

УДК 581.526.32;528.8 (476)

Борис П. Власов, Наталья Д. Грищенко, Андрей Ю. Сивенков,  
Нина Ю. Суховило, Дарья А. Колбун

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики, 220030 Минск,  
пр. Независимости 4, Республика Беларусь; e-mail: vlasov@bsu.by; nata6a1@yandex.by;  
sivenkov@gmail.com; SukhoviloNY@bsu.by; d\_kolbun@mail.ru

## Оценка современного состояния и динамики зарастания озер Национального парка „Нарочанский” с использованием данных дистанционного зондирования Земли

Własow B. P., Hryszczankawa N. D., Siwienkow A. Ju., Suchowiło N. Ju., Kolbun D. A. **Ocena współczesnego stanu i dynamiki zarastania jezior Naroczańskiego Parku Narodowego za pomocą metod teledetekcyjnych.** Badanie zarastania jezior Naroczańskiego Parku Narodowego prowadzono przy pomocy analizy obrazów satelitarnych stosując metodę obliczania indeksu NDVI i klasyfikacji autonomicznej (obróbki komputerowej). Badania dały podstawę do oceny współczesnego stanu i dynamiki zarastania kilku jezior oraz wykonania map zarastania tych zbiorników wodnych.

Vlasov B. P., Hryshchankava N. D., Sivenkou A. Yu., Sukhovilo N. Yu., Kolbun D. A. **Assessment of the current state and dynamics of the overgrowing of lakes in National Park „Narochansky” using remote sensing data.** The study of the overgrowing of lakes of the National Park „Narochansky” was carried out by satellite image interpretation by methods of calculation of the NDVI index and computer aided classification. As a result of the research, an assessment of the current state and dynamics of the overgrowing some of lakes has been made and maps of their overgrowing have been compiled.

**Ключевые слова:** озеро, высшая водная растительность, зарастание, Национальный парк „Нарочанский”, данные дистанционного зондирования Земли, дешифрирование, NDVI

**Słowa kluczowe:** jezioro, wyższa roślinność wodna, zarastanie, Naroczański Park Narodowy, dane teledetekcyjne, deszyfrowanie, NDVI

**Key words:** lake, aquatic vegetation, overgrowing, National Park "Narochansky", remote sensing data, satellite image interpretation, NDVI

### Аннотация

Изучение зарастания озер Национального парка „Нарочанский” проводилось с помощью дешифрирования космоснимков методами расчета индекса NDVI и автономной классификации. В результате работы дана оценка современного состояния и динамики зарастания ряда озер и составлены картосхемы их зарастания.

### Введение

Контроль глобальных и локальных изменений природной среды, протекающих под влиянием антропогенного воздействия, требует проведения оперативного мониторинга – регулярных наблюдений с целью разработок экспертных оценок и прогноза изменений. Новым направлением организации мо-

мониторинга является использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Плановое проведение космического геоэкологического мониторинга позволяет выявить трансформации природной среды, вызванные природными процессами и хозяйственной деятельностью.

Современная дистанционная аппаратура использует аэрокосмические методы и технологии дистанционного зондирования параметров водной среды. К таким параметрам относятся, прежде всего, вариации гидрооптических характеристик среды произрастания (содержание основных компонентов минерального состава воды, органических и минеральных взвесей, мутности воды, прозрачности, цветности, концентрация фитопланктона на поверхности), тип, площадь и характер зарастания водоемов, зоны техногенного загрязнения акваторий. Основу метода составляет определение флуктуации коэффициентов рассеяния и поглощения света.

Важнейшими направлениями в анализе данных ДЗЗ в связи с оценкой распространения высшей водной растительности (ВВР), являются: оконтуривание на основе дешифрирования космических снимков (КС) участков развития ВВР, изучение по КС биоэкологических особенностей ВВР (видовой состав, густота, тип и характер зарастания и др.), выявление нарушений характера зарастания.

## Материал и методы

Комплекс исследований по дешифрированию снимков для оценки зарастания озер на примере Национального парка (НП) „Нарочанский“ (рис. 1) базировался на применении разновременных КС, полученных многозональными сканирующими системами высокого и среднего разрешения [Aster (Terra), Landsat 7 (ETM+), IRS(1C/1D), WorldView-2 и др.].

В основе крупномасштабных исследований растительности лежат демонстрационные данные со спутника WorldView-2, который является первым коммерческим аппаратом с восьмиканальным спектрометром, который включает традиционные спектральные каналы: красный, зелёный, синий и ближний ин-

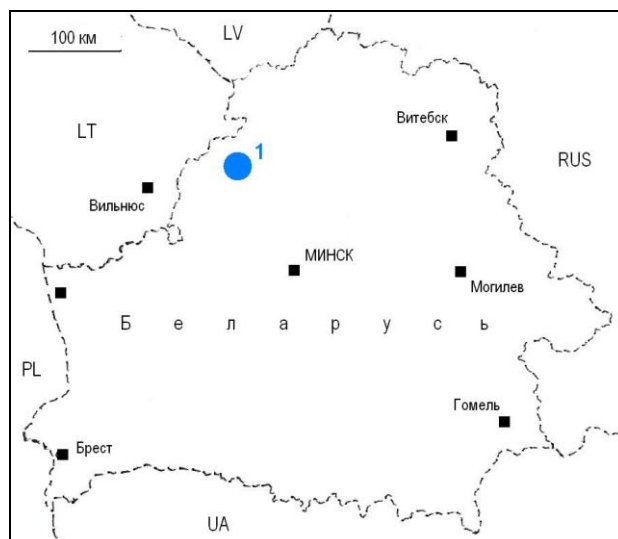


Рис. 1. Местоположение Национального парка „Нарочанский“ (1)

Rys. 1. Lokalizacja Naroczańskiego Parku Narodowego (1)  
Fig. 1. Location of National Park „Narochansky“ (1)

фракрасный-1 (NIR-1), а также четыре дополнительных канала: фиолетовый (coastal), жёлтый, „крайний красный“ (edge red) и ближний инфракрасный-2 (NIR-2). Спектральные каналы спутника WorldView-2 могут обеспечить более высокую точность при детальном анализе состояния водной растительности, береговой линии и прибрежной акватории (канал coastal). Высокое пространственное разрешение и широкий спектральный диапазон позволяют решать задачи мониторинга водной поверхности, а также широкий круг задач охраны водных объектов. Наличие дополнительных спектральных каналов расширяет возможности анализа изображений, в частности увеличивает диапазон типов распознаваемых объектов (разные виды растительности или подводные живые микроорганизмы); расширяет число оцениваемых параметров и позволяют различать инородные объекты.

В данном исследовании применялся способ автономной классификации КС. Этот способ основан на кластерном анализе: задается количество классов (близких по спектральным характеристикам) без выделения эталонных участков. При обработке и классификации изображений использовались демо-версии ведущих коммерческих программных продуктов для обработки космических снимков: ErdasImagine, ENVI, eCognition, ArcGIS. Они

позволяют упростить и ускорить работу, облегчить картирование водной растительности, проследить динамику зарастания.

В целом, технология цифровой обработки изображений при дешифрировании данных ДЗЗ включала следующие операции: импорт изображений из формата TIFF; объединение многоканальных данных в единый файл и выбор оптимального варианта синтеза; слияние изображений с различным разрешением; фрагментирование (вырезание части изображения); автономная классификация.

Еще одним используемым способом изучения растительности и ее последующего картирования является расчет индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованного относительного индекса растительности. Он показывает количество фотосинтетически активной биомассы. Для его получения необходимы снимки, полученные в ближней инфракрасной и красной области спектра. Применительно к мониторингу ВВР, он удобен для изучения надводных растений, однако для точных результатов требуются снимки высокого разрешения, полученные в период активной вегетации. Также важны метеорологические условия, при которых был получен снимок.

