

М. А. МАКАРОВА

Ботанический институт им. Комарова РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия
MMakarova@binran.ru

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОСТРОВОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА (СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)

*Дистанционно-наземные исследования проводились для обнаружения дешифровочных признаков по спутниковым снимкам для прибрежно-водной растительности Северо-Западного Приладожья. Для выявленных при наземных исследованиях 4 групп ассоциаций *Salicetum pentandra-S. myrsinifolia*, *Phragmiteta australis*, *Equiseta fluviatilis*, *Aquiherbosa*, по снимкам получены дифференцирующие характеристики.*

Ключевые слова: Ладожское озеро, спутниковые снимки, прибрежно-водная растительность.

Исследования растительного покрова проводились в шхерном районе Северо-Западного Приладожья в пределах Ленинградской области. Ключевой участок находится в районе выхода на дневную поверхность Балтийского кристаллического щита, сложенного гранитами. Ландшафты представляют собой гранитные гряды, озерные глинистые террасы, торфяники и узкие берега. Ладожское озеро смягчает влияние климатических условий вдоль побережий, преобладают прохладное и дождливое лето, теплая осень и зима. Сосновые, еловые и смешанные леса (береза, осина, сосна, ель) довольно типичны для Северо-Западного Приладожья. Луга, болота и прибрежная растительность занимают небольшие площади, но характеризуются широким фитоценотическим разнообразием. Картирование растительности Северо-Западного Приладожья было выполнено в ходе предыдущих исследований [3, 4], сейчас карта обновляется по данным Sentinel-2 [2]. Целью данного исследования является попытка выявить дешифровочные признаки по спутниковым снимкам для типов прибрежно-водных сообществ, которые были выявлены ранее в ходе экспедиционных исследований.

Экспедиционные исследования прибрежно-водной растительности проводились в 2019 году. Исследованные острова (Белоярский, Ласточкин, Медвежий, Ягодный) входят в состав шхерного района Северо-Западное Приладожье и характеризуются разнообразием ландшафтных условий. Литораль по типу субстрата подразделяется на скалисто-глыбовую, каменистую, галечно-крупнопесчаную, песчано-илистую, илистую и глинистую; по степени волнения – на затишную (высота волны до 0,25 м) и прибойную (высота волны выше 0,25 м) [7]. Прибрежно-водные сообщества занимают заливы и побережья островов Ладожского озера, заливы «внутренних» озер, расположенных на материковой части исследуемого ключевого участка. Шхерные заливы на Ладоге подвергаются частым штормам и колебаниям уровня воды, чего не происходит на озерах в материковой части [5].

В 1960-х годах растительность Ладожского озера изучал И.М. Распопов. Он выделил 56 типов ассоциаций: 31 прибрежных и 25 водных для заливов и побережий Ладожского озера в пределах Республики Карелия [6, 7, 9]. Водная и прибрежно-водная флора шхерного района Ладожского озера по его данным включает 137 видов высших сосудистых растений: 48% гигрофитов, 17% гелофитов, 12% нейстрофитов, 23% гидатофитов [8].

В 2019 году в ходе полевых исследований было выполнено 90 описаний прибрежно-водной растительности и выявлено фитоценотическое разнообразие береговой зоны,

