

## Оценка современного состояния и динамики растительных сообществ Онежского полуострова по разновременным спутниковым снимкам Landsat

Б. В. Раевский, В. В. Тарасенко, Н. В. Петров

*Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, 185000, Россия*  
*E-mails: borisraevsky@gmail.com, victor.tarasenko.2208@mail.ru,*  
*nikolay\_evrika@mail.ru*

Разработка цифровых векторных карт растительного покрова таёжной зоны на основе дешифрирования данных дистанционного зондирования имеет исключительное значение с точки зрения организации мониторинга природной и антропогенной динамики лесных сообществ северных регионов РФ. Выявление актуального состояния и количественная оценка изменений структуры лесного покрова на региональном и локальном уровнях позволяют получить данные, необходимые для решения широкого круга задач, связанных с достижением целей устойчивого развития той или иной территории. Дешифрирование разновременных многозональных снимков среднего разрешения (30 м) спутниковой программы Landsat методом классификации с обучением (k-NN — метод «ближайшего соседа») позволило сформировать пространственную модель динамики растительных сообществ Онежского п-ова. Анализ изменения площадной структуры растительных сообществ полуострова за более чем 30-летний период (1987–2018) показал существенное уменьшение общей площади еловых насаждений (17,8 %) при кратном увеличении площадей вырубок и лиственных насаждений. Выявленные особенности антропогенной трансформации позволили заключить, что, по всей видимости, большая часть продуктивных эксплуатационных лесов Онежского п-ова уже освоена и интенсивность лесозаготовительной деятельности в этом районе в ближайшие годы будет снижаться. Малонарушенные таёжные ландшафты национального парка «Онежское Поморье» в течение исследуемого периода избежали крупных природных нарушений, и их состояние в настоящее время оценивается как стабильное.

**Ключевые слова:** многозональные космические снимки, классификация с обучением, программа Landsat, пространственная динамика растительных сообществ, леса, данные дистанционного зондирования, дешифрирование

Одобрена к печати: 02.10.2021

DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-145-155

### Введение

Известно, что растительный покров — наиболее динамичный компонент природно-территориальных комплексов любого ранга. Большое структурное разнообразие сообществ, сложность организации растительного покрова, а также выраженная его непрерывность и динамичность существенно усложняют как сам процесс картографирования растительности, так и поддержку в актуальном состоянии карт, созданных по традиционным технологиям. Растительные сообщества таёжной зоны РФ играют ключевую средообразующую роль в поддержании комфортности Российского Севера для размещения населения и производительных сил. Считается, что умелое управление лесными экосистемами может внести очень весомый вклад в выполнение Россией так называемого Парижского Соглашения по климату (Lerink et al., 2020). Однако использование данных государственного лесного реестра в различного рода прогнозных климатических расчётах затруднительно, поскольку, согласно данным этого же реестра, около 50 % лесного фонда РФ имеет давность лесоустройства более 30 лет (Zamolodchikov et al., 2020). Поэтому выявление актуального состояния и мониторинг природной и антропогенной динамики лесного покрова имеют исключительное значение в решении широкого круга задач практического и теоретического характера, связанных с достижением глобальных целей устойчивого развития. Учитывая современные тенденции в развитии

технологий аэрокосмической съёмки и IT-технологий, очевидно, что операции с данными дистанционного зондирования (ДДЗ) при интегрирующей роли геоинформационных (ГИС) технологий в их хранении, анализе и визуализации будут представлять собой важнейший компонент любой современной системы мониторинга и мониторинговых исследований растительного покрова фундаментального и прикладного характера.

Сегодня известны примеры создания общемировых цифровых карт растительности на основе данных дистанционного зондирования. С точки зрения использования ДДЗ среднего разрешения в мировом масштабе следует, прежде всего, отметить созданную группой сотрудников Мэрилендского университета (*англ.* University of Maryland) и ряда других организаций в 2013 г. карту изменений лесного покрова мира в XXI в. (Hansen et al., 2013; Global Forest Change, <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change>) на базе обработки снимков системы Landsat. Мировым производителем геоинформационных систем ESRI (*англ.* Environmental Systems Research Institute, Институт исследования систем окружающей среды) также разработана интерактивная карта мирового растительного покрова на основе использования снимков системы Sentinel-2 (Esri Land Cover, 2020, <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?layers=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>). Однако глобальные цифровые карты растительности характеризуются высокой степенью генерализации информации в отношении лесного покрова, поскольку классификация огромного числа снимков ведётся по сравнительно небольшому числу классов. Также созданы цифровые карты растительности Северной Евразии и отдельных крупных регионов России (Барталев и др., 2016; Ершов и др., 2015; Леса..., 2008; Bartalev et al., 2003). Тем не менее в настоящее время подавляющее большинство регионов РФ, в том числе Европейский Север РФ, не имеют карт актуальной растительности обзорно-топографического уровня (масштаб 1:150 000–200 000) и крупнее, отражающих тенденции природной динамики и антропогенной трансформации растительного покрова как в целом по региону, так и в пределах отдельных территорий.

С учётом актуальности регионального и локального уровней картографирования растительности таёжной зоны России цель настоящего исследования заключается в оценке современного состояния и динамики растительных сообществ Онежского п-ова Белого моря (Архангельская обл.) с использованием разновременных многозональных космических снимков среднего разрешения. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка эталонных классификаторов для выполнения дешифрирования.
2. Дешифрирование разновременных космических снимков территории исследования с применением различного программного обеспечения.
3. Верификация результатов дешифрирования с использованием материалов лесоустройства.
4. Формирование карт актуального состояния таёжных ландшафтов Онежского п-ова на 1987 и 2018 гг.

