems as the main object for studying vegetation based on spectral indices; calculation and comparison of the degree of waterlogging of the territory for the years under consideration; selection and justification of the number of classes and the generalization coefficient of the results of unsupervised classification of images for detailing and clarifying the boundaries of plant communities; solution of the problem of thematic interpretation of the obtained spectral classes using the vegetation map of the 2006 GEF/UNDP project and field data; creation of multi-temporal vector maps, calculation and comparison of the area of the identified plant communities. The proposed approach allowed us to significantly detail the contour part of the vegetation map of the 2006 GEF/UNDP project and to carry out a more detailed division of plant communities. The calculations and comparison of the situation in 2006 and 2019 showed that the ratio of areas with different degrees of waterlogging can vary by 2–3 times depending on the year. The results of vegetation mapping confirmed the variability and dependence of the composition and spatial structure of plant communities primarily on the degree of waterlogging of the territory.

KEYWORDS: Korgalzhyn Nature Reserve, wetlands, vegetation cover, waterlogging of the territory, spectral indices

ВВЕДЕНИЕ

Коргалжынский государственный природный заповедник, самый большой по площади заповедник в Республике Казахстан расположенный в Акмолинской обл., был образован в 1968 г. Ядром заповедника являются водно-болотные угодья (ВБУ) Тениз-Коргалжынской системы озер, площадь которых составляет 2 600 км² [Ёлкин, Волков, 2017]. Это более 60 пресных и соленых озер, большинство из которых расположены по днищам

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: tzengina@mail.ru

замкнутых понижений и имеют глубину всего 1–3 м. В период сезонных миграций ВБУ заповедника являются местом концентрации огромного количества как водоплавающих, так и околоводных птиц, в т. ч. фламинго, розового и кудрявого пеликана. В заповеднике зафиксировано более 300 видов птиц, а в период линьки и сезонной миграции численность птиц может достигать 5 тыс. особей [Кошкин, 2016]. В 1974 г. заповедник был включен в Рамсарский список ВБУ международного значения как один из важнейших центров сохранения биоразнообразия в Евразии [Глобально значимые..., 2007].

Уникальность экосистем заповедника, наличие многочисленных соленых и пресных озер также благоприятны для обитания множества видов животных. Достаточная обводненность территории обеспечивает произрастание большого количества водных и околоводных растений, что привлекает множество животных и птиц, предпочитающих соответствующие местообитания. Это обусловило получение Коргалжынским заповедником статуса высшего ранга в сфере охраны окружающей среды — он был признан биосферным резерватом ЮНЕСКО в 2012 г.

Одной из проблем заповедника является крайне неустойчивый гидрологический режим, что, как правило, связано со значительными межгодовыми и межсезонными колебаниями объема поступающего речного стока и изменениями общей увлажненности территории. Определенную роль может играть состояние подпорных плотин на р. Нуре и периодические сбросы воды из Самаркандского вдхр.

Изменения гидрологического режима приводят к сильным колебаниям площади водного зеркала озер, изменению степени обводненности сопредельных территорий, изменению состава и пространственной структуры растительных сообществ суши в пределах ВБУ заповедника [Зенгина и др., 2024]. Это, в свою очередь, создает угрозу биоразнообразию заповедника, обусловленную снижением объема кормовой базы озер для многих видов птиц, изменением местообитаний и сокращением гнездовых площадей для птиц и т. д. Все это приводит к колебаниям численности орнитофауны и обеднению видового состава.

Целью работы является анализ влияния степени обводненности территории на изменение растительного покрова ВБУ Коргалжынского заповедника по данным дистанционного зондирования Земли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовались многозональные разновременные космические снимки разного пространственного разрешения, подобранные в открытом доступе на портале Геологической службы США (USGS). Снимки со спутников Landsat-7 (ETM+) и Landsat-8 (OLI) с пространственным разрешением зональных изображений 30 м (bands 4, 5) и Sentinel-2 (MSI) с пространственным разрешением зональных изображений 10 м (bands 2, 4, 8, 11) использовались для получения индексных и синтезированных изображений. Уточнение контуров на ключевых участках проводилось с применением разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения, предоставляемых веб-сервисами Google Earth, Google Satellites и Yandex Satellites.

В работе широко использовались опубликованные отчеты проекта ГЭФ/ПРООН по Коргалжынскому заповеднику, выполненные в 2005–2007 гг., в т. ч. проект Глобального экологического фонда «Комплексное сохранение приоритетных глобально значимых водно-болотных угодий как мест обитания мигрирующих птиц: демонстрация на трех территориях. Тениз-Коргалжынская система озер» и опубликованная в 2007 г. «Карта растительности Коргалжынского заповедника» м-ба 1:600 000, созданная в рамках этого проекта [Глобально значимые..., 2007].

В работе также использовались фондовые материалы Коргалжынского заповедника, любезно предоставленные его сотрудниками в рамках научного сотрудничества. Это материалы исследований, приведенные в итоговых отчетах «Летописи природы», где начиная с 1974 г. регистрируются все зафиксированные в ходе ежегодных мониторинговых исследований изменения, происходящие в природных комплексах. К работе также привлекались полевые данные, полученные во время совместных полевых работ летом 2019 г. Также использовались литературные и другие источники, представленные в списке литературы.

Основными *методами*, использованными в работе, явились методы дистанционного зондирования (ДЗЗ), геоинформационного анализа и картографирования. В качестве базового программного обеспечения использовался ГИС-пакет QGIS 3.34, а также программа MultiSpec и веб-сервис Google Earth Pro. Некоторые процедуры были выполнены в программном комплексе ENVI 5.2.

Методы обработки и анализа материалов ДЗЗ основывались на работе с разновременными космическими снимками и включали обработку многозональных изображений, в т. ч. тематически ориентированный RGB-синтез для получения цветных изображений в псевдоцветах максимально информативных для изучения растительности, получение индексных изображений (на основании расчета спектральных индексов) и решение классификационных задач для дешифрирования растительных сообществ, а также ряд других процедур.

