

## Изучение лесовосстановления на основе спутниковых снимков высокого разрешения

© 2021. Е. А. Домнина<sup>1,2</sup>, к. б. н., с. н. с., доцент,  
Т. А. Адамович<sup>1</sup>, к. г. н., доцент, А. С. Тимонов<sup>1,2</sup>, н. с., инженер,  
Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

<sup>1</sup>Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,  
<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук,  
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,  
e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

Для изучения и анализа процесса лесовосстановления в работе использованы спутниковые снимки высокого разрешения с аппарата WorldView-2 с пространственным разрешением 0,5–1,0 м, сделанные в период с 2007 по 2020 гг. и размещённые в открытом доступе на интернет ресурсе Google Earth Pro. Снимки выбраны на даты (конец весны – лето – начало осени), обеспечивающие анализ временного ряда в период наличия листвы на древесных растениях. Изучение лесовосстановления проводили в Оричевском районе Кировской области. Объекты исследований – участки рубок в лесных массивах.

Распознавание на снимках вырубок и стадий последующего лесовосстановления выполнялось методом визуального выявления прямых дешифровочных признаков: яркостные (фототон, цвет), геометрические (форма, тень, размер), структурные (текстура, структура, рисунок). Для идентификации выявленных по дешифровочным признакам объектов проведены полевые наблюдения.

Анализ временной серии космоснимков высокого разрешения в совокупности с полевыми наблюдениями на исследуемых участках позволил выявить характерные дешифровочные признаки для оценки отдельных стадий лесовосстановления. Это позволило реконструировать хронологию и степень зарастания вырубок древесно-кустарниковой и травянистой растительностью, а также оценить качество лесовосстановления. Наиболее информативными являются спутниковые снимки, сделанные в осенний период, когда листья изменили цвет, но не облетели, а также весенние снимки, когда снег уже сошёл, но ещё нет зелени от травянистых растений. Текстурированный рисунок в совокупности с фототонном позволяет определить состояние лесных культур. На снимках отчётливо проявляется зарастание вырубок лиственными породами, поэтому есть возможность вовремя принять меры и получить насаждения с целевыми характеристиками. Результаты исследования можно использовать при переводе земель, предназначенных для лесовосстановления, в земли, занятые лесными насаждениями.

Предложенная в работе методика позволяет сделать оценку лесовосстановления, совершенствовать систему мониторинга лесных насаждений.

**Ключевые слова:** лесные насаждения, мониторинг воспроизводства лесов, космические снимки, лесовосстановление.

## Reforestation study based on high resolution satellite imagery

© 2021. E. A. Domnina<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-5063-8606, T. A. Adamovich<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-8684-927X,  
A. S. Timonov<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0001-8560-3051, T. Ya. Ashikhmina<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0003-4919-0047,  
<sup>1</sup>Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

<sup>2</sup>Institute of Biology of Komi Science Centre  
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,  
e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

To study and analyze the reforestation process, we used high-resolution satellite images from the WorldView-2 apparatus with a spatial resolution of 0.5–1.0 m, made in the period from 2007 to 2020 and posted in the public domain on the Internet resource Google Earth Pro. The images were selected for dates (late spring – summer – early autumn), providing an analysis of the time series during the period of foliage on woody plants. The study of

reforestation was carried out in the Orichevsky district of the Kirov region. The objects of research are the felling areas in woodlands.

Recognition of clearings and stages of subsequent reforestation in the images was carried out by the method of visual identification of direct deciphering signs: brightness (phototone, color), geometric (shape, shadow, size), structural (texture, structure, pattern). At the same time, their change was analyzed within the same area in time, as well as taking into account the season of the year. Field observations were carried out to identify the objects revealed by decoding characteristics.

The analysis of a time series of high-resolution satellite images in conjunction with field observations in the studied areas made it possible to identify characteristic deciphering signs for assessing separate stages of reforestation. This made it possible to reconstruct the chronology and degree of overgrowing of felling areas with trees, shrubs and herbaceous vegetation, as well as to assess the quality of reforestation. The most informative are satellite images taken in the autumn, when the leaves changed color, but did not fly around, as well as spring images, when the snow has already melted, but there is still no greenery from herbaceous plants. The texture pattern in conjunction with the phototone allows you to determine the state of forest cultures. The images clearly show the overgrowth of clearings with deciduous species, so there is an opportunity to take timely measures and get plantings with target characteristics. The results of the study can be used when converting lands intended for reforestation into lands occupied by forest plantations.

The methodology proposed in the work makes it possible to assess reforestation quality, improve the monitoring system of forest plantations.