## Материалы и методы

Исходные данные для проведения исследования были представлены следующим комплектом информации:

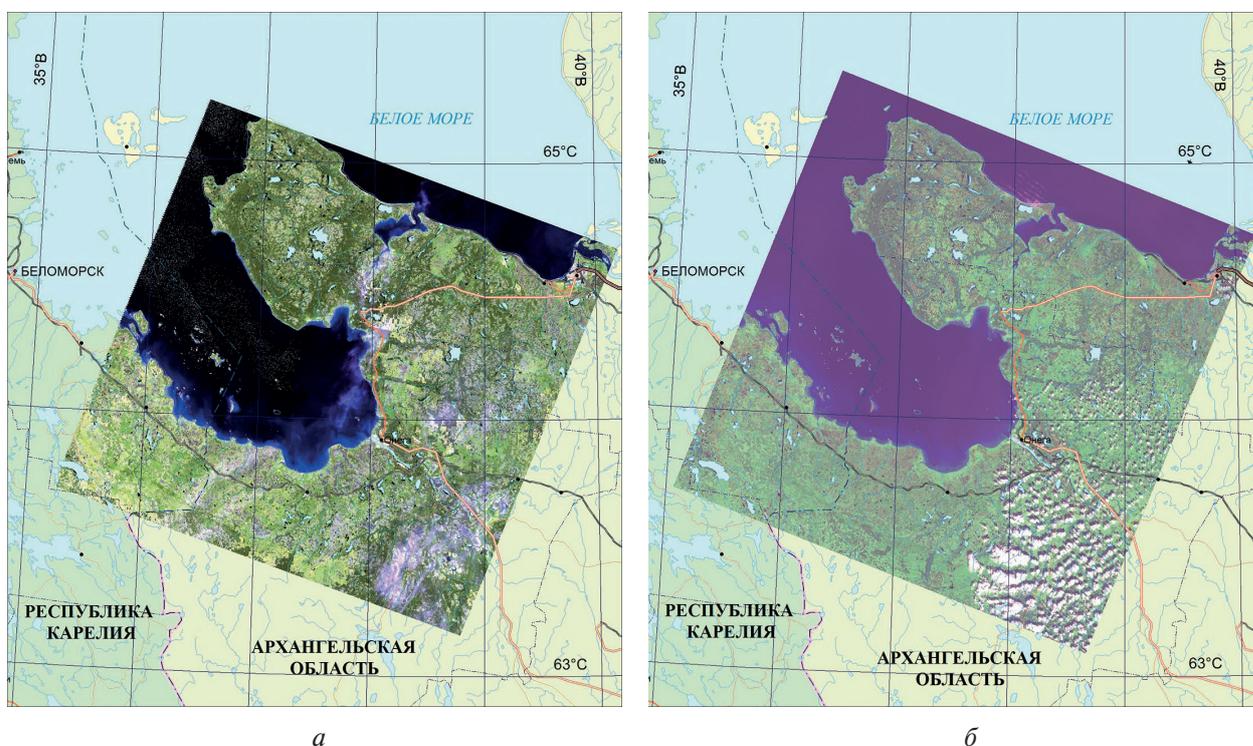
- мультиспектральные космические снимки программы Landsat:
  - а) снимки сенсоров Thematic Mapper (TM) и Multi-Spectral Scanner (MSS), спутник Landsat-5, дата съёмки 21.07.1987;
  - б) снимки сенсора OLI (*англ.* Operational Land Imager), спутник Landsat-8, дата съёмки 10.07.2018;
- фрагменты планов лесонасаждений Нижнеозерского участкового лесничества (Онежское лесничество) и Верхнеозерского участкового лесничества (Северодвинское лесничество);
- топографические карты масштаба 1:100 000, листы Q-37-109-110, Q-37-111-112, Q-37-123-124 (для геокодирования растровых картографических материалов).

Данные дистанционного зондирования покрывали территорию площадью 34 225 км<sup>2</sup> (размер снимка в матрице съёмки космического аппарата Landsat равен 185×185 км). Космические снимки получены из открытого источника (Геологическая служба США, *англ.* United States Geological Survey — USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, <https://libra.developmentseed.org/>). Уровень обработки всех полученных данных ДЗ — 1Т, что означает геометрическую и радиометрическую коррекцию информации. Мультиспектральная съёмка соответствует параметрам активного вегетационного периода, облачность составляет не более 10 %.

Использовалось следующее программное обеспечение (ПО):

- ScanEX Image Processor v5.1.55;
- QGIS (свободная кроссплатформенная ГИС);
- MapInfo Professional v17.1.

С помощью модуля Semi-Automatic Classification Plugin ПО QGIS (версия 7) для данных ДЗ, полученных с сервера USGS, была проведена атмосферная коррекция (DOS1) многоканальных сцен и сформированы (*рис. 1*) цветные RGB-композиты (R — *англ.* red, красный; G — *англ.* green, зелёный; B — *англ.* blue, синий) в комбинации каналов «7–5–3».



*Рис. 1.* Цветные RGB-композиты снимков Landsat: *а* — 1987 г.; *б* — 2018 г.