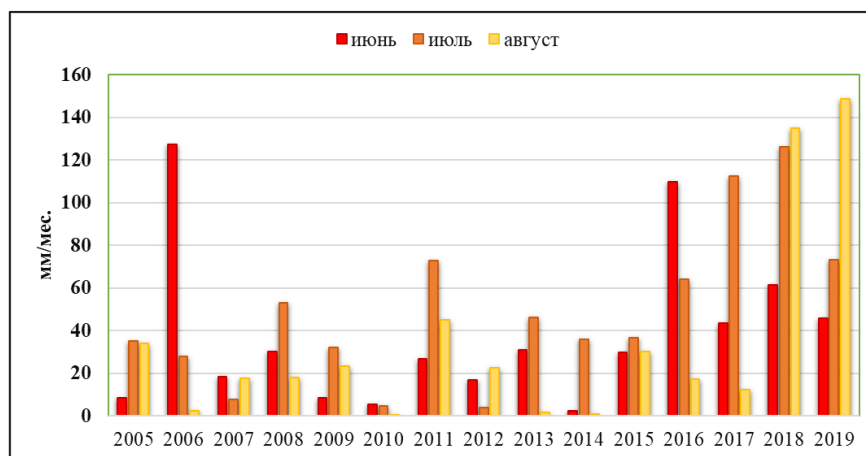
Работа состояла из нескольких этапов. *Первый этап* включал выбор, предобработку снимков и осуществление процедуры тематически ориентированного синтеза подобранных изображений. На *втором этапе* на основании рассчитанных спектральных индексных изображений решалась задача разделения водных и наземных экосистем в пределах ВБУ заповедника для дальнейшего детального изучения растительных сообществ суши, а также проводилась оценка и сравнение степени обводненности территории ВБУ на две выбранные даты. На *третьем этапе* на основании материалов проекта ГЭФ/ПРООН и «Карты растительности Коргалжынского заповедника» м-ба 1:600 000, опубликованной в 2007 г., была создана векторная карта растительности ВБУ заповедника, которая стала информационной основой для картографирования растительного покрова ВБУ. На *четвертом этапе* по материалам ДЗЗ осуществлялось дешифрирование растительного покрова по снимкам 2006 и 2019 гг. и создание соответствующих карт растительности. При создании карты 2006 г. основными задачами являлись детализация и уточнение контуров уже созданной на предыдущем этапе по материалам проекта ГЭФ/ПРООН карты растительности. Карта 2019 г. создавалась по материалам ДЗЗ впервые с учетом информации об особенностях растительного покрова изучаемой территории, полученной при работе с картой ГЭФ/ПРООН, литературными и другими источниками. На *пятом этапе* на основании полученных карт на 2006 и 2019 гг. анализировались изменения пространственной структуры растительного покрова, обусловленные изменением степени обводненности территории.

Подбор снимков осуществлялся на портале Геологической службы США — USGS. Были выбраны снимки Landsat-5 за 20 августа 2006 г. и Landsat-8 за 7 июля 2019 г. Выбор названных дат обусловлен следующим. Во-первых, выбирались годы, сильно различающиеся по степени обводненности территории, что должно было получить отражение в изменении структуры растительного покрова. Так, 2006 г. отличался маловодностью, вызванной прежде всего как низкими значениями годового количества осадков, так и малым количеством осадков именно в летние месяцы — особенно в июле и августе (рис. 1). Это стало причиной сокращения площади водного зеркала Тениз-Коргалжынских озер. Напротив, 2019 г. характеризовался самым большим за рассматриваемый период годовым количеством осадков, максимальной суммой осадков во второй половине лета и особенно

в августе и, как следствие, увеличением площади водного зеркала озер и обводненности территории. Кроме того, съемка именно за эти два года могла быть обеспечена данными, которые могли послужить основой для верификации результатов дешифрирования. Так, 2006 г. был взят в связи с наличием созданной в рамках проекта ГЭФ/ПРООН «Карты растительности Коргалжынского заповедника» м-ба 1:600 000, которая потом была детализирована по материалам ДЗЗ. А 2019 г. был выбран по причине того, что для этого года могли быть использованы материалы совместных наземных мониторинговых исследований, любезно предоставленные сотрудниками заповедника. Снимки на обе даты также подбирались с минимальной облачностью, одного сезона (близкие по дате) и наиболее информативные для сравнения с точки зрения особенностей обводненности территории. Поскольку выбранные снимки были получены с разных носителей (Landsat-5, Landsat-8 и Sentinel-2), была проведена их радиометрическая и атмосферная коррекция.



А



Б

Рис. 1. Атмосферные осадки за период 2005–2019 гг. А — годовое количество, Б — среднеемесячное количество осадков в летний сезон (составлено по данным «Газгидромета»)

Fig. 1. Atmospheric precipitation for the period 2005–2019. А — annual amount, Б — average monthly precipitation in the summer season (compiled according to Gazgidromet data)

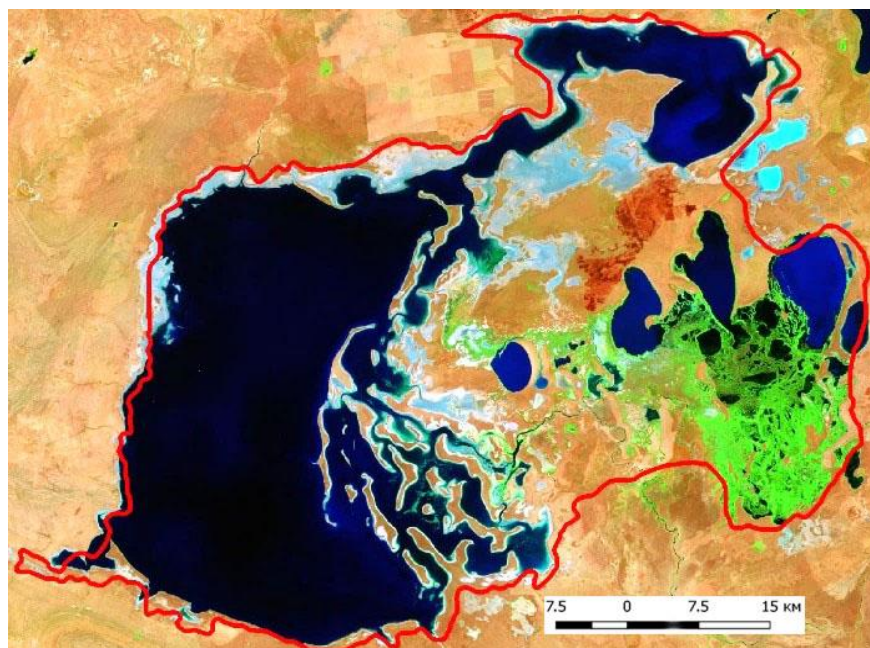
Для тематически ориентированного синтеза выбранных снимков было использовано несколько комбинаций каналов. Наиболее удачной оказалась комбинация 7, 4 и 2 (для спутника Landsat-5) и 7, 5 и 3 (для спутника Landsat-8). Считается, что данная комбинация дает хороший результат при изучении растительности, сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий (рис. 2а). Синтезированные изображения использовались для визуального дешифрирования.