**Keywords:** forest plantations, monitoring of forest reproduction, satellite imagery, reforestation.

На протяжении длительного периода эксплуатации лесов на севере Русской равнины наблюдается повсеместная смена пород: сосна замещается елью и берёзой, ель – берёзой и осиной. Для предотвращения негативных последствий следует уделять пристальное внимание созданию и формированию насаждений с целевыми характеристиками на этапе лесовосстановления и формирования хвойных молодняков [1].

В последние десятилетия во всём мире дистанционный мониторинг за состоянием роста и продуктивности лесных насаждений является активно развивающейся областью научных исследований [2–5]. В первую очередь, это связано с широкой доступностью для учёных и специалистов спутниковых снимков среднего и высокого разрешений, а также быстро развивающимся рынком программных продуктов по работе с данными дистанционного зондирования.

Большой практический интерес у арендаторов леса и работников лесничеств вызывают тематические карты динамики роста молодняков искусственного и естественного происхождения, сделанные на основе разновременных спутниковых снимков [6–8]. Такие сведения позволяют отслеживать происходящие изменения, оценивать качество лесовосстановительных работ, планировать проведение лесохозяйственных мероприятий по уходу за молодыми насаждениями, а также совершенствовать прогнозы развития лесных ландшафтов и территорий [9].

Мониторинг воспроизводства лесов охватывает весь цикл лесохозяйственных мероприятий, начиная от мониторинга вырубок, лесных пожаров, ветровалов, а также других

факторов и их последствий, вызывающих изменения в лесном покрове (деградации лесов), и заканчивая мониторингом лесовосстановления [11–15].

На вырубках осуществляется искусственное или естественное лесовосстановление с учётом действующих правил [16]. В последующем выделяют следующие этапы: оценка лесных насаждений, требующих лесовосстановления; перевод земель в лесопокрытую площадь при достижении древесными насаждениями определённых характеристик [16–18].

Спутниковый мониторинг позволяет оценивать восстановление лесов для перевода их в лесопокрытую площадь и для назначения в дальнейшем рубок ухода. Учитывая, с одной стороны, труднодоступность и масштабность вырубок, а с другой – необходимость контроля результативности (эффективности) лесовосстановительных работ, особенно актуальна разработка методов мониторинга и оценки лесовосстановления по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Целью работы является разработка методических подходов по оценке лесовосстановления с использованием спутниковых снимков высокого разрешения.

### Материалы и методы исследования

Для анализа и оценки лесовосстановления использованы спутниковые снимки с космического аппарата WorldView-2 с пространственным разрешением 0,5–1,0 м, сделанные в период с 2007 по 2020 гг. и размещённые в открытом доступе на интернет ресурсе Google Earth Pro. Снимки выбраны на даты (конец

весны – лето – начало осени), обеспечивающие анализ временного ряда в период наличия листвы на древесных растениях [19].

Изучение лесовосстановления проводилось в подзоне южной тайги с преобладанием в растительном покрове сосновых и смешанных лесов. Объекты исследований – участки рубок в лесных массивах – выбраны исходя из наличия на эти территории разновременных спутниковых снимков высокого разрешения, охватывающих период лесовосстановления от 10 лет. Всего выбрано три участка, находящиеся в Оричевском районе Кировской области.

Участок 1 расположен в сосновом лесу бруснично-зеленомошном. На участке зимой 2013 г. проведены чересполосные рубки шириной 35–38 м с оставленными невырубленными полосами такой же ширины.

Участок 2 – сосновый лес бруснично-зеленомошный, в котором имеются две рубки: одна шириной порядка 90 м, другая – 140 м.

Участок 3 расположен в сосняке вейниково-разнотравном. На этом участке была проведена сплошная рубка в 2005–2006 гг.

Распознавание на снимках рубок и стадий последующего их лесовосстановления выполнялось методом визуального выявления прямых дешифровочных признаков: яркостные (фототон, цвет), геометрические (форма, тень, размер), структурные (текстура, структура, рисунок). При этом анализировалось их изменение в пределах одного и того же участка во времени, а также с учётом сезона года.

Для идентификации выявленных по дешифровочным признакам объектов в мае 2021 г. проведены полевые наблюдения (заверка результатов дешифрирования). Они включали определение преобладающих видов растений и их состояние, которые, так или иначе, проявляются на снимках.

## Результаты и обсуждение

Наиболее распространённым способом рубок в лесном хозяйстве России являются сплошные рубки, при которых происходит полное изъятие древостоя или сохраняются отдельные деревья. Важнейшим геометрическим признаком рубок является наличие прямых углов (часто – вообще прямоугольная форма) [20]. В процессе лесовосстановления рубки либо зарастают полезной древесной растительностью и через некоторое время перестают каким-либо образом выделяться среди окружающих участков леса, либо зарастают

сорными (для леса) растениями (травянистыми, кустарниковыми и мелколиственными).

На серии разновременных спутниковых снимков участка 1 (рис. 1, см. цв. вкладку I) видно состояние растительного покрова до рубки (рис. 1а) и динамика его зарастания после рубки в течение 9 лет (рис. 1б–f).