Выполненные ранее исследования ландшафтов карельской части побережья Белого моря показали, что при дешифрировании цветного RGB-композиата каналов «7–5–3» достигается большая общая точность и более высокий показатель коэффициента  $\kappa$  (Каппа Коэна) в сравнении с цветным RGB-композиатом каналов «6–5–4». Для выполнения классификации с обучением вручную был сформирован комплект «регионов интереса» — эталонных полигональных объектов с учётом спектральной изменчивости классов земного покрова. Эталоны представляли собой относительно однородные участки изображения, относящиеся к различным тематическим классам, подобранные на основании анализа планов лесонасаждений с последующей таксацией предварительно выбранных выделов глазомерно-измерительным способом в процессе маршрутных исследований морской научной экспедиции Карельского научного центра РАН вдоль западного побережья Онежского п-ова в 2020 г. (*рис. 2*, см. с. 148).

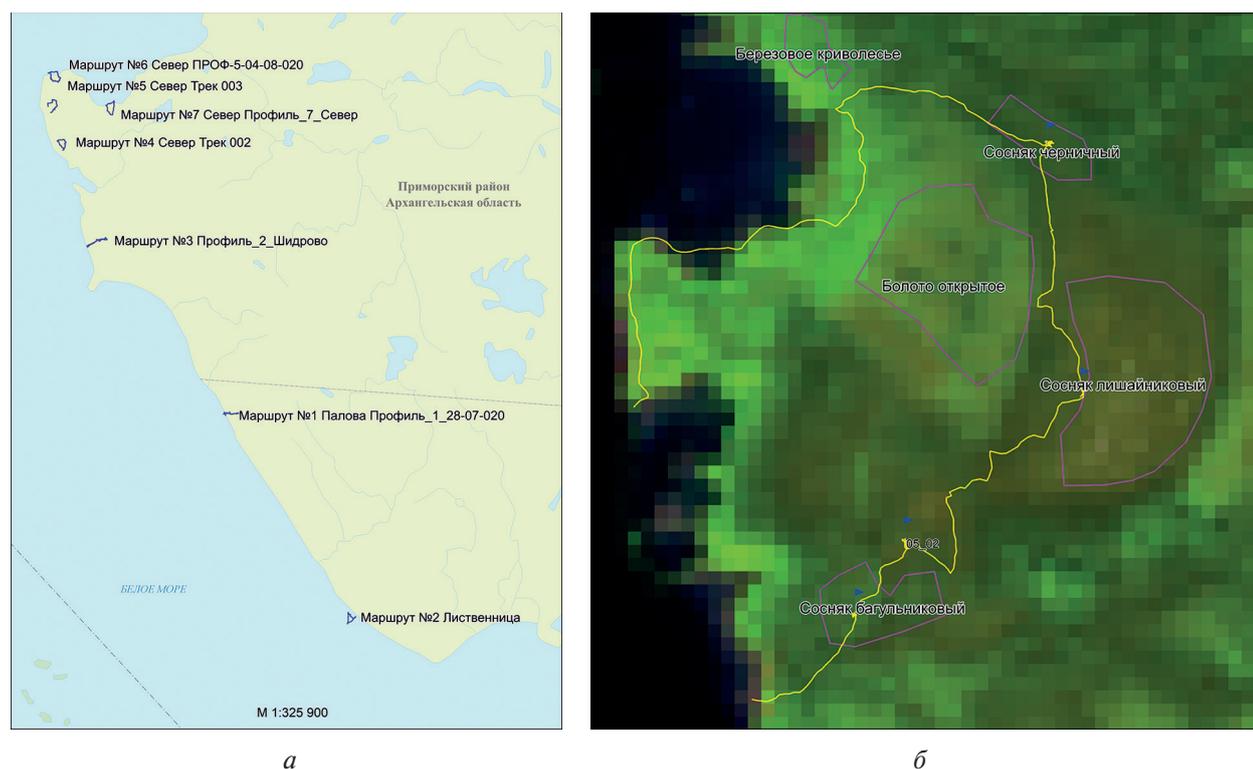


Рис. 2. Маршрутные ходы экспедиции 2020 г.: а — общая картосхема полевых исследований; б — Маршрут № 5 (пример)

Был создан полигональный слой с несколькими полями атрибутов, хранящих значения ROI (*англ.* regions of interest, регионы интереса), представленный в *табл. 1*.

Таблица 1. Список тематических классов для дешифрирования

Номер класса	Наименование	Количество эталонов
1	Березняки	7
2	Болото	14
3	Елово-лиственные насаждения (ель, берёза, осина)	6
4	Ельники	4
5	Луг	5
6	Населённый пункт	3
7	Осинники	2
8	Сосна по болоту	3
9	Сосняки	17
10	Прочие земли	2
11	Возобновившиеся вырубki	11
12	Свежие вырубki	9
13	Внутренний водоём	4
14	Белое море	3
15	Облачность	2

Исследуемый район имеет определённую специфику пространственной локализации выделяемых тематических классов.

Непосредственно в прибрежной морской зоне шириной примерно до 100 м, а также в местах расположения населённых пунктов (деревень) были представлены безлесные территории, полностью или частично покрытые травянистой растительностью. Они были отнесены к классу «прочие земли». Также для данной зоны были характерны чистые березняки и заболоченные участки берёзового криволеся (класс «березняки»). В полосе защитных лесов шириной около 2 км вдоль западного побережья Онежского п-ова, которая ныне входит в состав национального парка (НП) «Онежское поморье», преобладали старовозрастные еловые и сосновые насаждения, отнесённые соответственно к классам «ельники» и «сосняки». В этой же зоне были выделены эталоны чистых осинников, хотя такие насаждения здесь были редки и невелики по площади. К классу «свежие вырубki» были отнесены участки, лишённые древесной растительности, имеющие характерную для сплошных рубок прямоугольную форму и при этом связанные элементами дорожной инфраструктуры. Высокая степень нарушенности почвенного покрова придаёт этим объектам в данной комбинации каналов характерный розоватый оттенок. Класс «возобновившиеся вырубki» включал в себя эталоны объектов антропогенного происхождения, находящихся на ранних стадиях растительных сукцессий, когда уже произошло восстановление почвенного покрова, а сохранившийся еловый подрост и последующее естественное возобновление лиственных пород начинают формировать древесный ярус растительности. На этом этапе границы делянок и сеть лесовозных «усов» ещё достаточно хорошо просматриваются, но розовые оттенки исчезают. К классу елово-лиственных насаждений были отнесены стадии сукцессий, соответствующие уже сформированным производным древостоям с участием преимущественно ели, берёзы и осины. Границы делянок и лесовозные дороги в таких массивах уже не идентифицируются. В силу отсутствия достаточной информации по датам лесозаготовок задача по определению площадей вырубок различного возраста не ставилась.