Для дальнейшего детального анализа наземных экосистем ВБУ заповедника в первую очередь решалась задача разделения водных и наземных экосистем, поскольку их изучение требует разных методических подходов. Исследуемая территория Коргалжынских ВБУ представляет собой чередование аквальных комплексов, сформированных многочисленными солеными и пресными озерами, заросшими водной растительностью с обширными участками мелководий, а также наземных экосистем разной степени увлажненности с очень разнообразной растительностью. Выделение наземных экосистем как основного объекта исследования было важной методической задачей.

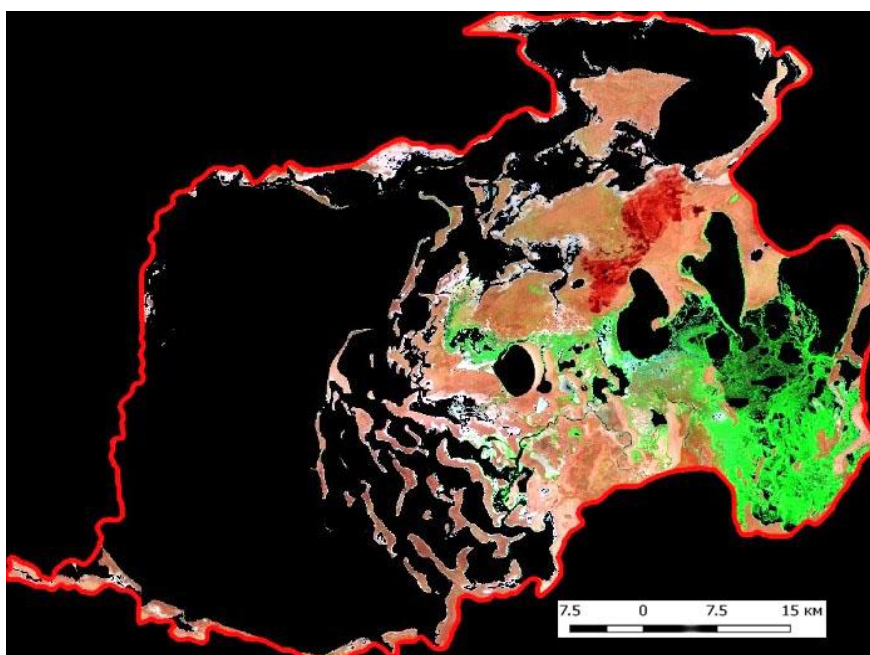
Анализ многочисленных публикаций, посвященных методам разделения воды и суши по материалам ДЗЗ, показал, что для этого могут быть использованы разные подходы, в т. ч. целый ряд т. н. «водных индексов» [Марчуков, Стыценко, 2012; Курганович, Носкова, 2015; Манилюк, Маслова, 2017; McFeeters, 1996; Zhang, Wylie, 2009; Zengina et al., 2020]. Было опробовано несколько методик разделения воды и суши, в т. ч. индексы NDWI и MNDWI. Первый индекс NDWI (Normalized Difference Water Index), предложенный в 1996 г. [McFeeters, 1996], хорошо разделяет водную поверхность и сушу. Индекс MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) был введен в 2006 г. [Xu, 2006] как более эффективный для выявления водных поверхностей и отделения комбинированных поверхностей.

Индекс NDWI использует зеленый и ближний инфракрасный участки спектра снимков (GREEN и NIR): $NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$. Индекс MNDWI — зеленый и коротковолновый инфракрасный спектральные каналы, т. е. 2 и 5 для снимков Landsat-5, и 3 и 6 для снимков Landsat-8: $MNDWI = (GREEN - SWIR2) / (GREEN + SWIR2)$. Как правило, граница определения водных поверхностей проходит через ноль, т. е. объекты с положительными значениями индексов относятся к водным объектам, а отрицательные — к суше. Было опробовано еще несколько вариантов разделения суши и водной поверхности, для каждого из которых на основании эталонного изображения со спутника Sentinel-2A была рассчитана среднеквадратическая ошибка точности полученных результатов. Результаты расчетов показали, что для исследуемого района наиболее достоверный результат дает индекс MNDWI. На его основе были выделены участки открытой водной поверхности, которые были использованы для создания маски воды и отделения с их помощью участков суши. В результате были выделены только те фрагменты снимков в пределах ВБУ заповедника, которые потом анализировались как участки с растительным покровом. Процедура расчета индексных изображений и разделения суши и воды осуществлялась для снимков на обе даты. На рис. 2б приведен пример для снимка 2006 г.

Далее индексные изображения NDWI для снимков 2006 и 2019 гг. были использованы для оценки и сравнения степени обводненности территории на эти даты. Расчетные изображения индекса представлены на рис. 3, а результаты расчета площади участков разной степени обводненности по полученным изображениям сведены в табл. 1. Для расчета соотношения степени обводненности и численного значения индекса использованы соотношения, приведенные на портале центра геопространственной документации Harris (Harris L3) (<https://www.l3harris.com/all-capabilities/satellite-imagery>).