## Результаты и их обсуждение

Для отработки методики картирования ВВР озер, выявления основных ее дешифровочных признаков был выполнен анализ результатов полевого дешифрирования и КС. Использование серии зональных снимков, полученных в различных спектральных диапазонах электромагнитного спектра, позволяет сформировать спектральный образ объектов и благодаря этому выявить их сущность. Исследования показали, что по снимкам в красной зоне дешифрируются общие границы распространения надводной растительности. На снимках в ближней инфракрасной зоне, лучи которой практически не проникают в воду, наиболее четко разделяются подводные и надводные объекты, поэтому такие снимки целе-

сообразно использовать для дешифрирования островов и береговой линии на момент съемки.

Однако более эффективным оказалось использование цветных синтезированных изображений, на которых находят отображение все особенности спектральных различий объектов. Цифровая обработка многозональных снимков включала следующие основные этапы: выбор оптимального варианта синтеза спутниковых данных; фрагментирование; автономную классификацию изображений и интерпретацию полученных результатов (отраженных на картах классификации) (рис. 2–4).

Анализ цветных синтезированных изображений (RGB – синтез, комбинация каналов 4-3-2), а также результатов их компьютерной обработки (автономной классификации) позволил выявить основные дешифровочные признаки ВВР акватории озер (ВЛАСОВ и др., 2018a). Водно-болотная растительность (сплавнины) дешифрируются в весенний период по розовато-серому слабовыраженному пятнистому рисунку и по буро-бордовому пятнистому рисунку в раннеосенний период (рис. 2). Ярко желтый мелкопятнистый рисунок на фоне сплавнины соответствует единичным кустарникам и сухой прошлогодней осоково-тростниковой растительности. Надводная и прибрежноводная растительность распознается в весенний период по светло серому с розоватым оттенком цвету и мелкозернистому рисунку изображения и по ярко розовому цвету в раннеосенний период. Надводная растительность на мелях четко распознаётся на фоне водной поверхности по дисперсным пятнам ярко-розового цвета.

Для озера Нарочь подобный анализ позволил выявить следующие дешифровочные признаки ВВР (рис. 5):

- участки мелководья свободные от растительности формируются в прибойной зоне в восточной части водоема. Дешифрируются в летний период по спектральному образу с максимумами около  $\leq 450$  и  $590-630$  нм, а также в  $600-630$  нм и пятнистой текстурой (1);
- надводная и прибрежноводная растительность распознается в летний период по кос-

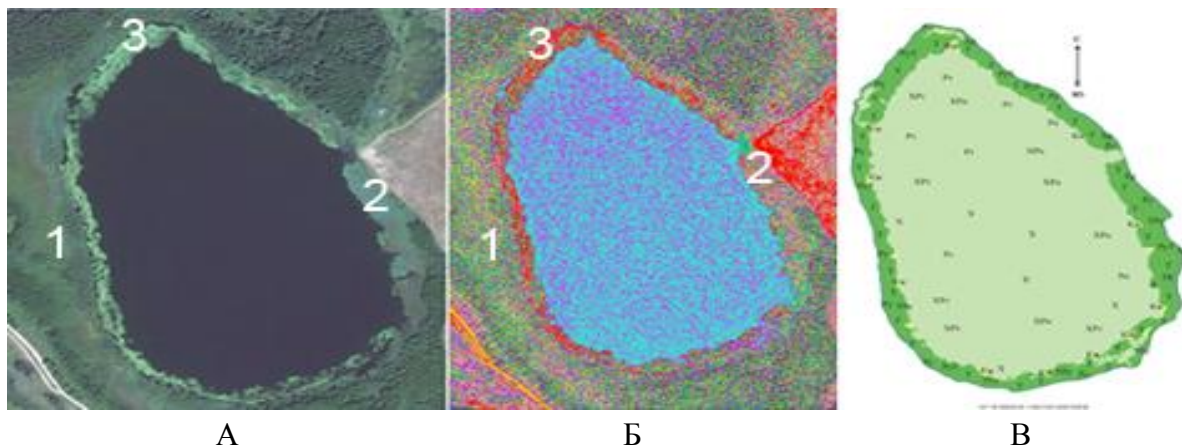


Рис. 2. Озеро Свиришце:  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка,  
 Б – классифицированное изображение, В – картосхема зарастания; 1 – сплавина; 2 – надводная растительность; 3 – надводная растительность с преобладанием водно-болотной

Rys. 2. Jezioro Swirniszcze:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – obraz klasyfikowany, В – schemat zarastania; 1 – pło, 2 – roślinność nadwodna, 3 – roślinność z dominacją wodno-bagienną

Fig. 2. Lake Swirnishche:  
 А – fragment of multispectral satellite image; Б – classified satellite image; В – map of overgrowing  
 1 – floating bog; 2 – emergent vegetation; 3 – emergent vegetation with bog vegetation predominance

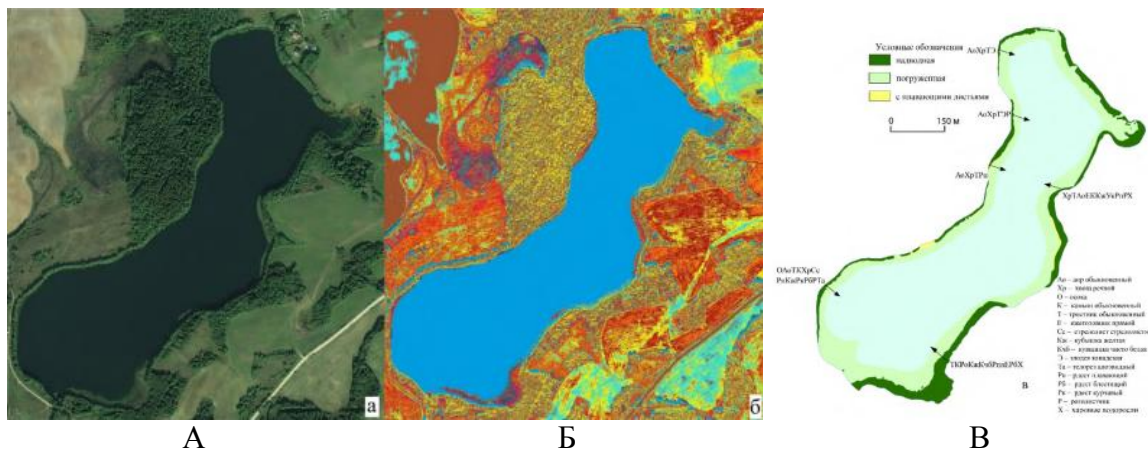


Рис. 3. Озеро Лотвины:  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка,  
 Б – классифицированное изображение, В – картосхема зарастания

Rys. 3. Jezioro Lotwiny:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – obraz klasyfikowany, В – schemat zarastania  
 Fig. 3. Lake Lotwiny:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – classified satellite image, В – map of overgrowing



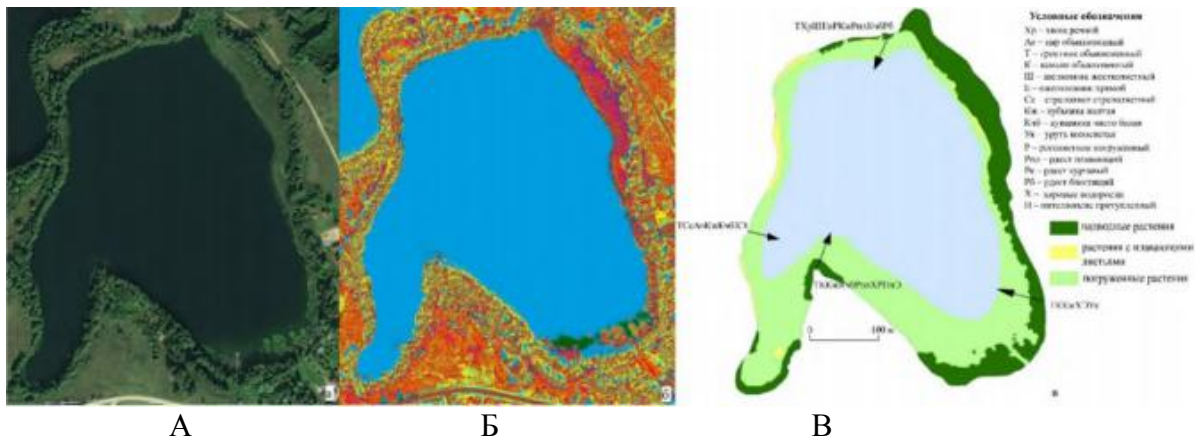


Рис. 4. Озеро Россохи:

А – фрагмент мультиспектрального снимка, Б – классифицированное изображение, В – картосхема зарастания

Rys. 4. Jezioro Rosochy:

А – fragment obrazu multispektralnego, Б – obraz klasyfikowany, В – schemat zarastania

Fig. 4. Lake Rossokhy:

А – fragment of multispectral satellite image, Б – classified satellite image, В – map of overgrowing

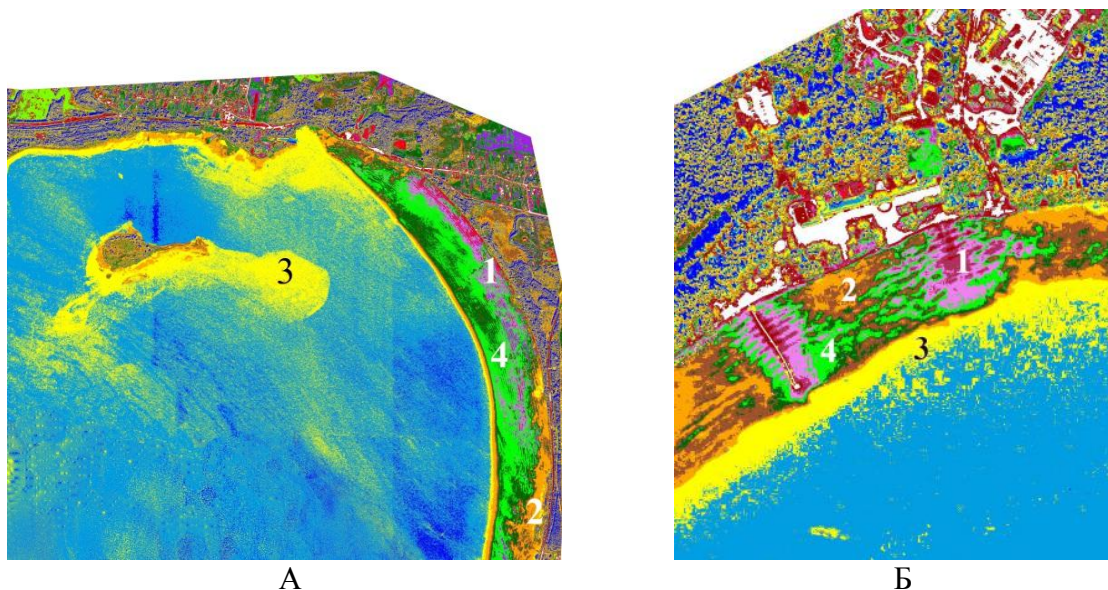


Рис. 5. Озеро Нарочь:

А – фрагмент классифицированного изображения (северо-восточная часть Большого плеса), Б – фрагмент классифицированного изображения (к.п. Нарочь); 1 – участки мелководья свободные от растительности, 2 – надводная растительность,

3 – пятна цветения фитопланктона, 4 – участки накопления и деструкции органики

Rys. 5. Jezioro Narocz:

А – fragment obrazu klasyfikowanego (północno-wschodnia część Wielkiego Płosa), Б – fragment obrazu klasyfikowanego (uzdrowisko Narocz); 1 – fragmenty płytkich wód bez roślinności, 2 – roślinność nadwodna, 3 – kwitnący fitoplankton, 4 – obszary akumulacji i destrukcji materiału organicznego

Fig. 5. Lake Naroch:

А – fragment of classified satellite image (north-eastern part of Big stretch), Б – fragment of classified satellite image (resort settlement Naroch); 1 – non-vegetated areas, 2 – emergent vegetation, 3 – phytoplankton blooms, 4 – areas of accumulation and destruction of organics

мическому снимку с максимальной отражательной способностью в пределах акватории в ближнем ИК-диапазоне и мелкозернистой текстуре изображения (2). Надводная растительность вокруг островов и на мелях четко распознаётся на фоне водной поверхности по дисперсным пятнам с максимумом отражательной способности в 710 нм;

- ярко желтая мелкопятнистая текстура рисунка соответствует пятнам цветения фитопланктона (3);
- ярко зеленая мелкопятнистая текстура рисунка соответствует полям мутности, образованным содержанием взвешенных и растворенных органических веществ (4);
- участки распространения растений с плавающими листьями и подводных растений не идентифицируются.

Для изучения современного состояния и динамики зарастания надводной раститель-

ностью озер Нарочь, Мясстро, Мядель, Свирь, Баторино также был произведен расчет вегетационного индекса NDVI на основе космоснимков системы спутникового позиционирования Landsat 5, 7, 8. Были отобраны снимки за 2004, 2010 и 2016 год, сделанные в период максимального развития ВВР – конец августа-начало сентября. По результатам расчетов были составлены картосхемы зарастания озер надводной растительностью (КОЛБУН, 2018).

Озеро **Нарочь** в целом отличается слабым развитием надводной растительности. Она довольно разрежена, что затрудняет ее картирование при помощи данных ДЗЗ. Результаты расчета индекса NDVI для 2004 года (рис. 6) плохо отражают границы зарастания. Оконтуренная площадь распространения макрофитов меньше, чем площадь, приводимая справочными источниками и данными НП „Нарочанский” (Люштык, Жукова, 2012).

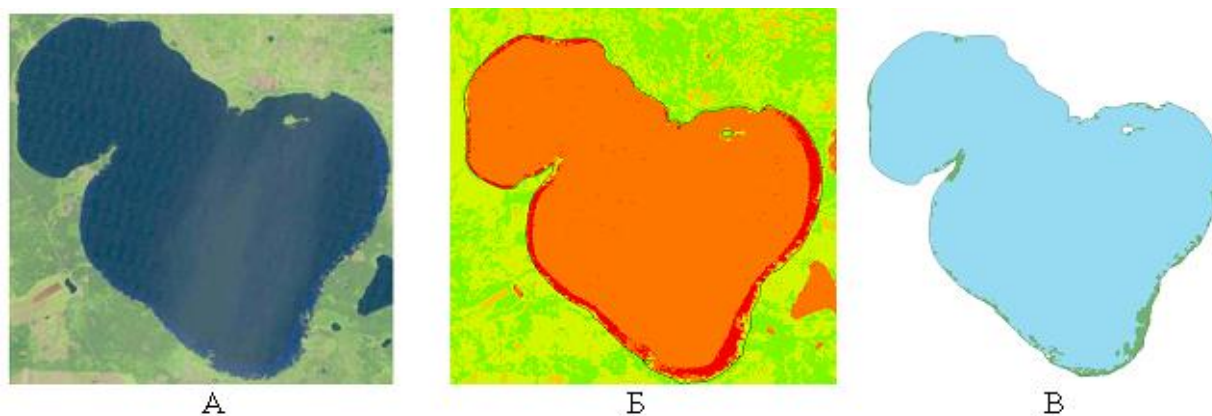


Рис. 6. Результаты картирования надводной растительности озера Нарочь, 2004 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 В – картосхема зарастания

Rys. 6. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Narocz, 2004:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania  
 Fig. 6. Emergent vegetation mapping results, lake Naroch, 2004 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшего распространения надводные макрофиты достигают в юго-восточной части озера, вдоль побережья, примыкающего к заболоченным территориям, а также в месте впадения р. Нарочанка. Также местом интенсивного развития является полуостров на западе озера, Наносы. Из-за замедлен-

ного водообмена и малой глубины, там создаются условия для развития ВВР. Максимальная ширина зарастания надводными растениями наблюдалась на юго-восточном побережье и достигала 475 м.

По полученным результатам в 2004 г. общая площадь надводной растительности в оз. Нарочь составила 1,8 км<sup>2</sup>, или 3,4% акватории

озера. Основными ценозообразователями полосы надводных являлись: тростник обыкновенный, камыш озерный. Реже встречались рогоз узколистный, хвощ приречный, ситняг болотный, которые образовывали небольшие по площади монодоминантные заросли вдоль юго-восточного берега Большого плеса напротив пансионата „Сосны” и вдоль западного берега Степеневского плеса. Данные растения участвуют в процессах самоочищения водоемов, обогащают воду кислородом и являются индикатором благоприятного состояния озе-

ра. Очень редко встречался манник водный, тростянка овсяницевая, аир обыкновенный.