С использованием программного обеспечения ScanEX Image Processor v5.1.55 и сформированного классификатора (векторный слой) было выполнено дешифрирование цветных RGB-изображений за 1987 и 2018 гг. (максимально безоблачная часть, площадь 3911 км<sup>2</sup>) методом классификации с обучением (k-NN — *англ.* k-nearest neighbor algorithm, метод «ближайшего соседа») (Программа..., 2019).

## Результаты и обсуждение

При дешифрировании разновременных изображений использовался единый классификатор (см. *табл. 1*). По итогам классификации цифровые векторные данные были собраны в следующие группы ГИС-слоёв:

- лиственные насаждения (классы 1 и 7);
- сосняки (класс 9);
- ельники (класс 4);
- болота (классы 2 и 8);
- свежие вырубki (класс 12);
- возобновившиеся вырубki (классы 11 и 3);
- водоёмы (классы 13 и 14);
- прочие земли (класс 5, 6 и 10);
- облачность (класс 15).

Результаты статистического анализа площадной структуры экосистем в 1987 и 2018 гг. по группам слоёв приведены в *табл. 2*.

С использованием полученных наборов тематических слоёв (по группам экосистем) в программном обеспечении MapInfo были построены тематические карты экосистем исследуемой части Онежского п-ова (*рис. 3*, см. с. 151).

Рассматривая результаты дешифрирования данных ДЗ, следует прежде всего отметить, что они были получены хотя и в рамках одной спутниковой программы, но с временным

промежутком в 30 лет и с помощью аппаратуры, различающейся своими техническими характеристиками. В силу указанных причин, а также под влиянием множества иных неконтролируемых факторов анализируемые количественные показатели (в нашем случае — площади) того или иного класса объектов не могут оказаться равными никогда, даже если они фактически оставались неизменными за исследуемый временной промежуток. Поэтому относительные изменения показателя площади в пределах  $\pm(5-7,0) \%$  (см. *табл. 2*) следует оценивать как не выходящие за пределы «погрешности опыта». К числу таких категорий объектов в нашем случае можно отнести сосняки и водоёмы. Как будет показано ниже, существенные колебания площади таких классов, как «болота» и «прочие земли», может быть объяснено перепутыванием части их площади с такими классами, как «возобновившиеся вырубки» и «луга». Сравнительный анализ результатов дешифрирования изображений 1987 и 2018 гг. позволяет сделать однозначный вывод о существенном уменьшении в исследуемой части Онежского п-ова площади ельников ( $-17,8 \%$ ) при одновременном значительном увеличении площадей вырубок и лиственных древостоев. По всей видимости, основная причина выявленной динамики заключается в активной эксплуатации сплошнолесосечной формой хозяйства лесных массивов Нижмозерского и Верхнеозерского участков лесничеств в течение последних десятилетий. Следует отметить, что тайга северной части Европейской равнины преимущественно темнохвойная — елово-пихтовая. На исследуемой территории в последние десятилетия именно ельники выступали основным объектом лесозаготовки. Данные *табл. 2* свидетельствуют, что на территории Онежского п-ова за последние 30 лет было вырублено не менее 28 тыс. га спелых и перестойных естественных еловых древостоев, т. е. ежегодно сплошными рубками осваивалось около 900 га. Как следует из данных *табл. 2*, в категорию возобновившихся вырубок, куда были отнесены и производные елово-лиственные насаждения, перешло более 26 тыс. га. Создание в 2013 г. национального парка «Онежское Поморье», безусловно, сыграло свою положительную роль в сохранении биоразнообразия природных экосистем полуострова, поскольку массивы свежих сплошных вырубок присутствуют по всей его центральной части и подходят вплотную к его внутриматериковым границам. Следует отметить, что последнее лесозаготовительное хозяйство в вышеназванных лесничествах и на территории национального парка датируется 1991 г. Осуществляя свою контрольную деятельность, лесничества наносят границы делянок на лесозаготовительные планшеты. Однако информация по вырубкам, ежегодно поступающая от них в государственный лесной реестр, пространственной привязки не имеет. Поэтому на текущий момент только тематическое ландшафтное дешифрирование способно дать общую пространственную картину антропогенной динамики лесных сообществ в межревизионный период лесозаготовительного хозяйства. Необходимо подчеркнуть, что каких-либо прямых или косвенных признаков крупных естественных нарушений в пределах исследуемой территории не наблюдается. Лесные экосистемы национального парка выглядят стабильными.

*Таблица 2.* Результаты статистического анализа площадной (га) структуры экосистем Онежского п-ова по состоянию на 1987 и 2018 гг.