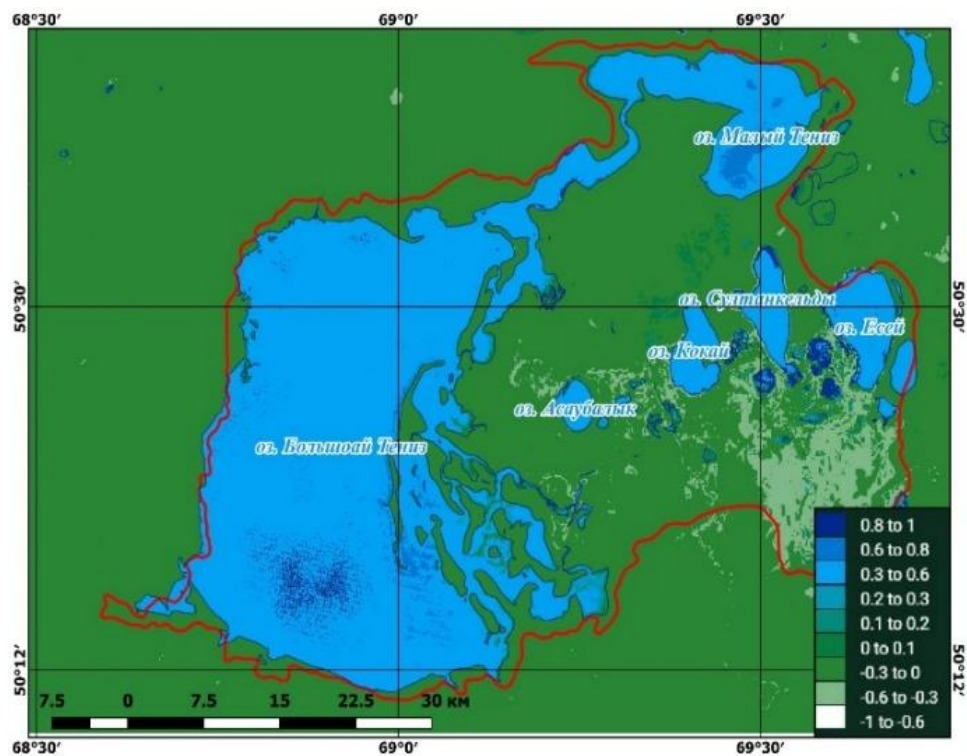
А



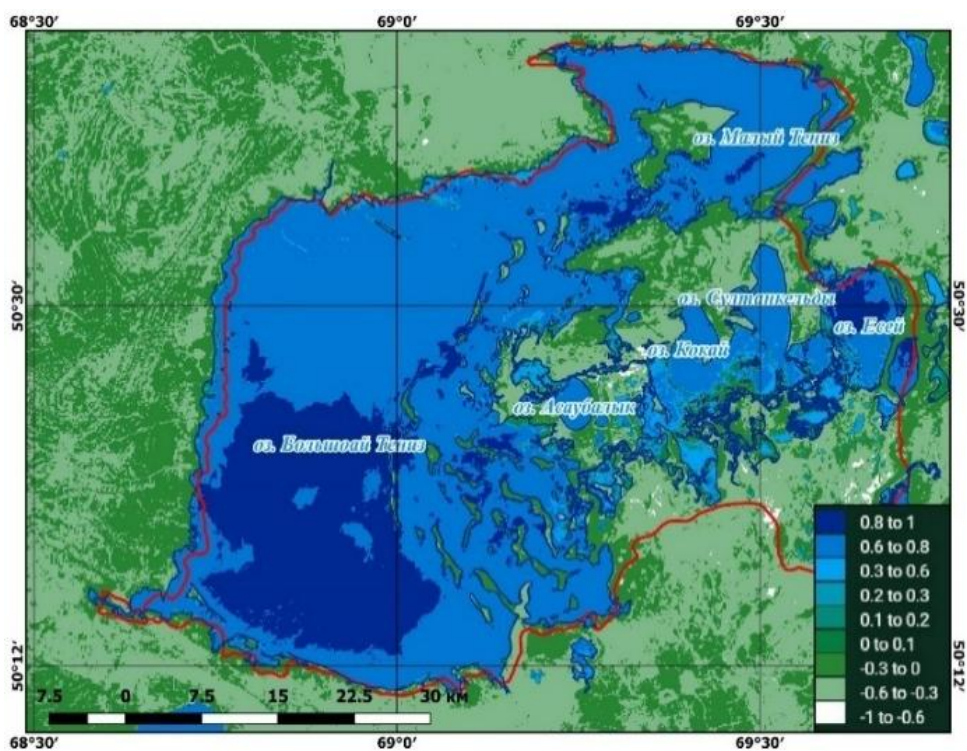
Б

Рис. 2. Район исследования на снимке Landsat-5, полученном 20 августа 2006 г.
А — синтезированный снимок на участок Коргалжынского заповедника (комбинация каналов 7, 4 и 2); красной линией выделена граница ВБУ заповедника; Б — этот же снимок на территорию ВБУ заповедника с наложенной маской воды; черным цветом отображены водные объекты и территории вне границы водно-болотных угодий

Fig. 2. The study area on the Landsat-5 image obtained on August 20, 2006.
А — a synthesized image of the Korgalzhyn Reserve (combination of channels 7, 4 and 2); the red line highlights the boundary of the wetland reserve; Б — the same image of the territory of the wetland reserve with a superimposed water mask; water bodies and territories outside the boundary of wetlands are shown in black



2006 г.



2019 г.

Рис. 3. Расчет степени обводненности территории с помощью индекса NDWI на 20 августа 2006 г. и на 7 июля 2019 г.

Fig. 3. Calculation of the degree of waterlogging of the territory using the NDWI index on August 20, 2006 and on July 7, 2019

Табл. 1. Сравнение степени обводненности территории
Table 1. Comparison of the degree of waterlogging of the territory

	Значение индекса NDWI	2006 г., маловодный		2019 г., многоводный		Изменение площади, км ²
		км ²	%	км ²	%	
Сухие безводные участки	от -1 до -0,3	178,95	6,33	395,02	13,97	216,07
Умеренно сухие недостаточно увлажненные участки	от -0,3 до 0	1 174,51	41,53	412,25	14,58	-762,26
Избыточно увлажненные, заболоченные участки	от 0 до 0,2	79,88	2,82	45,39	1,60	-34,49
Водные поверхности	от 0,2 до 1	1 395,11	49,32	1 975,79	69,85	580,68
Итого:		2 828,45	100	2 828,45	100	

Для создания карты растительности 2006 г. сначала была векторизована одноименная карта, изданная в 2007 г. по проекту ГЭФ/ПРООН на территорию всего Коргалжинского заповедника (м-б 1:600 000). Векторизация проводилась только в той ее части, которая относится к ВБУ (рис. 4).

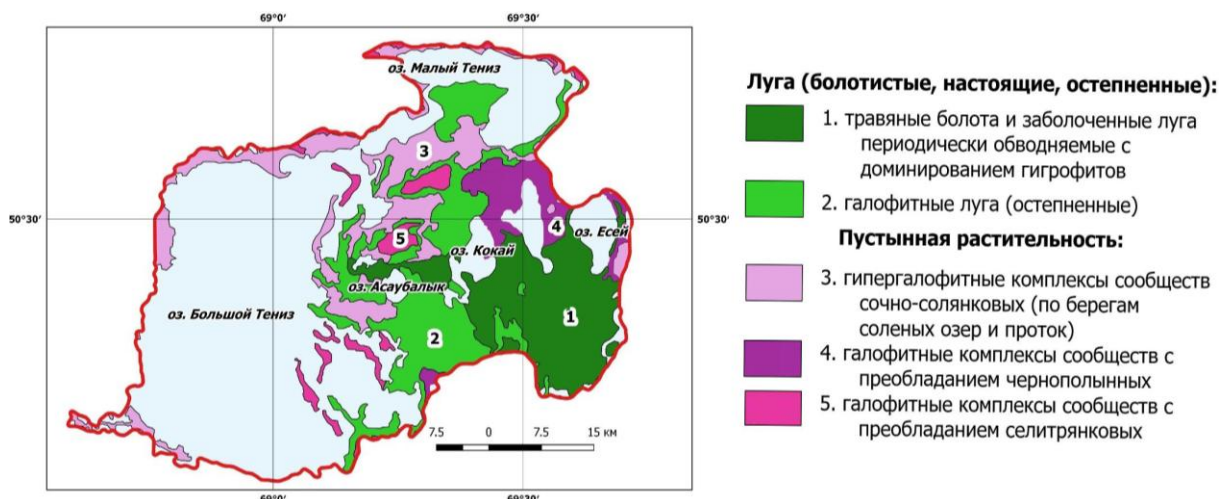


Рис. 4. Фрагмент векторизованной карты растительности м-ба 1:600 000 на территорию ВБУ заповедника (составлено по карте проекта ГЭФ 2007 г.)
Fig. 4. Fragment of a vectorized vegetation map (scale 1:600 000) for the territory of the wetland reserve (compiled based on the map of the 2007 GEF project)