В 2010 году наблюдались изменения в площади зарастания. Для оз. Нарочь была составлена картосхема зарастания при помощи визуального дешифрирования композита каналов 5, 6, 4 снимка системы Landsat 8, т.к. при данном сочетании каналов водная растительность отображается наилучшим образом. Ее сопоставление с результатами расчета индекса NDVI (рис. 7) дает основание полагать о точности картирования надводной растительности.

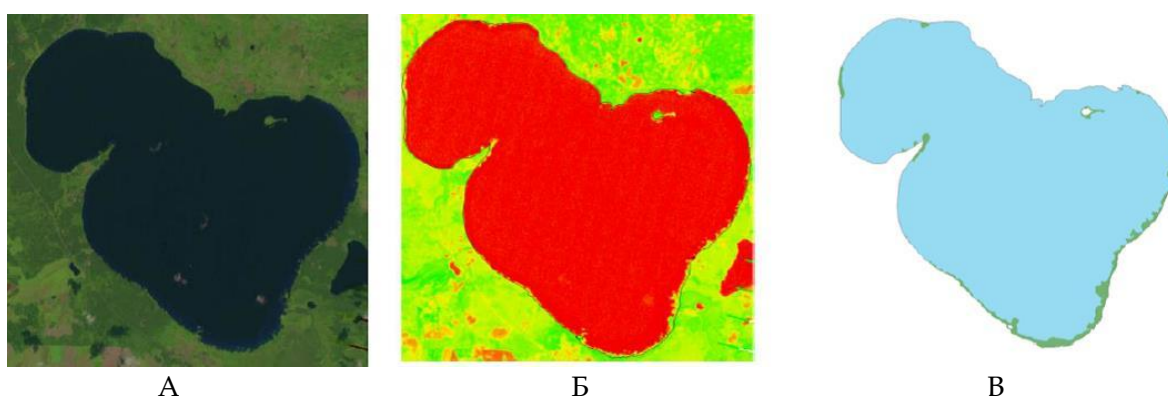


Рис. 7. Результаты картирования надводной растительности озера Нарочь, 2010 год:  
А – фрагмент мультиспектрального снимка, Б – результат расчета индекса NDVI,  
В – картосхема зарастания

Rys. 7. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Narocz, 2010:  
A – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 7. Emergent vegetation mapping results, lake Naroch, 2010 year:  
A – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
В – map of overgrowing

Площадь зарастания озера надводной растительностью в 2010 году уменьшилась до 2,9%. Максимальная ширина зарастания уменьшилась до 448 м. Такие изменения объясняются тем, что для 2010 года характерно повышение уровня воды (превышение над нулевой отметкой (163, 65 м) со 170 (2004 г.) до 185 см), что существенно повлияло на распределение растительности. При этом видовой состав не перенес серьезных изменений.

Для 2016 года характерно обильное развитие ВВР, особенно надводной. Площадь зарастания надводными растениями в 2016 году составила 4,2%, максимальная ширина – 619 м (рис. 8).

Видовой состав ВВР мало отличался от предыдущих лет. По расчетам 2016 г. макро-

фитами занято примерно 25,4% литорали озера до глубины 2 м, что является достаточно низким показателем зарастаемости. Это подтверждает и трофический статус озера – мезотрофный (Люштык, Жукова, 2012). В видовом составе растительности преобладают β-мезосапробы, что говорит о малом загрязнении воды органическими веществами.

Наиболее показательным участком изменения надводной растительности является юго-восточное побережье озера. Изменение границ зарастания этого участка можно увидеть на рис. 9. Очевидны изменения в границах распространения надводной растительности по сравнению с 2004 г. Столь обширное распространение растительности в дан-



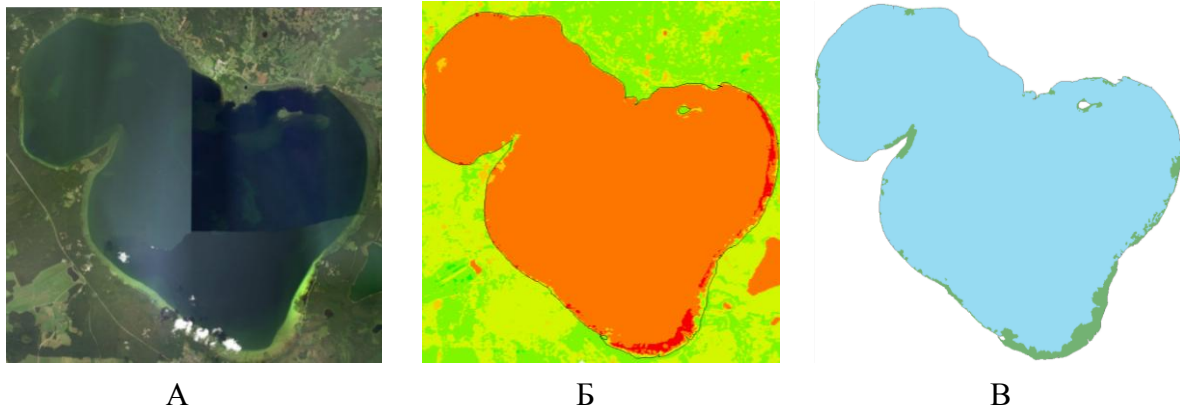


Рис. 8. Результаты картирования надводной растительности озера Нарочь, 2016 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 В – картосхема зарастания

Rys. 8. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Narocz, 2016:  
 A – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 8. Emergent vegetation mapping results, lake Naroch, 2016 year:  
 A – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

ном секторе объясняется большой долей мелководной прибрежной части в месте вытекания из озера р. Нарочанка. В связи с формированием гидродинамических потоков в этой

области, происходит намывание грунтов и формирование мелководий – подходящих биотопов для развития прибрежной растительности (Люштык, Жукова, 2012).

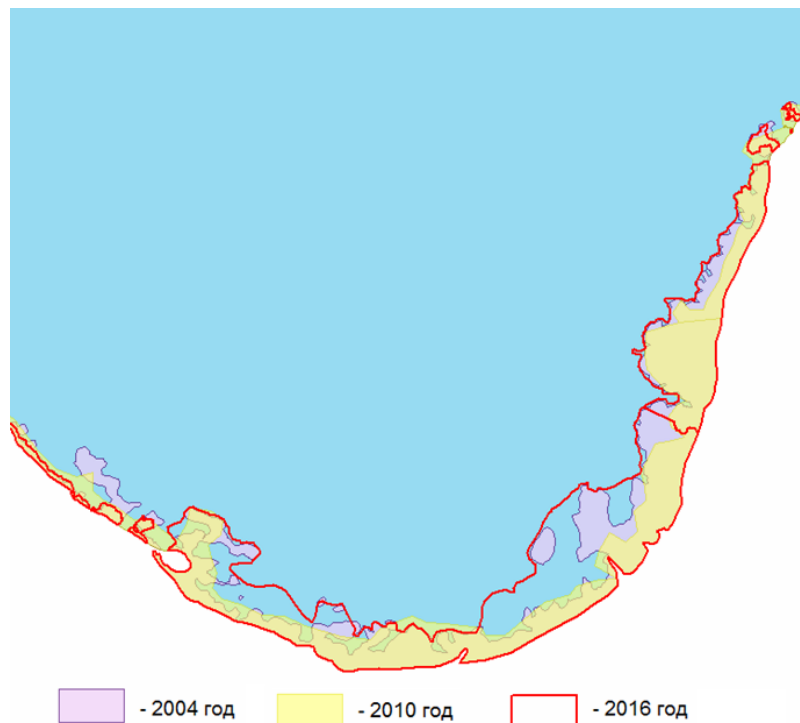


Рис. 9. Соотношение контуров зарастания 2004, 2010 и 2016 гг. юго-восточного побережья озера Нарочь  
 Rys. 9. Kontury zarastania południowo-wschodniego wybrzeża jez. Narocz w latach 2004, 2010 i 2016  
 Fig. 9. Overgrowth contours of the southeast coast of Lake Naroch in 2004, 2010 and 2016



Таким образом, значимых различий в характеристиках зарастания озера не наблюдается. Фактические отличия для 2016 года состоят в большем значении площади зарастания, что может объясняться закономерным эволюционным развитием озерной экосистемы. Снижение внешней биогенной нагрузки, при которой активно развивается взвешенный фитопланктон, и вселение в 1990-х годах моллюска-фильтратора дрейссены привело

к сдвигу экосистемы в „макрофитное” состояние, поддерживающее озеро в одном из альтернативных стабильных состояний.