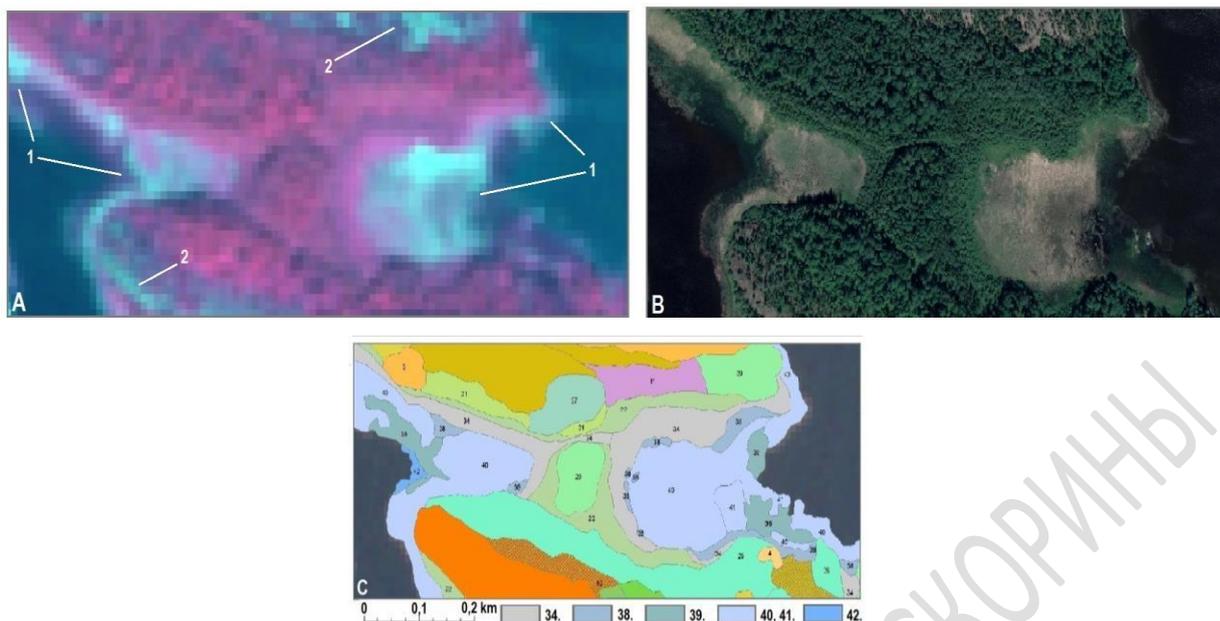
включающее 7 групп ассоциаций (*Salicetum pentandra-S. myrsinifolia*, *Phragmiteta australis*, *Equiseta fluviatilis*, *Glycerieta maximae*, *Cariceta acutae*, *Comareta palustris*, *Aquiherbosa*) и 17 ассоциаций. Далее, для описанных типов сообществ была осуществлена попытка выявить дешифровочные признаки по спутниковым снимкам разного разрешения. Были использованы спутниковые снимки Sentinel-2, появившиеся в открытом доступе сравнительно недавно, поскольку они обладают большим количеством спектральных диапазонов, чем традиционные Landsat.

Описание применения синтезов (комбинаций спектральных каналов) спутниковых снимков Sentinel-2 приведены в меню официальной программы Sentinel Application Platform (SNAP) или в переводе, на сайте: <https://eos.com/landviewer> [1]. Для прибрежно-водной растительности Северо-Западного Приладожья осуществлена попытка выяснить, какие синтезы на практике лучше использовать для выявления отличительных признаков сообществ. Произведена предварительная интерпретация снимков Sentinel-2. Использование синтеза каналов INFRARED COLORS (VEGETATION): NIR, красный, зеленый (8-4-3) позволило идентифицировать границы прибрежно-водных сообществ (Рис. 1.А.). Анализ снимков показал практически полное совпадение спектральных характеристик прибрежно-водной растительности и нарушенных территорий (пожаров скальных лишайниковых сообществ, гранитных карьеров, зданий, дорог). Использование синтеза FALSE COLOR / URBAN: SWIR2, SWIR1, Red (12-11-4) позволило отделить естественную растительность от нарушенных территорий. Практически полное поглощение излучения в среднем инфракрасном диапазоне водой, снегом или льдом дает возможность четко различать береговую линию и выделять водоемы на снимке [1].

Также благодаря инфракрасным каналам этого синтеза были выявлены различия в спектральных характеристиках прибрежно-водных сообществ и нарушенных территорий. Использование спутниковых снимков Sentinel позволило выявить площади, занимаемые прибрежно-водными сообществами, и отделить их от других типов растительности. При анализе снимков за 5-летний период (2016-2020) были выявлены мало- и многоводные годы. В многоводные годы прибрежно-водные сообщества находятся затопленными длительное время и не могут образовывать сомкнутый покров. Интерпретация снимков за разные годы подтвердила, что прибрежно-водная растительность занимала меньшие площади в многоводные годы по сравнению с маловодными. Эти тенденции отчетливо видны на снимках Sentinel.

Снимки высокого разрешения использовались для выявления дешифровочных признаков фитоценологического разнообразия прибрежно-водной растительности, выявленного в ходе полевых исследований. Также подбирались снимки с высоким и низким уровнем воды в Ладожском озере. Анализ сезонных снимков показал, что наиболее хороши для дешифрирования прибрежно-водных сообществ снимки, сделанные с июля по сентябрь. В маловодные годы растительные сообщества побережий и мелководий успевают пройти полный вегетационный цикл, в связи с чем на снимках второй половины лета или сентября они выглядят более контрастными по отношению друг к другу.