Далее для детализации и уточнения границ растительных сообществ на полученной карте было проведено дешифрирование выбранного снимка 2006 г. Следует отметить, что карта ГЭФ/ПРООН является в т. ч. результатом обобщения полевых исследований, которые проводились в течении двух лет. Используемый же для дешифрирования снимок представляет собой одномоментное отображение состояния растительности на конкретную дату — 20 августа 2006 г. Тем не менее карта оказалась очень полезной для интерпретации полученных результатов кластерного анализа. Благодаря использованной маске на воду, неконтролируемая классификация снимка 2006 г. проводилась только той части изображения, которое относилось к наземным экосистемам. Было опробовано несколько по числу выделяемых кластеров вариантов — от 6 до 15 выделяемых классов. Результаты

сверялись с разными вариантами синтезирования снимка, с картой, составленной по материалам ГЭФ/ПРООН, а также учитывалась информация, полученная из литературных источников. Лучшие результаты дала классификация с выделением 8 классов. Полученное изображение было подвергнуто генерализации, выполненной в программе ArcGIS с использованием опции Majority Filter (в меню ToolBox). Было опробовано несколько вариантов коэффициента генерализации по стандартному (автоматическому) показателю объединения основных пикселей сцены Kernel Size. В качестве лучшего был выбран коэффициент 8×8 . Результат классификации на 8 классов с коэффициентом генерализации 8×8 был векторизован, а полученный полигональный слой был использован для создания итоговой векторной карты растительности на 2006 г. (рис. 5).

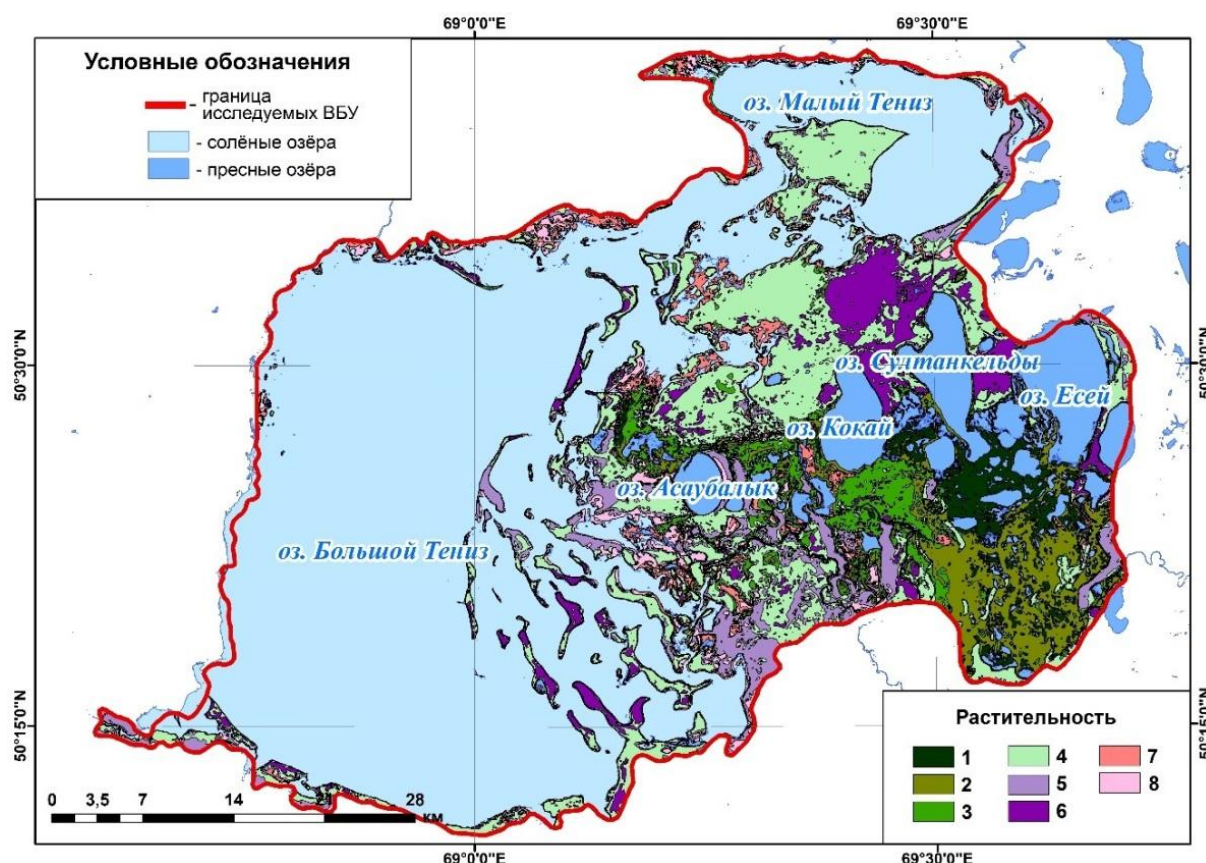


Рис. 5. Итоговая карта растительности ВБУ Коргалжынского заповедника 2006 г., полученная путем векторизации результатов неконтролируемой классификации
 Fig. 5. The final map of the wetlands vegetation of the Korgalzhyn Reserve in 2006, obtained by vectorizing the results of unsupervised classification

Для создания карты растительности на 2019 г. была реализована аналогичная последовательность действий с получением 8 выделяемых классов с коэффициентом генерализации 8×8 для снимка Landsat-8. Итоговая карта приведена на рис. 6.

Для тематической интерпретации 8 полученных спектральных классов использовались синтезированные снимки, материалы Летописей природы заповедника, отчет ГЭФ/ПРООН, литературные источники, а также полевые материалы, полученные в ходе наземных мониторинговых маршрутов. В пределах заповедника контроль за состоянием экосистем осуществляется на специально выделенных мониторинговых площадках. Ежегодно на них осуществляется мониторинг и заполняются специально разработанные

бланки, в т. ч. включающие описание растительности. В ходе полевого сезона 2019 г. на эталонных участках были проведены работы, которые позволили дать интерпретацию восьми выделенным спектральным классам и сформировать легенду к картам растительности (табл. 2).