Группа слоёв	1987 г.	2018 г.	1987–2018 гг.	%
Лиственные насаждения	30 123	34 663	4 540	15,1
Сосняки	94 185	90 875	–3 310	–3,5
Ельники	156 723	128 791	–27 933	–17,8
Болота	66 238	56 096	–10 143	–15,3
Свежие вырубки	1 418	5 089	3 671	258,9
Возобновившиеся вырубки	22 579	48 686	26 108	115,6
Водоёмы	15 349	15 168	–182	–1,2
Прочие земли	6 327	9 828	3 501	55,3
Итого	392 942	389 196	–3 747	–1,0

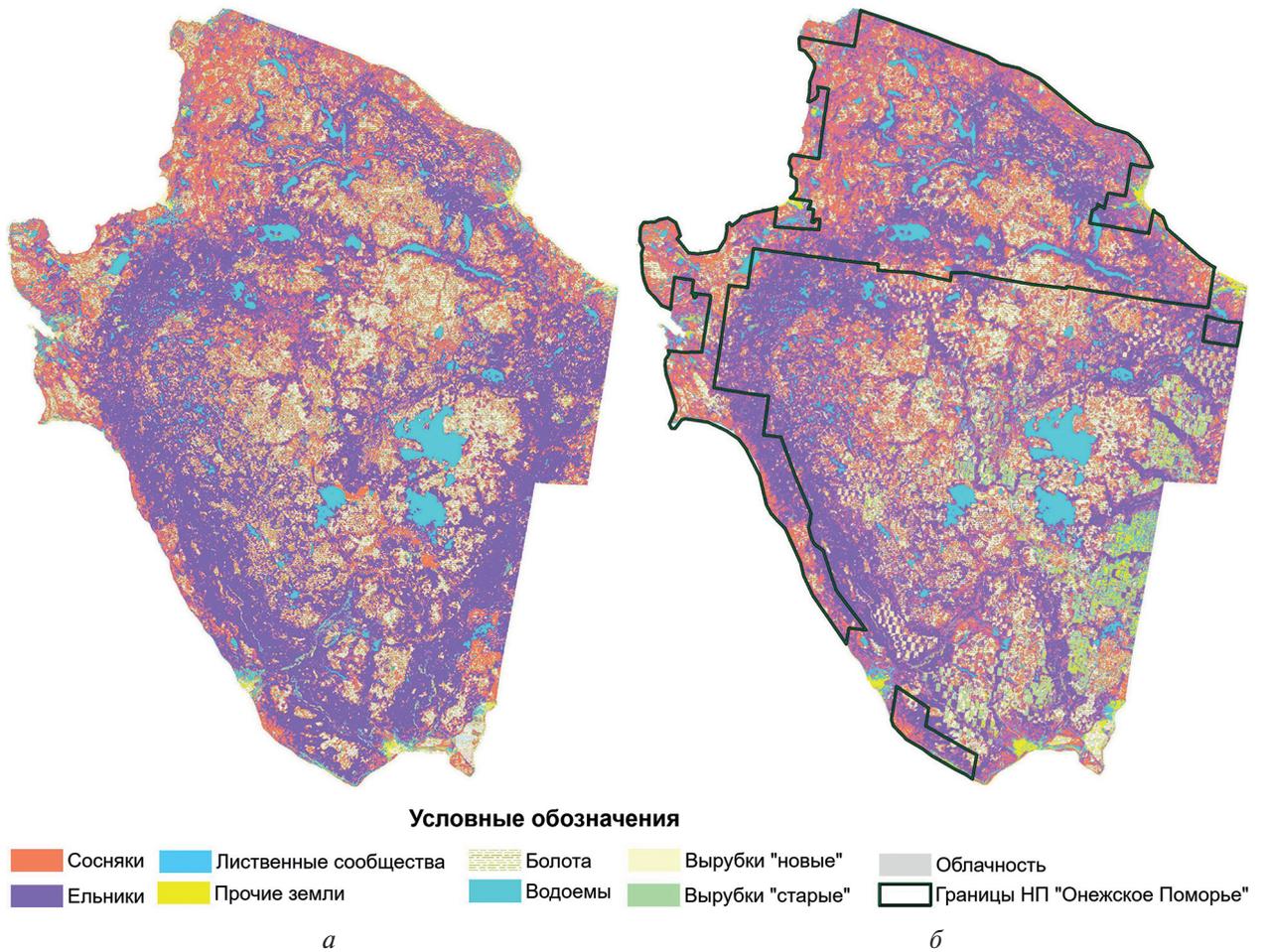


Рис. 3. Результаты дешифрирования данных ДЗ: *a* — 1987 г.; *б* — 2018 г.