Рубки дешифрируются по однородному светлому тону (цвету) и относительно гладкому текстурному рисунку.

На снимке от 04.07.2013 (рис. 1б) отчетливо наблюдаются плужные борозды в виде светлых параллельных полос с интервалом порядка 4–5 м. В дно плужных борозд в начале лета 2013 г. проведена посадка саженцев сосны. На снимке от 12.09.2014 (рис. 1с) хорошо виден однородный зелёный фон разросшихся травянистых растений с отчетливыми узкими следами борозд. На весенних снимках 2018 и 2020 гг. (рис. 1d, e) рубки имеют общий светло-серый и желтоватый фототон; плужные полосы едва заметны. На снимке от 02.10.2020 г. (рис. 1f) также наблюдается общий зеленовато-бурый фототон, плужных полос и рядов растительности практически не видно; можно лишь заметить отдельные тёмные точки. На этом же снимке отчетливо выделяются ярко-жёлтые пятна.

При полевом обследовании в мае 2021 г. установлено, что рубки заросли вейником и берёзой (рис. 2, см. цв. вкладку I), что и обуславливает общий зелёный тон на раннеосеннем снимке 2014 г. и светло-серый и желтоватый фон на весенних и осенних снимках 2018 и 2020 гг. Наблюдаемые отдельные тёмные точки на спутниковых снимках 2018 и 2020 гг. – это единичные 7–8-летние деревья сосны обыкновенной (рис. 2).

Источником семенного материала являются произрастающие рядом с рубками отдельные старовозрастные берёзы и их группы, которые на осеннем снимке отчетливо выделяются жёлтыми пятнами среди тёмно-зелёных крон сосен (рис. 1f).

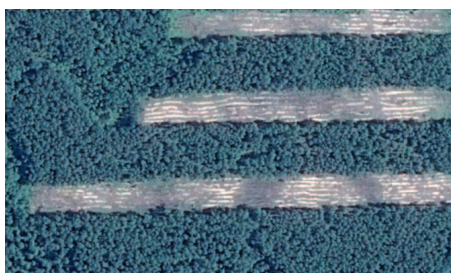
Саженцы, высаженные в дно борозд, оказались преимущественно ниже берёз. Осенью побеги вейника полегли на сеянцы, а после выпадения снега согнули их, придавили к земле и практически сделали в основной массе нежизнеспособными.

Анализ 10-летнего ряда спутниковых снимков показал, что исследуемые рубки выделяются на общем тёмно-зелёном бугристом фоне леса очень светлыми участками с более-менее ровным текстурным рисунком (рис. 1f), почти не меняющимся во времени.





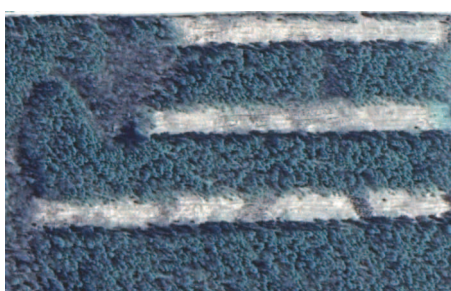
a) 08.05.2011



b) 04.07.2013



c) 12.09.2014



d) 13.05.2018



e) 11.05.2020



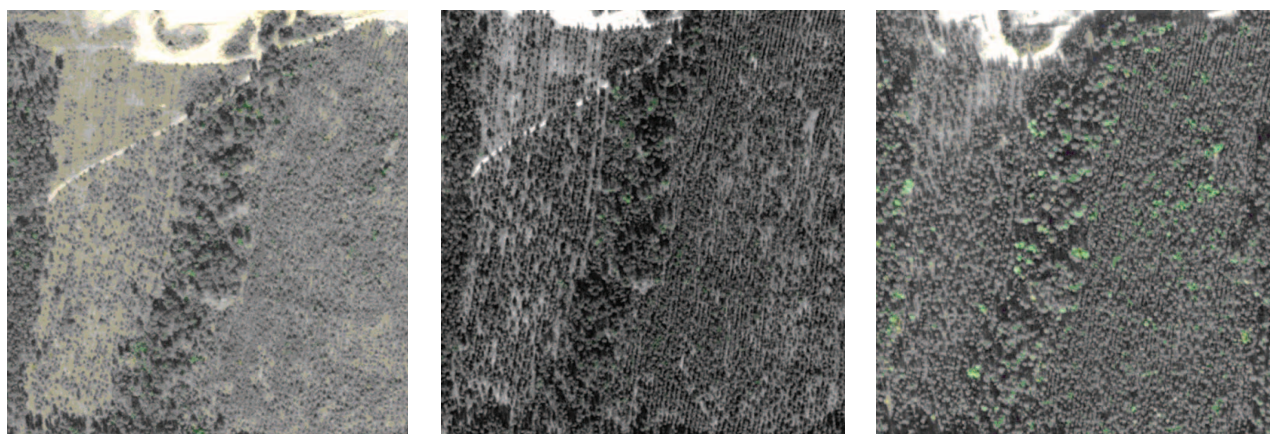
f) 02.10.2020

**Рис. 1.** Лесовосстановление на чересполосных рубках (участок 1)  
**Fig. 1.** Reforestation in striped felling (site 1)