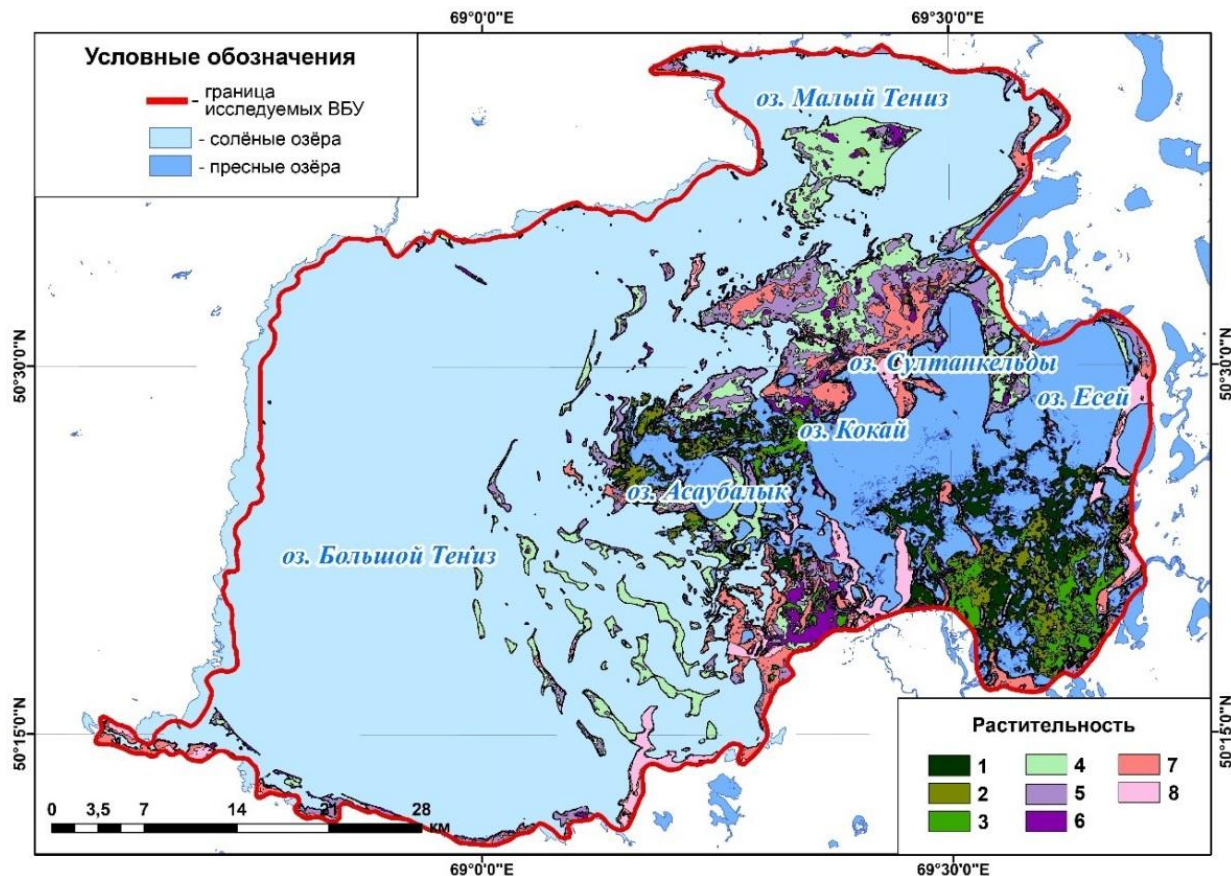


Рис. 6. Итоговая карта растительности ВБУ Коргалжынского заповедника 2019 г., полученная путем векторизации результатов неконтролируемой классификации
Fig. 6. The final map of the wetlands vegetation of the Korgalzhyn Reserve in 2019, obtained by vectorizing the results of unsupervised classification

В результате удалось детализировать контурную часть карты растительности 2006 г. м-ба 1:600 000, составленной в рамках проекта ГЭФ/ПРООН, до уровня двухсоттысячной карты, а также провести более детальное разделение элементов растительного покрова. Например, представленные на карте ГЭФ/ПРООН одним контуром «периодически обводняемые травяные болота и заболоченные луга с доминированием гигрофитов» достаточно четко разделяются благодаря снимкам на 3 категории: травяные болота, заболоченные луга и настоящие луга. Оказалось, возможно осуществить также более дробное разделение галофитно-кустарничковых сообществ пустынной растительности на комплексы с преобладанием шренкиановопольных, чернопольных и селитрянопольных сообществ.

На следующем этапе обе карты — 2006-го маловодного года и 2019-го многоводного года — были использованы для вычисления площади полигонов, соответствующих восьми типам выделенных растительных сообществ. Результаты расчетов были добавлены к таблице условных обозначений карты (табл. 2) и представлены в виде графиков на рис. 7.

Табл. 2. Условные обозначения к картам растительности 2006 и 2019 гг. и результаты расчета изменения площади растительных сообществ ВБУ заповедника (км²)
Table 2. Legend for vegetation maps of 2006 and 2019 and results of calculating area changes of wetlands plant communities of the reserve (km²)

	Название растительных сообществ	Год		Изменение площади, км²
		2006	2019	
Луга (болотистые, настоящие, остепненные)				
	1 — травяные болота с преобладанием гигрофитов, периодически обводняемые или обсыхаемые с доминированием тростниковых зарослей с участием рогоза и камыша (плавни Коргалжынского оз.)	62,29	88,7	26,41
	2 — заболоченные луга с преобладанием тростниковых, рогозовых, камышовых и других прибрежно-водных сообществ	126,08	73,34	−52,74
	3 — настоящие луга с преобладанием пырейных, полевицевых, вейниковых, мятликовых формаций, чередующиеся с участками заболоченных лугов	107,77	49,14	−58,63
	4 — галофитные луга с участием бескильницевых, ячменных, вострецовых и ажрековых формаций (остепненные луга)	370,84	136,94	−233,9
Пустынная растительность				
	5 — галофитно-кустарничковые комплексы сообществ на межсопочных и озерно-аллювиальных равнинах высокого уровня с преобладанием шренкиановопольных с участками типчаковых и тырсовых степей	154,64	137,26	−17,38
	6 — галофитно-кустарничковые комплексы сообществ с преобладанием чернополюнных сообществ, включающие полукустарнички, длительно- и коротковегетирующие многолетники и однолетники	113,34	71,76	−42,18
	7 — галофитно-кустарничковые комплексы сообществ по берегам озер и засоленных проток с преобладанием селитрянопольных в сочетании с вострецовыми, реже — с типчаковыми сообществами	88,18	95,83	7,65
	8 — гипергалофитные комплексы сочносолянковых сообществ на побережьях соленых озер, характеризующиеся сменой сообществ от уреза воды к суше: солеросовые – однолетнесолянковые – сарзановые	65,56	53,15	−12,41
	Итого:	1 088,7	706,12	−382,58

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные расчеты и сравнение ситуации 2006 и 2019 гг. показало, что соотношение площадей разной степени увлажненности в пределах ВБУ Коргалжынского заповедника может меняться в зависимости от года в 2–3 р. Например, в 2019 г. площадь умеренно сухих недостаточно увлажненных участков была почти в 3 р. меньше, чем в 2006 г., а площади сухих безводных участков в эти годы различалась почти в 2 р. Площадь избыточно увлажненных и заболоченных участков в 2019 г. уменьшилась более чем в 1,7 р. по сравнению с 2006 г.