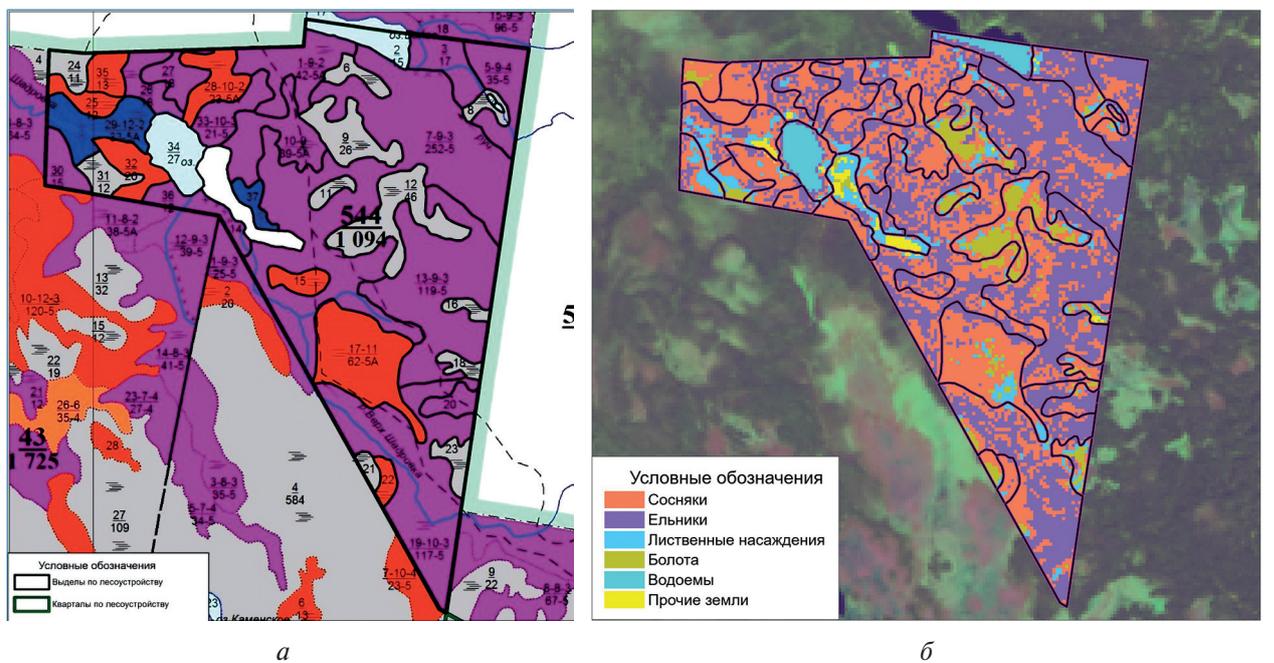


Рис. 4. Границы выделов (*a*) и результаты дешифрирования (*б*).  
НП «Онежское Поморье», кв. 544

Для оценки позиционной точности полученных результатов дешифрирования были созданы контрольные цифровые выделительные данные по имеющимся материалам лесоустройства. Растровые фрагменты планов лесонасаждений зарегистрированы в универсальной проекции Меркатора (*англ.* Universal Transverse Mercator — UTM) (UTM-N-37, север, 37-я зона) по геометкам пересечений сети квартальных просек, которые нанесены по стандартным листам топографической карты масштаба 1:100 000. Результат векторизации лесотаксационных выделов контрольного квартала (№ 544) по плану лесонасаждений и фрагмент результатов дешифрирования представлены на *рис. 4* (см. с. 151).

Визуально оценивая достоверность интерпретации космоснимков, следует отметить, что полученная картограмма с точки зрения локализации объектов (см. *рис. 4б*) хорошо согласуется с планом лесонасаждений, раскрашенным по преобладающим породам (масштаб 1:50 000). Принципиальная разница между ними заключается в том, что лесоустроительные планы — это результат объектно-ориентированного подхода. В соответствии с принятой палитрой цветов раскраска хозяйственных участков (выделов) на плане лесонасаждений показывает только преобладающую по запасу породу. Породный состав и структура древостоя оказываются в этом случае скрытыми. Векторные тематические слои представляют с собой итог попиксельной классификации с её дальнейшей постклассификационной обработкой, что позволяет отражать породную неоднородность выдела. На *рис. 4б* также видно, что контуры выделов смещены относительно границ объектов на дешифрированном изображении, что объясняется погрешностями при составлении лесоустроительных картографических материалов.

Оценка тематической достоверности картографирования (Курбанов, Воробьев, 2020) была выполнена путём построения матрицы неточностей (*табл. 3*).

Таблица 3. Матрица неточностей результатов классификации (пиксели)

Номер класса	Наименование	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Итого
1	Березняки	41	458	41	0	6	2	0	12	37	5	0	0	0	602
2	Болото	0	2025	1	0	0	0	0	13	41	0	194	0	0	2 274
3	Елово-лиственные насаждения	22	10	66	5	0	0	5	0	20	0	0	0	0	128
4	Ельники	0	4	33	121	0	0	0	0	34	0	0	0	0	192
5	Луг	28	4	2	0	11	1	2	0	2	0	0	0	0	50
6	Населённый пункт	2	10	0	0	0	24	0	0	0	0	619	0	0	655
7	Осинники	17	0	11	0	1	0	6	0	0	0	0	0	0	35
8	Сосна по болоту	1	469	0	0	1	0	0	38	2	0	21	0	0	532
9	Сосняки	69	1466	117	32	2	0	1	3	385	0	18	0	0	2 093
10	Прочие земли	0	0	0	0	0	0	0	0	0	767	0	0	0	767
11	Возобновившиеся вырубki	0	1871	0	0	0	0	0	25	26	0	636	182	0	2 740
12	Свежие вырубki	0	0	0	0	0	0	0	0	1	177	0	1606	0	1 784
13	Внутренний водоём	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14 222	14 222
	Итого	180	6317	271	158	21	27	14	91	548	949	1488	1788	14 222	26 074

В столбцах матрицы приводятся результаты классификации по классам контрольных эталонов, а в строках — по всей их совокупности. Результаты обработки данных матрицы неточностей представлены в *табл. 4*.

Общая достоверность (*англ.* overall accuracy, общая точность) классификации, рассчитываемая как частное от деления числа правильно классифицированных пикселей (диагональ матрицы) на общее число пикселей в контрольных эталонах, составила 76,5 %.