Озеро **Мястро** в 2004 году имело площадь покрытия ВВР в 5,8 км<sup>2</sup> или 44,4% акватории. Максимального развития надводная растительность, которая занимает 10,1% площади, достигала на западном побережье, примыкающем к озеру Нарочь. Максимальная ширина зарастания составляла 223 м (рис. 10; фот. 1).

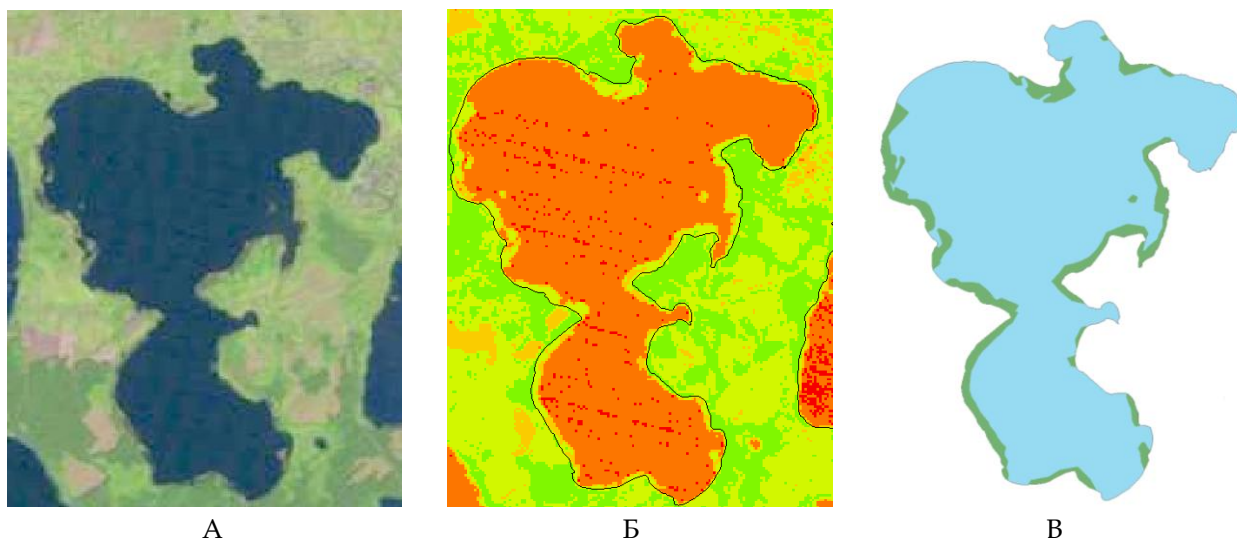


Рис. 10. Результаты картирования надводной растительности озера Мястро, 2004 год:  
А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
В – картосхема зарастания

Rys. 10. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Miastro, 2004:  
A – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 10. Emergent vegetation mapping results, lake Myastro, 2004 year:  
A – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
В – map of overgrowing



Фот. 1. Озеро Мястро – прибрежные тростниковые заросли (фот.: Б. П. Власов, 2018)

Fot. 1. Jezioro Miastro – przybrzeżne zarośla trzciny (fot. B. P. Własow, 2018)

Photo 1. Lake Myastro – littoral reed thickets (phot. by B. P. Vlasov, 2018)

За 12-летний период степень зарастания оз. Мястро снизилась на 5,3%. В 2016 году 5,1 км<sup>2</sup> акватории озера было занято ВВР, из них 8,9% надводные (рис. 11). Можно отметить, что участки развития растительности не изменились, однако заросли стали более разреженными. В 2016 году максимальная ширина зарастания составила 199 м.

Озеро характеризуется богатым видовым составом высшей водной растительности. Пояс полупогруженных выражен четко и представлен, в основном, тростником и камышом, на заиленных участках к ним примешивается рогоз. Видовой состав типичен для озер данного типа и изменений за исследуемый период не наблюдалось. Несколько уменьшилась биомасса тростника и аира.

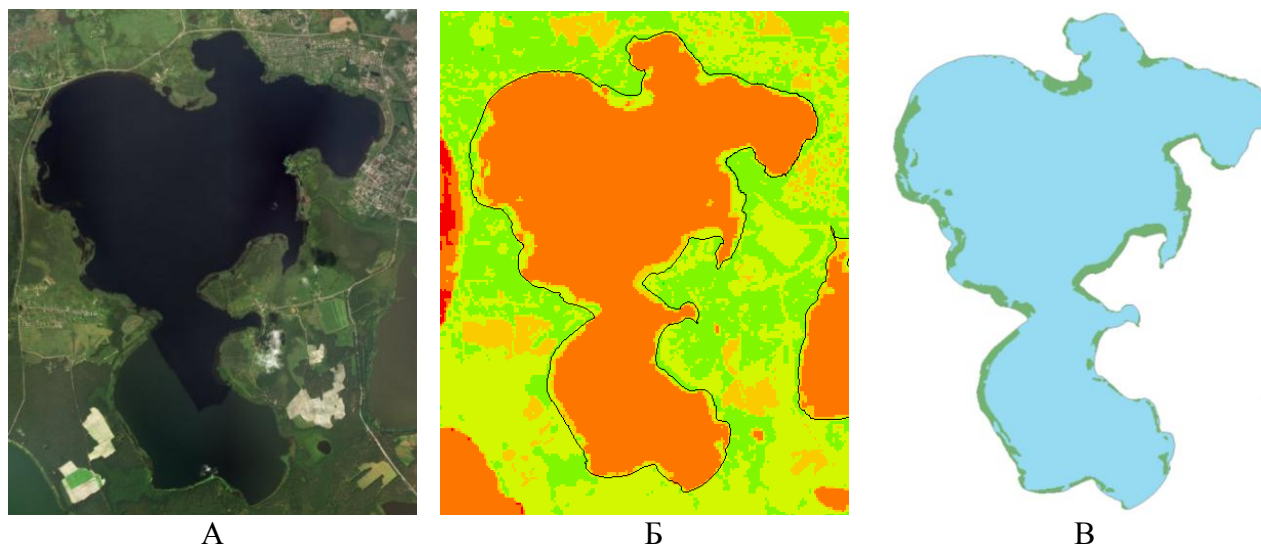


Рис. 11. Результаты картирования надводной растительности озера Мястро, 2016 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 В – картосхема зарастания

Rys. 11. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Miastro, 2016:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 11. Emergent vegetation mapping results, lake Myastro, 2016 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

Озеро **Мядель** относится к тому же типу зарастания, что и Нарочь – гидрофитному. Однако из-за сложного строения котловины, распределение растительности в нем носит иной характер (фот. 2).

Для картирования ВВР озера Мядель в 2004 году были использованы методы расчета индекса NDVI и визуальное дешифрирование (рис. 12).

По полученным результатам надводная растительность занимала в оз. Мядель 7,3% (1,18 км<sup>2</sup>). Максимальное распространение надводная растительность получила на северо-за-

падном побережье, достигая ширины зарастания 210 м. Пояс надводных макрофитов был представлен тростником, в заливах преобладал камыш. В доминирующих ассоциациях встречались хвощи, осоки, аир. Надводная растительность не сплошная, распространяется до глубины 1,5–2 м. Сильно зарастают заливы.

В 2010 году площадь зарастания надводной растительности увеличилась до 1,27 км<sup>2</sup> в основном за счет появления новых участков зарастания (рис. 13). Максимальная ширина зарастания составила 192 м. В видовом составе не произошло существенных изменений.