Созданные карты растительности на 2006 и 2019 гг. показали, что пространственная структура растительного покрова изучаемого района в первую очередь обусловлена степенью обводненности территории и очень изменчива.

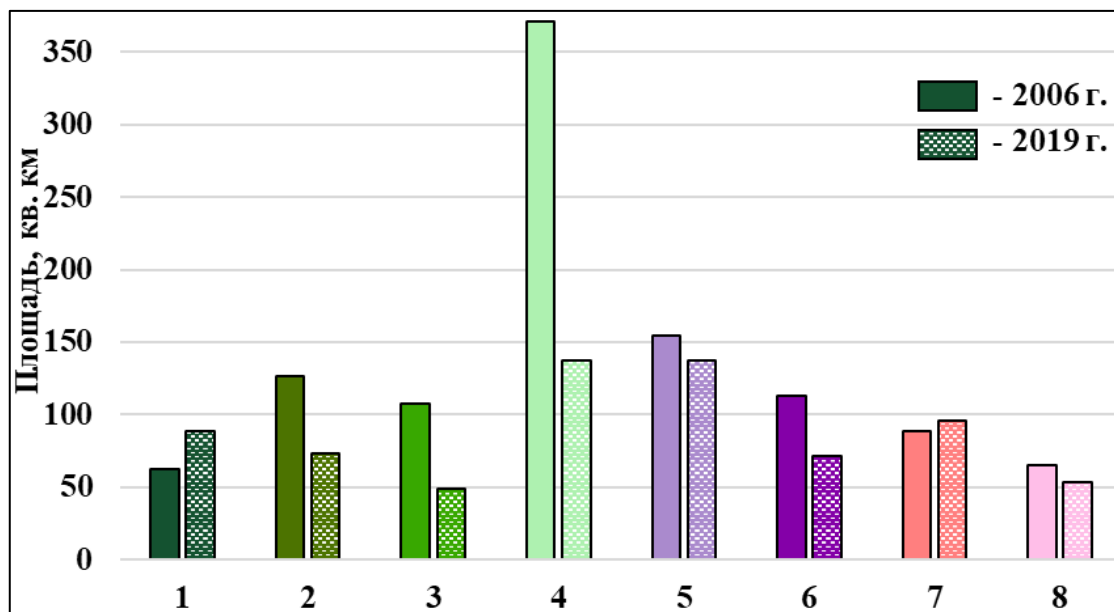


Рис. 7. Изменение площади растительных сообществ ББУ заповедника (номера и цвет сдвоенных столбцов соответствует условным обозначениям карт растительности)
Fig. 7. Change in the area of wetlands plant communities of the reserve (numbers and color of double columns correspond to the legend of vegetation maps)

Так, в 2006-ом маловодном году была зафиксирована максимальная площадь распределения практически всех отмеченных на исследуемой территории растительных сообществ, что связано с существенно меньшим, чем в 2019 г. обводнением территории. Исключение составили только *периодически обводняемые или обсыхаемые травяные болота с преобладанием гигрофитов и доминированием тростниковых зарослей с участием рогоза и камыша* (1), площадь которых увеличилась за счет увеличения площади подтопляемых участков. Незначительно увеличились также площади *галофитно-кустарничковых комплексов сообществ по берегам озер и засоленных проток с преобладанием селитрянополюнных в сочетании с вострецовыми, реже — с типчаковыми сообществами* (7), площадь которых составляет 62,29 и 88,18 км² соответственно. Причиной стало увеличение длины береговой линии разлившихся озер.

Максимальные изменения отмечены для *галофитных лугов с участием бескильничевых, ячменных, вострецовых и ажрековых формаций* (4), площадь которых сократилась в 2019 г. более чем в 2,5 р. Территория между оз. Малый Тениз и пресноводными озерами Султанкельды, Кокай и Асаубалык, в 2006 г. покрытая этими растительными сообществами, в многоводном 2019 г. в основном сменилась на *галофитно-кустарничковые комплексы сообществ на межсопочных и озерно-аллювиальных равнинах высокого уровня с преобладанием шренкиановопольных с участками типчаковых и тырсовых степей* (5) и *галофитно-кустарничковые комплексы сообществ по берегам озер и засоленных проток с преобладанием селитрянополюнных в сочетании с вострецовыми, реже — с типчаковыми сообществами* (7). Возможно, эта смена обусловлена близким залеганием к поверхности засоленных грунтовых вод, уровень которых, в свою очередь, увеличился за счет выпадения атмосферных осадков или общего запаса в почве зимне-весенней влаги. Сокращение галофитных лугов также связано с их фактическим затоплением в связи с увеличением общей обводненности территории.

В 2019 г. *затопленные луга с преобладанием тростниковых, рогозовых, камышовых и других прибрежно-водных сообществ* (2) и *настоящие луга с преобладанием пырейных,*

полевисцевых, вейниковых, мятликовых формаций, чередующиеся с участками заболоченных лугов (3), для которых характерна приуроченность к особым, дополнительно увлажняемым местообитаниям — поймам рек, озер, западинам — сократили свою площадь на 52,74 и 58,63 км² (в 1,7 и 2,1 р.) соответственно. Их сокращение фактически связано с притеснением их травяными болотами (1), площадь которых увеличилась на 26,41 км². Сокращение заболоченных и настоящих лугов можно связать также с увеличением площади водного зеркала и возникновением плесов среди тростниковых зарослей. Наиболее стабильными сообществами в исследуемый период времени являются галофитно-кустарничковые комплексы сообществ по берегам озер и засоленных проток с преобладанием селитрянополюнных в сочетании с вострецовыми (7), реже — с типчаковыми сообществами и гипергалофитные комплексы сочносолянковых сообществ на побережьях соленых озер, характеризующиеся сменой сообществ от уреза воды к суше: солеросовые-однолетнесолянковые-сарзановые (8). Их площадь увеличилась и уменьшилась очень незначительно — на +7,65 и –12,41 соответственно.