Таблица 4. Показатели точности результатов дешифрирования

Номер класса	Наименование	Ошибка пропуска, %	Ошибка допуска, %	Точность производителя, %	Точность пользователя, %
1	Березняки	93,19	77,22	22,78	6,81
2	Болото	10,95	67,94	32,06	89,05
3	Елово-лиственные насаждения	48,44	75,65	24,35	51,56
4	Ельники	36,98	23,42	76,58	63,02
5	Луг	78,00	47,62	52,38	22,00
6	Населённый пункт	96,34	11,11	88,89	3,66
7	Осинники	82,86	57,14	42,86	17,14
8	Сосна по болоту	92,86	58,24	41,76	7,14
9	Сосняки	81,61	29,74	70,26	18,39
10	Прочие земли	0,00	19,18	80,82	100,00
11	Возобновившиеся вырубки	76,79	57,26	42,74	23,21
12	Свежие вырубки	9,98	10,18	89,82	90,02
13	Внутренний водоём	0,00	0,00	100,00	100,00

Ошибка пропуска (*англ.* commission, %) вычислялась как доля недиагональных пикселей в рядах матрицы, а ошибка допуска (*англ.* omission, %) — как доля недиагональных элементов в её столбцах. Здесь стоит отметить, что далеко не всегда следует трактовать указанные доли в качестве однозначной ошибки. Например, ель вполне закономерно могла быть классифицирована и в структуре эталонов елово-лиственных насаждений, и в эталонах сосняков черничных. Сказанное справедливо не только в отношении ели, но и в отношении сосны, берёзы и осины. Перечисленные породы классифицируются и реально могут присутствовать в составе ряда классов. Тем не менее структура ошибки допуска в ряде случаев чётко указывает, где происходит существенное перепутывание категорий, свидетельствующее о перекрытии диапазонов спектральной отражательной способности классов. Так, например, 29,6 % пикселей контрольных эталонов класса «болото» было классифицировано как возобновившаяся вырубка и ещё 23,2% — как класс «сосняки». Сказанное объясняет, почему площадь болот по результатам дешифрирования снимка 2018 г. оказалась меньше аналогичного показателя за 1987 г. Невысокая точность также отмечена и для класса «березняки». Анализ матрицы неточностей показывает, что при классификации летних снимков, сделанных во второй половине вегетационного периода, происходит перепутывание данного класса с классом «сосняки».

Точность производителя (*англ.* producer's accuracy) рассчитывалась как доля правильно классифицированных пикселей по отношению к общему числу пикселей в контрольных эталонах данного класса, а точность пользователя (*англ.* user's accuracy) — как доля правильно классифицированных пикселей по отношению к общему числу пикселей данного класса, классифицированных во всех эталонах. В аспекте данных показателей следует отметить высокую достоверность дешифрирования таких классов, как «ельники» и «свежие вырубки».

Для того чтобы внести поправку на элемент случайности в результатах правильной классификации, используется так называемый коэффициент  $\kappa$  — Каппа Коэна. В нашем случае его величина составила  $\kappa = 0,65$ , что позволяет оценить уровень достоверности проведённой классификации как хороший (Малышева, 2012) или значительный (Курбанов, Воробьев, 2020).

## Заключение

Результаты, изложенные в настоящей статье, свидетельствуют, что дешифрирование разновременных многозональных снимков среднего разрешения спутниковой программы Landsat

методом «ближайшего соседа» позволило со значительной точностью сформировать пространственную модель динамики растительных сообществ Онежского п-ова. При наличии актуальных материалов инвентаризации лесов в ГИС-форматах такого рода модели могли бы быть разработаны на гораздо более высоком уровне. Учитывая труднодоступность территории полуострова, а также тот факт, что давность лесоустройства в исследуемой зоне составляет не менее 30 лет, можно заключить, что в настоящее время только использование данных ДЗ способно в короткие сроки и при относительно невысоких затратах дать визуализацию итогов антропогенной трансформации лесного покрова исследуемой территории.

Анализ изменения площадной структуры растительных сообществ полуострова за более чем 30-летний период выявил существенное уменьшение (на 17,8 %) общей площади еловых насаждений при кратном увеличении площадей вырубок и лиственных насаждений. Выявленные закономерности отражают основные итоги многолетней эксплуатации природных популяций основных хвойных лесобразующих пород Онежского п-ова. Лесопользование по экстенсивному типу неизбежно приводит к увеличению доли лиственных насаждений в структуре лесного фонда и формированию обширных массивов производных лесов, характеризующихся значительным участием лиственных видов. Можно предположить, что, по всей видимости, основная часть продуктивных спелых и перестойных эксплуатационных лесов Онежского п-ова уже освоена и интенсивность лесозаготовительной деятельности в этом районе в ближайшие годы будет снижаться.

Организация в 2013 г. НП «Онежское Поморье» и исключение данной территории из хозяйственного оборота способствовали сохранению малонарушенных ландшафтов в северной части полуострова и вдоль его западного побережья. Проведённое дешифрирование не выявило здесь следов крупных катастрофических нарушений природного характера (пожары и ветровалы), что позволяет оценивать их состояние как стабильное.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств гранта Российского фонда фундаментальных исследований «Арктика» № 18-05-60296, а также из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН (№ 0185-2019-0094).