Фот. 2. Зарастание оз. Мядель (фот.: **Б. П. Власов**, 2019)  
 Fot. 2. Zarastanie jez. Miadziół (fot. **B. P. Własow**, 2019)  
 Photo 2. Overgrowth of lake Myadel (phot. by **B. P. Vlasov**, 2019)

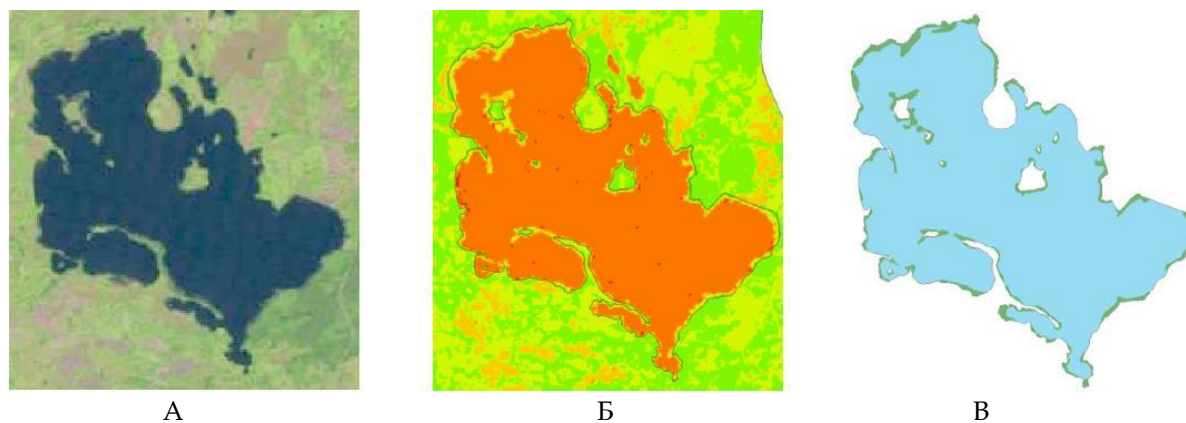


Рис. 12. Результаты картирования надводной растительности озера Мядель, 2004 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 Б – картосхема зарастания

Rys. 12. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Miadziół, 2004:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, Б – schemat zarastania

Fig. 12. Emergent vegetation mapping results, lake Myadel, 2004 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 Б – map of overgrowing



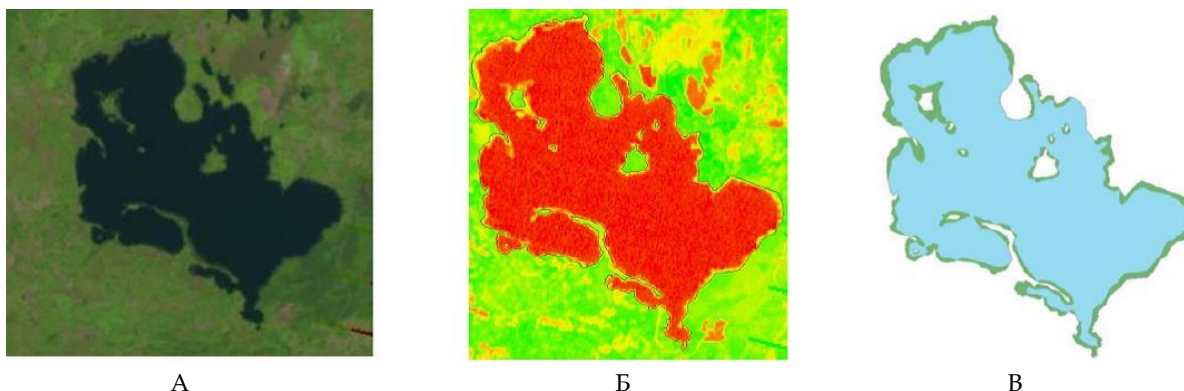


Рис. 13. Результаты картирования надводной растительности озера Мядель, 2010 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка, Б – результат расчета индекса NDVI,  
 В – картосхема зарастания

Rys. 13. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Miadziół, 2010:  
 A – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 13. Emergent vegetation mapping results, lake Myadel, 2010 year:  
 A – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

В 2016 году площадь зарастания снова увеличилась, надводная растительность занимает 8,0% от всей площади акватории

(рис. 14). Максимальная ширина зарастания – 270 м на северо-западном побережье.

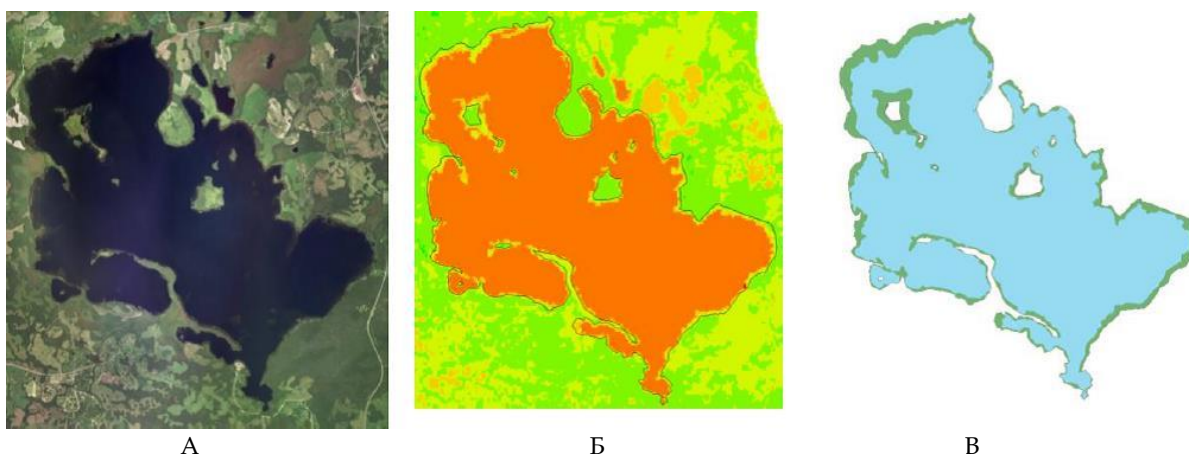


Рис. 14. Результаты картирования надводной растительности озера Мядель, 2016 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 В – картосхема зарастания

Rys. 14. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Miadziół, 2016:  
 A – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 14. Emergent vegetation mapping results, lake Myadel, 2016 year:  
 A – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

Коренных изменений видовой состав не претерпел. Четко выделяется пояс надводных макрофитов, где доминирует тростник. Камыш формирует чистые, чаще смешанные, заросли, как правило, в заливах. К доминиру-

ющим надводным в прибрежной зоне местами примешиваются хвощ, айр, осоки, стрелолист, ситняг. В видовом составе преобладают β-мезосапробы. Загрязнение органическими веществами слабое.



Таким образом для озера Мядель характерна устойчивость видового состава растительности с постепенным увеличением площади зарастания, что связано в первую очередь с повышением прозрачности воды (ВЛАСОВ и др., 2018б).

Озеро **Свирь** относится к гелофитному типу, тростниково-камышовому подтипу за-

растания. Расчет индекса NDVI и визуальное дешифрирование растительности озера Свирь в 2004 году показывает особенности зарастания водоема (фот. 3; рис. 15): непрерывная узкая полоса тянется вдоль всего западного побережья, а на восточном наблюдаются более разреженные и островные ареалы произрастания надводных растений.