ВЫВОДЫ

Анализ особенностей распределения растительного покрова в пределах ВБУ Коргалжинского заповедника, осуществленный с помощью алгоритмов неконтролируемой классификации многозональных снимков, показал, что изменение степени обводненности территории приводит к существенному изменению пространственной структуры растительного покрова. Так, например, увеличение обводненности в 2019 г. привело к увеличению площади травяных болот на 40 %, резкому (в 2,7 р.) сокращению площади галофитных остепненных лугов и существенному сокращению других луговых формаций.

Однако нужно учитывать, что результат, полученный при изучении изменения разнообразия и структуры растительного покрова ВБУ заповедника на примере 2006 и 2019 гг., отражает конкретную ситуацию именно этих двух лет, которая может меняться в случае изменений годового распределения стока рек или влияния каких-либо антропогенных факторов. Это требует обязательной верификации данных об особенностях растительного покрова в пределах наземных экосистем водно-болотных угодий для любого другого года, которая может проводиться как с использованием материалов ДЗЗ, так и на основе полевых исследований.

В то же время, созданные на маловодный 2006 и многоводный 2019 гг. карты достаточно хорошо демонстрируют основные закономерности изменения растительности в пределах ВБУ заповедника, обусловленные в первую очередь особенностями изменения гидрологического режима территории, колебанием уровня воды Тениз-Коргалжинских озер и изменением площади их водного зеркала, а также изменением степени обводненности связанных с ними водно-болотных комплексов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» и темы НИР по ГЗ МГУ «Устойчивое развитие территориальных систем природопользования» (№ 121051100162-6).

Исследование также выполнено благодаря помощи сотрудников Коргалжинского заповедника, любезно предоставивших фондовые материалы, и активному участию магистрантки географического факультета А. А. Сагынтькан, принимавшей участие в полевых работах и оформлении картографического материала.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was performed according to the Development program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Lomonosov Moscow State University “Future Planet and Global Environmental Change” and the State Research Program of Moscow State University “Sustainable Development of Territorial Environmental Management Systems” (No. 121051100 162-6).

The study was also carried out thanks to the assistance of the Korgalzhinsky Reserve staff, who kindly provided the archive materials, and thanks to the active participation of the graduate student of the Faculty of Geography A. A. Sagyntkan, who took part in the field work and the preparation of the cartographic material.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана. Т. 2: Тениз-Коргалжынская система озер). Астана, 2007. 286 с.

Ёлкин К. Ф., Волков Е. Н., Жулий В. А. Состояние обводненности озер Центрального Казахстана и распространение водоплавающих птиц. Русский орнитологический журнал, 2017. Т. 26. Экспресс-выпуск 1392. С. 157–160.

Зенгина Т. Ю., Пакина А. А., Сагынткан А. А. Использование данных дистанционного зондирования Земли для анализа межгодовой динамики площади Тениз-Коргалжынских озер. Геодезия и картография, 2024. Т. 1007. № 5. С. 48–57. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1007-5-48-57.

Кошкин А. В. О линьке первостепенных маховых у розового фламинго *Phoenicopterus roseus* на озере Тениз (Центральный Казахстан). Русский орнитологический журнал, 2016. Т. 25. Экспресс-выпуск 1338. С. 3485–3487.

Курганович К. А., Носкова Е. В. Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер Юго-Востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования. Вестник Забайкальского государственного университета, 2015. № 6(121). С. 16–24.

Манилюк Т. А., Маслова А. В. Исследование водных поверхностей озер путем использования водных индексов по данным дистанционного зондирования. Вестник Забайкальского государственного университета, 2017. Т. 23. № 3. С. 4–11. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-3-4-11.

Марчуков В. С., Стыценко Е. А. Дешифрирование растительного покрова с использованием спектрально-временных признаков. Исследование Земли из космоса, 2012. № 1. С. 77–88.

Ji L., Zhang L., Wylie B. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2009. No. 75. P. 1307–1317.

McFeeters S. K. The Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 1996. No. 17. P. 1425–1432.

Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing, 2006. No. 27. P. 3025–3033.

Zengina T. Yu., Kirillov S. N., Slipenchuk M. V. Geoinformation Technologies for Studying the Effects of Water Level Fluctuation of Lake Baikal: The Case of Angarsky Sor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. V. 941. Art. 012020. DOI: 10.1088/1757-899X/941/1/012020.

REFERENCES

Globally Significant Wetlands of Kazakhstan. V. 2: Teniz-Korgalzhyn Lake System). Astana, 2007. 286 p. (in Russian).

Ji L., Zhang L., Wylie B. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2009. No. 75. P. 1307–1317.

Koshkin A. V. On the Molt of the Primary Flight Feathers of the Pink Flamingo *Phoenicopterus roseus* on Lake Teniz (Central Kazakhstan). *The Russian Journal of Ornithology*, 2016. V. 25. Express Issue 1338. P. 3485–3487 (in Russian).

Kurganovich K. A., Noskova E. V. Using Water Indices to Assess Changes in the Areas of Water Surfaces of Steppe Soda Lakes in the South-East of Transbaikalia, Based on Remote Sensing Data. *Transbaikal State University Journal*, 2015. No. 6(121). P. 16–24 (in Russian).

Manilyuk T. A., Maslova A. V. Study of Lake Water Surfaces Using Water Indices Based on Remote Sensing Data. *Transbaikal State University Journal*, 2017. V. 23. No. 3. P. 4–11 (in Russian). DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-3-4-11.

Marchukov V. S., Stytsenko E. A. Deciphering Vegetation Cover Using Spectral-Temporal Features. *Earth Research from Space*, 2012. No. 1. P. 77–88 (in Russian).

McFeeters S. K. The Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996. No. 17. P. 1425–1432.

Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2006. No. 27. P. 3025–3033.

Yolkin K. F., Volkov E. N., Zhuliy V. A. The State of Water Content of Lakes in Central Kazakhstan and the Distribution of Waterfowl. *The Russian Journal of Ornithology*, 2017. V. 26. Express Issue 1392. P. 157–160 (in Russian).

Zengina T. Yu., Kirillov S. N., Slipenchuk M. V. Geoinformation Technologies for Studying the Effects of Water Level Fluctuation of Lake Baikal: The Case of Angarsky Sor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. V. 941. Art. 012020. DOI: 10.1088/1757-899X/941/1/012020.

Zengina T. Yu., Pakina A. A., Sagyntkan A. A. Using Earth Remote Sensing Data to Analyze the Interannual Dynamics of the Teniz-Korgalzhyn Lakes Area. *Geodesy and Cartography*, 2024. V. 1007. No. 5. P. 48–57 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1007-5-48-57.