## Литература

1. *Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
2. *Ершов Д. В., Гаврилюк Е. А., Карпущина Д. А., Ковганко К. А.* Новая карта растительности центральной части Европейской России по спутниковым данным высокой детальности // Докл. Академии наук. 2015. Т. 464. № 5. С. 639–641.
3. *Курбанов Э. А., Воробьев О. Н.* Дистанционные методы в лесном хозяйстве: учеб. пособие. Йошкар-Ола, 2020. 266 с.
4. Леса центра и севера Европейской России: карта. 1:4 500 000 / ред. Ярошенко А. Ю., Добрынин Д. А., Егоров А. В., Журавлева И. В., Маниша А. Е., Потапов П. В., Турубанова С. А., Хакимулин Е. В. М., 2008. URL: [http://forestforum.ru/info/map\\_for\\_print.pdf](http://forestforum.ru/info/map_for_print.pdf) (дата обращения: 27.06.2021).
5. *Мальшева Н. В.* Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУЛ, 2012. 154 с.
6. Программа обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v.5.1: Руководство пользователя. М.: ИТЦ «СКАНЭКС», 2019. 244 с.
7. *Bartalev S. A., Belward A. S., Ershov D. V., Isaev A. S.* A New Spot4-Vegetation Derived Land Cover Map of Northern Eurasia // Intern. J. Remote Sensing. 2003. V. 24. No. 9. P. 1977–1982.
8. *Lerink B., Hassegawa M., Kryshen A., Kovalev A., Kurbanov E., Nabuurs G.-J., Moshnikov S., Verkerk P.* Climate-Smart Forestry in Russia and potential climate change mitigation benefits // Russian Forests and Climate Change. What Science Can Tell Us / European Forest Inst. 2020. P. 73–103.
9. *Zamolodchikov D., Shvidenko A., Bartalev S., Kulikova E., Held A., Valentini R., Lindner M.* State of Russian forests and forestry // Russian Forests and Climate Change. What Science Can Tell Us / European Forest Inst. 2020. P. 17–44.

## Inventory of the current state and changes in vegetation cover of the Onega Peninsula using staggered Landsat images

B. V. Raevsky, V. V. Tarasenko, N. V. Petrov

*Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk 185000, Russia*  
E-mails: *borisraevsky@gmail.com, victor.tarasenko.2208@mail.ru,*  
*nikolay\_evrika@mail.ru*

Development of digital maps of boreal zone vegetation based on remote sensing data interpretation is of the utmost significance for monitoring native and anthropogenic dynamics of northern Russia forest ecosystems. Revealing an actual state and qualitative changes of a forest cover at regional and local levels enable to reach a wide range of sustainable development targets. Interpretation of staggered (1987 and 2018) Landsat multispectral images by the supervised classification method (k-NN — nearest neighbor analysis) has allowed to develop spatial model of Onega Peninsula vegetation cover. The changes detected within the period of more than 30 years revealed substantial reduction in spruce forests area (17,8 %) along with fold growth of clear cutting and deciduous stands' areas. Revealed peculiarities of anthropogenic activities allowed drawing a conclusion that most of productive spruce stands here have been cut over during the last three decades. So, it is very likely that the intensity of logging operation in the peninsula will go down in the nearest future. Within the investigated period native landscapes of the National Park "Onezhskoe Pomorie" had the luck to avoid large scale catastrophic events. So, at the moment most of them look stable.

**Keywords:** multispectral space images, supervised classification, Landsat program, vegetation spatial dynamics, forests, remote sensing data, interpretation

Accepted: 02.10.2021

DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-145-155

### References

1. Bartalev S. A., Egorov V. A., Jarko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V., *Sputnikovoe katogirovanie rastitelnogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p. (in Russian).
2. Ershov D. V., Gavrilyuk E. A., Karpukhina D. A., Kovganko K. A., A new map of the vegetation of central European Russia based on high-resolution satellite data, *Doklady Biological Sciences*, 2015, Vol. 464, No. 1, pp. 251–253.
3. Kurbanov E. A., Vorobev O. N., *Distantsionnye metody v lesnom khozyaistve* (Remote sensing in forestry), Yoshkar-Ola, 2020, 266 p. (in Russian).
4. *Lesnaya tsentral'naya i severnaya Evropeiskoi Rossii: karta, 1:4 500 000* (Forests of the central and north parts of European Russia: map, 1:4 500 000), Yaroshenko A. Yu., Dobrynin D. A., Egorov A. V., Zhuravleva I. V., Manisha A. E., Potapov P. V., Turubanova S. A., Khakimulin E. V. (eds.), Moscow, 2008, available at: [http://forestforum.ru/info/map\\_for\\_print.pdf](http://forestforum.ru/info/map_for_print.pdf) (accessed: 27.06.2021, in Russian).
5. Malysheva N. V., *Avtomatizirovannoe deshifirovanie aerokosmicheskikh izobrazhenii lesnykh nasazhdenii* (Automatic interpretation of forests' remote sensing data), Moscow: Izd. MGUL, 2012, 154 p. (in Russian).
6. *Remote Earth Sensing Data Processing Program ScanEx Image Processor v.5.1, User Manual*, SCANEX ITC, Moscow, 2019, 244 p. (in Russian).
7. Bartalev S. A., Belward A. S., Ershov D. V., Isaev A. S., A New Spot4-Vegetation Derived Land Cover Map of Northern Eurasia, *Intern. J. Remote Sensing*, 2003, Vol. 24, No. 9, pp. 1977–1982.
8. Lerink B., Hasegawa M., Kryshen A., Kovalev A., Kurbanov E., Nabuurs G.-J., Moshnikov S., Verkerk P., Climate-Smart Forestry in Russia and potential climate change mitigation benefits, In: *Russian Forests and Climate Change, What Science Can Tell Us*, European Forest Institute, 2020, pp. 73–103.
9. Zamolodchikov D., Shvidenko A., Bartalev S., Kulikova E., Held A., Valentini R., Lindner M., State of Russian forests and forestry, In: *Russian Forests and Climate Change. What Science Can Tell Us*, European Forest Institute, 2020, pp. 17–44.