Фот. 3. Редкая прибрежная растительность оз. Свирь (фот.: Б. П. Власов, 2019)  
 Fot. 3. Rzadka roślinność przybrzeżna jez. Świr (fot. B. P. Własow, 2019)  
 Photo 3. Rare coastal vegetation of lake Svir (phot. by B. P. Vlasov, 2019)

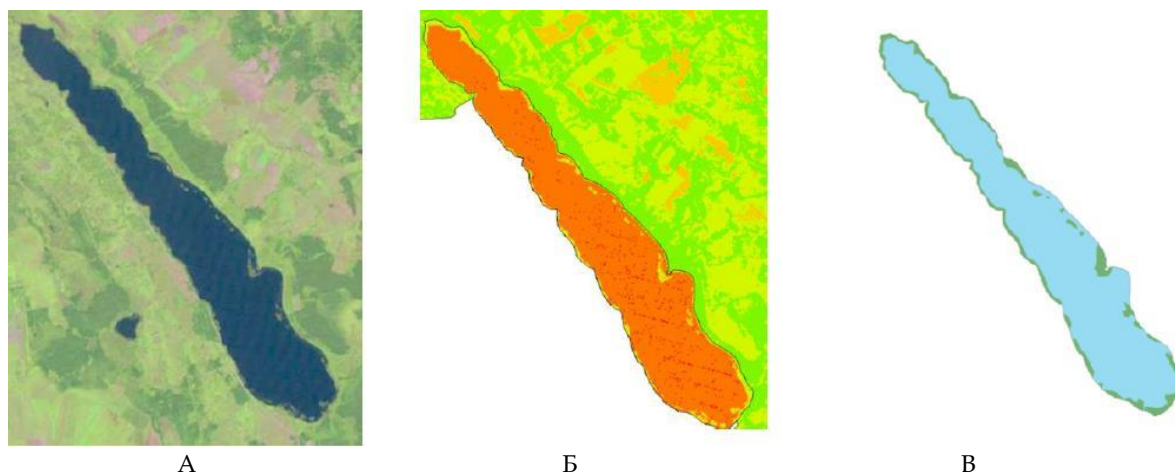


Рис. 15. Результаты картирования надводной растительности озера Свирь, 2004 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 В – картосхема зарастания

Rys. 15. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Świr, 2004:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 15. Emergent vegetation mapping results, lake Svir, 2004 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

Площадь зарастания оз. Свирь в 2004 году составила 6,5 км<sup>2</sup> или 29,4% акватории. Надводная растительность занимала 12,7% или 2,82 км<sup>2</sup>. Максимальной ширины зарастания она достигает на восточном побережье (285 м), у небольшого полуострова. Также широкое распространение надводные макрофиты получили у истока Свирицы и в месте впадения Смолки, где полоса тростника и камыша достигает ширины 200 м.

Мелководную зону озера занимала полоса полупогруженных макрофитов, где доминировал тростник обыкновенный и камыш

озерный. В отдельных местах среди них произрастали водно-болотные растения – аир, хвощ, ситняг, ежеголовник, стрелолист. Глубина произрастания не превышала 1,0 м.

В 2010 году отмечалось уменьшение площади зарастания надводной ВВР до 9,5% площади озера или 2,11 км<sup>2</sup> (рис. 16). Для 2010 г. характерна большая сегментарность и мозаичность зарастания. Появились новые участки зарастания на восточном побережье, хотя в целом площадь зарастания уменьшилась. Видовой состав не изменился.

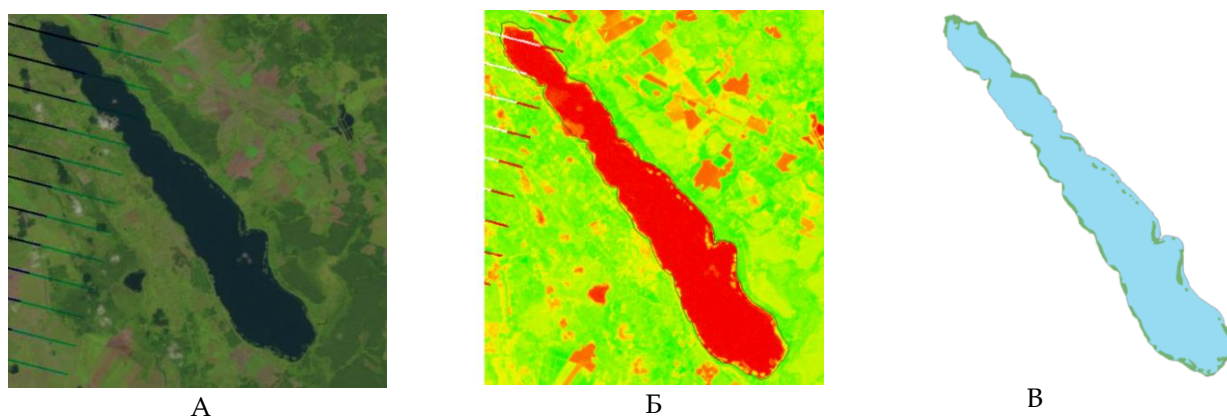


Рис. 16. Результаты картирования надводной растительности озера Свирь, 2010 год:  
А – фрагмент мультиспектрального снимка, Б – результат расчета индекса NDVI,  
В – картосхема зарастания

Rys. 16. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Świr, 2010:  
А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania  
Fig. 16. Emergent vegetation mapping results, lake Svir, 2010 year:  
А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
В – map of overgrowing

Для 2016 года характерна еще большая мозаичность и островной характер растительных ассоциаций на восточном побережье, а также уменьшение ширины зарастания западного (рис. 17). Общая площадь зарастания надводными макрофитами составила 10,7%. По юго-восточному и северо-западному побережьям озера пояс макрофитов достигает ширины более 200 м. Максимальная ширина – 233 м.

Главными участками распространения надводной растительности остаются исток р. Свирицы и устье р. Смолки. Полоса надводной растительности представлена преимущественно тростником и камышом, распространяется до глубины 1–1,2 м. Зарастание в северо-за-

падной и юго-западной частях озера преимущественно представлено тростником, а северо-восточное побережье имеет более разнообразный по видам, островной или фрагментарный характер зарастания.

Озеро **Баторино** расположено восточнее озера Мястро и имеет меньшую площадь, но динамика их зарастания схожа, поскольку озера соединены ручьем Дробня и образуют единую водную систему, что обуславливает схожесть их гидроэкологических условий. В неглубокой плоской котловине озера широкое распространение получили надводные макрофиты. Их ширина составляет 150–200 м, а глубина распространения до 0,8–1,2 м. Основными ассоциациями являются

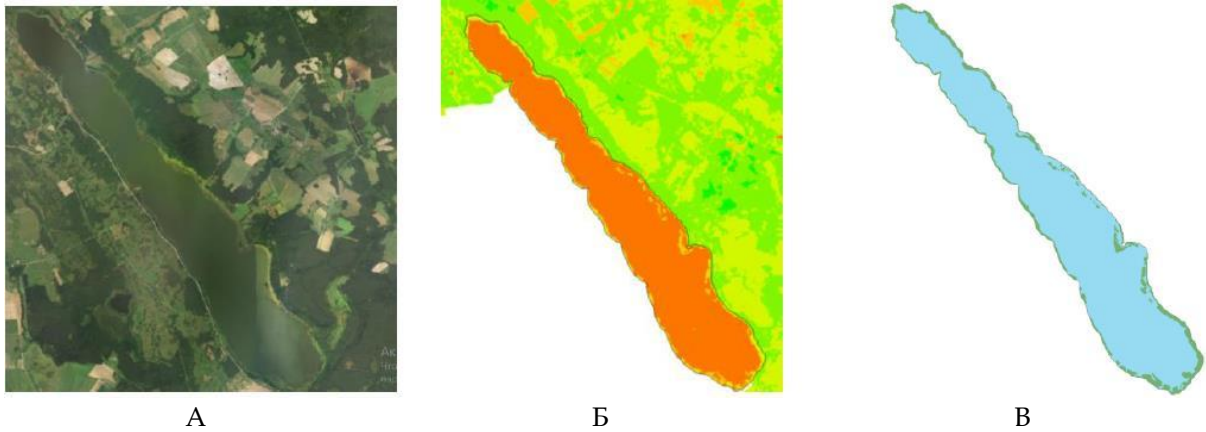


Рис. 17. Результаты картирования надводной растительности озера Свирь, 2016 год  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка; Б – результат расчета индекса NDVI;  
 В – картосхема зарастания

Rys. 17. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Świr, 2016:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 17. Emergent vegetation mapping results, lake Svir, 2016 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

тростниково-камышовая, с примесью рогоза, аира. Незначительная прозрачность воды препятствует сплошному зарастанию оз. Баторино.