На снимках (2016, 2019) с уровнем воды Ладожского озера ниже среднего, контуры прибрежно-водной растительности достаточно четко подразделялись на четыре группы ассоциаций: *Saliceta pentandra-S. myrsinifolia*, *Phragmiteta australis*, *Equiseta fluviatilis*, *Aquiherbosa*. На снимках в многоводные годы (2020) были выделены только тростниковые (*Phragmiteta australis*) и свободно плавающие гидрофитные (*Aquiherbosa*) сообщества. Сообщества групп ассоциаций *Cariceta acutae*, *Glycerieta maximae* и *Comareta palustris* занимают на островах небольшие площади, образуют экологические ряды с другими сообществами, что было отражено в легенде к крупномасштабной карте растительности островов Ладожского озера в Северо-Западном Приладожье. Фрагменты спутниковых снимков и карты растительности показаны на рисунке 1.



А – фрагмент снимка Sentinel-2 (07.04.2019 синтез 8-4-3), голубые области – прибрежно-водная растительность (1) и послепожарные скальные лишайниковые сообщества с редкой сосной (2); В – снимок Google (23.06.2019); С – фрагмент карты растительности и фрагмент легенды с типами прибрежно-водных сообществ:
 34. *Saliceta pentandra*–*S. myrsinifolia*, 38. экологический ряд с *Carex acuta*, *Glyceria maxima* и др., 39. *Equiseta fluviatilis*, 40. *Phragmiteta australis*, 41. *Phragmiteta australis* с *Salix* spp., 42. гидрофиты.

Рисунок 1 – Изображение прибрежно-водной растительности на снимках и карте

Работа выполнена по плановой теме Лаборатории географии и картографии растительности БИН РАН № АААА-А19-119030690002-5 «Пространственная организация, разнообразие и картографирование растительного покрова северной Евразии».

Список использованной литературы

- 1 <https://eos.com/landviewer>
- 2 Владимирова Н.А., Макарова М.А. // Сборник тезисов 4-й Международной Практической Конференции Сообщества природоохранных ГИС в России "Использование ГИС и данных дистанционного зондирования Земли для охраны природы" – Нац. парк "Валдайский", Валдай, 3-5 октября 2019 г. С. 13-18. <https://doi.org/10.17894/ucph.ae5a9e75-3cdb-4fb8-b108-3e625399bfad>
- 3 Makarova M. Large-scale mapping of actual vegetation in heterogeneous landscape conditions (NW Ladoga region, Russia) // Mapping and monitoring of Nordic vegetation and landscapes. Conference proceeding. Viten fra Skog og landskap 01/10: Norsk institutt for skog og landskap. – Pb 115, NO-1431 As, Norway. – 2010. – P. 75-79.
- 4 Макарова М. А. Дистанционно-наземные методы картографирования растительного покрова Северо-Западного Приладожья // Материалы VII Всероссийской (с международным участием) конференции "Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии" – Москва. ЦЭПЛ, 22-24 апреля 2019 г. – С. 137-140.
- 5 Макарова М. А. 2020. Прибрежно-водная растительность островов Ладоги (северо-Западное Приладожье) // Материалы IX Международной научной конференции по водным макрофитам "Гидробиотаника 2020" (Борок, Россия, 17–21 октября 2020 г.) – Борок: ИБВВ РАН, Ярославль. – С. 107–109.

6 Распопов И.М. 1961. Высшая водная растительность шхерного района Ладожского озера // Комплексные исследования шхерной части Ладожского озера. М.-Л. Наука. – С. 193–210.

7 Распопов И.М. 1968. Высшая водная растительность Ладожского озера // Растительные ресурсы Ладожского озера. Изд. ЛГУ. Труды Лаборатории озероведения. – Т. XXI. – С. 16–72.

8 Распопов И.М. 2009. Видовое разнообразие высших водных и прибрежно-водных растений в литоральной зоне Ладожского озера // Фиторазнообразии Восточной Европы. – № 7. – С. 173–180.

9 Распопов И.М., Рычкова М.А. 1971. Геоботаническая характеристика заливов западной части шхерного района Ладожского озера // Очерки по растительному покрову Карельской АССР. Петрозаводск. – С. 60–72.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