В 2004 году озеро Баторино зарастало на 45,7% или 2,8 км<sup>2</sup>, при этом 14,3 % приходилось на надводные растения. Максимальной ширины зарастания они достигали на северном побережье (до 288 м) (рис. 18).

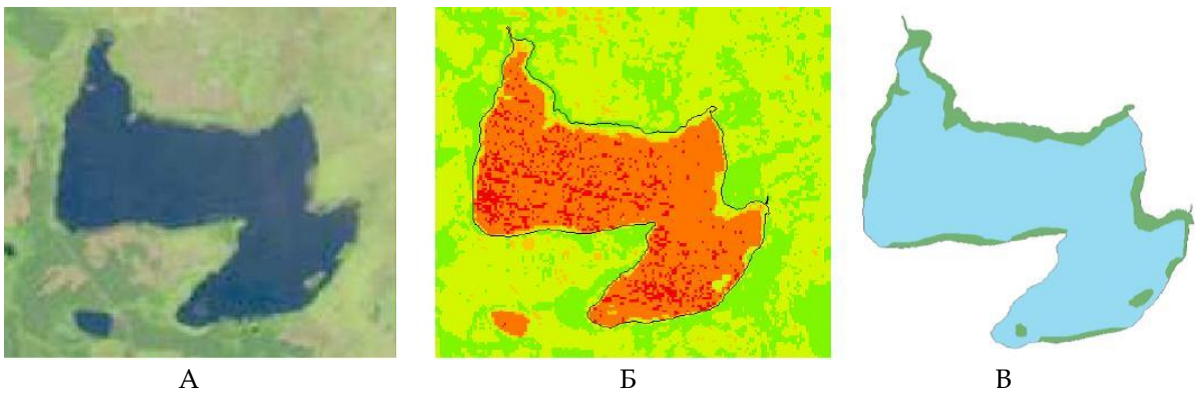


Рис. 18. Результаты картирования надводной растительности озера Баторино, 2004 год:  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка, Б – результат расчета индекса NDVI,  
 В – картосхема зарастания

Rys. 18. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Batoryno, 2004:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 18. Emergent vegetation mapping results, lake Batoryno, 2004 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

Площадь зарастания снизилась к 2016 году на 0,5 км<sup>2</sup>. Надводная ВВР занимает 11,7% акватории озера (рис. 19).

Для озера характерно большее по сравнению с другими озерами национального пар-

ка развитие видов, идентифицирующих эвтрофирование и антропогенное воздействие (шелковник жестколистный, ряска малая, многокоренник обыкновенный, телорез алоэвидный и др.). За период 2004–2016 год наиболее за-



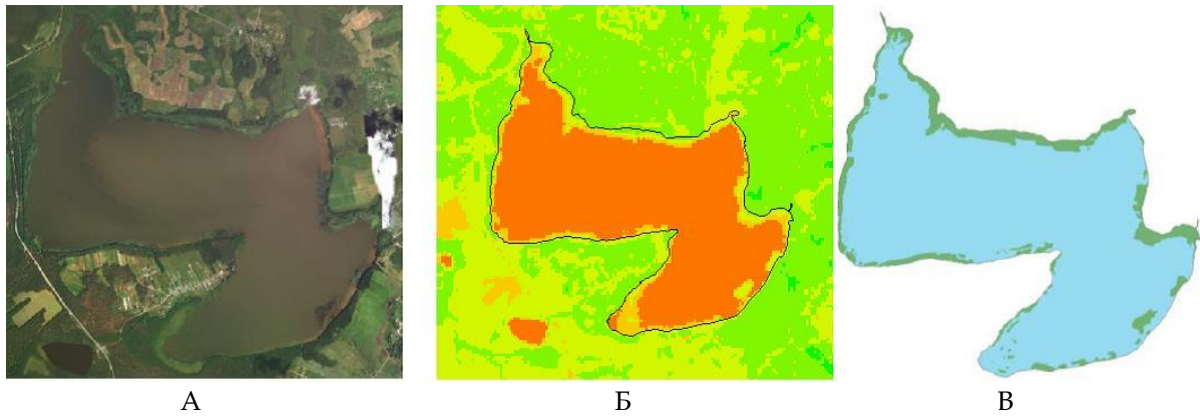


Рис. 19. Результаты картирования надводной растительности озера Баторино, 2016 год:  
 А – фрагмент мультиспектрального снимка, Б – результат расчета индекса NDVI,  
 В – картосхема зарастания

Rys. 19. Wyniki kartowania nadwodnej roślinności jeziora Batoryno, 2016:  
 А – fragment obrazu multispektralnego, Б – wynik obliczeń indeksu NDVI, В – schemat zarastania

Fig. 19. Emergent vegetation mapping results, lake Batoryno, 2016 year:  
 А – fragment of multispectral satellite image, Б – result of calculation of the NDVI index,  
 В – map of overgrowing

метные изменения проявились в увеличении площади зарастания растений с плавающими листьями (кубышка, кувшинка, рдест плавающих) (Власов и др., 2017). Причиной структурных изменений послужили процессы деэвтрофирования и увеличения прозрачности воды в озере после включения его в территорию национального парка и выполнения ряда водоохранных мероприятий.

## Заключение

Аквафлора озер НП „Нарочанский” весьма разнообразна. В целом объекты исследования схожи между собой по видовому составу ВВР, однако в ее распределении и характере зарастания есть весомые отличия. Так, для озера Нарочь характерно слабое развитие надводной растительности, доминирование подводной. Озеро Мядель обладает наибольшим видовым разнообразием ВВР и отличается наиболее сложным ее распространением. Свирь – озеро с наименее развитым поясом ВВР и небольшим видовым разнообразием. Озера Мястро и Баторино, хоть и имеют общий проток, отличаются по видовому составу растительности: в Баторино отсутствуют харовые водоросли и водяной мох, оно отличается наиболее обильным развитием надводной расти-

тельности. Мястро имеет высокую степень зарастания и богатый видовой состав.

С помощью различных программных средств и космоснимков можно достаточно полно изучить особенности распространения ВВР и зарастания озер. Из существующих методик картирования и исследования ВВР наиболее точными результатами отличается автономная классификация космоснимков высокого разрешения. Однако для подтверждения основных дешифровочных признаков ВВР акватории озер необходим сравнительный анализ результатов дешифрирования данных ДЗЗ и полевых исследований.

## Литература

- Власов Б. П., Грищенко Н. Д., Суховило Н. Ю., Власова Д. Б., 2018б: Мониторинг высшей водной растительности озер НП „Нарочанский” с использованием данных ДЗЗ (на примере Мядельской группы озер). В: Сборник научных статей: Современные технологии в деятельности особо охраняемых природных территорий: геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли. Минск: 17–21.
- Власов Б. П., Грищенко Н. Д., Жукова Т. В. (и др.), 2017: Некоторые тенденции в развитии макрофитного сообщества озер. В: Михеева Т. М. (ред.): Бюллетень экологического состоя-



ния озер Нарочь, Мясро, Баторино (2016 год). БГУ, Минск: 66–68.

Власов Б. П., Грищенко Н. Д., Сивенков А. Ю., Суховило Н. Ю., Колбун Д. А., 2018а: Современные методы и технологии в изучении зарастания водоемов Национального парка „Нарочанский“. В: „Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии“. Материалы VI Междунар. науч. конф. (к 110-летию со дня рождения профессора В. А. Дементьева), Минск, 13–16 ноября 2018 г. БГУ, Минск: 28–30.

Колбун Д. А., 2018: Изучение зарастания озер НП „Нарочанский“ с помощью данных дистанционного зондирования Земли. В: Сборник научных статей: Современные технологии в деятельности особо охраняемых природных территорий: геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли. Минск: с. 115.

Люштык В. С., Жукова Т. В. (ред.), 2012: Водные ресурсы Национального парка „Нарочанский“: справочник. Рифтур Принт, Минск: 128 с.

*Поступила в редакцию: 4 октября 2019*

*Wpłynął do redakcji: 4 października 2019*

*Received: 4 October 2019*