**Рис. 2.** Единичные 7–8-летние сосны в гуще берёз и вейника на участке 1 (май 2021 г.)  
**Fig. 2.** Single 7–8-year-old pines in the thick of birches and herbaceous plants on site 1 (May 2021)

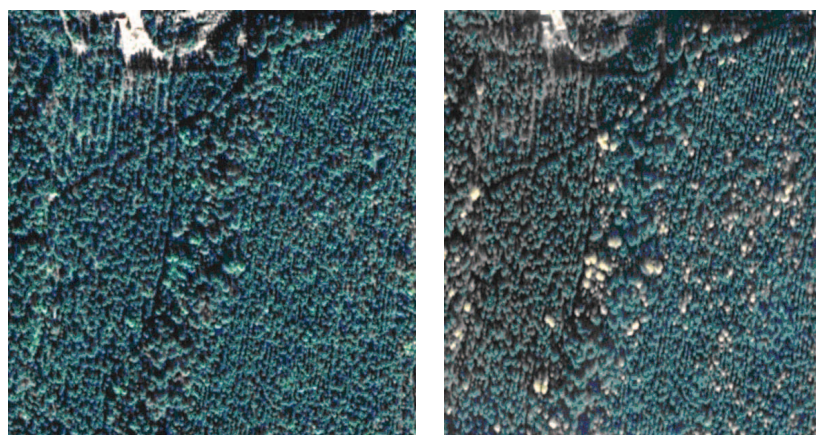




a) 02.06.2007

b) 08.05.2011

c) 12.09.2014



d) 10.09.2018

e) 29.09.2020

**Рис. 3. Этапы лесовосстановления после сплошной рубки (участок 2)**  
**Fig. 3. Different stages of reforestation after clear felling (site 2)**

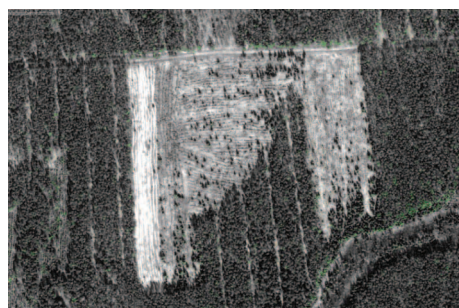


**Рис. 4. Посадки сосны обыкновенной на участке 2 (май 2021 г.)**  
**Fig. 4. Planting pine on site 2 (May 2021)**





a) 02.06.2007



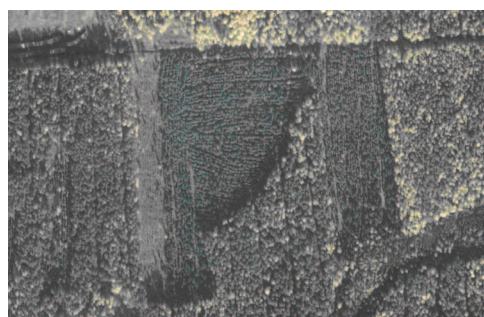
b) 08.05.2011



c) 04.07.2013



d) 13.05.2018



e) 29.09.2020

**Рис. 5. Стадии лесовосстановления после сплошной рубки (участок 3)  
Fig. 5. Reforestation stages after clear felling (site 3)**



**Рис. 6. Состояние лесовосстановления на дополнительной вырубке участка 3 (май 2021 г.)  
Fig. 6. The state of reforestation at the additional felling site 3 (May 2021)**

Видно также, что выделяющиеся на первых снимках борозды постепенно исчезают. Всё это свидетельствует об отсутствии ухода за лесными культурами [21].

Даже если посадка была проведена правильно и саженцы нормально прижились, то при отсутствии агротехнических уходов, которые должны обеспечивать защиту от конкурирующей и затеняющей травянистой растительности, а также быстрорастущих лиственных деревьев и кустарников, лесовосстановления должным образом не произошло.

Таким образом, по данным ДЗЗ и полевых наблюдений лесовосстановление на участке 1 можно считать неудовлетворительным.

На рисунке 3 (см. цв. вкладку II) представлены космоснимки участка 2, сделанные в период с 2007 по 2020 гг. Вырубки чётко видны на снимке 2007 г. (рис. 3а).

На спутниковых снимках 2007 и 2011 гг. (рис. 3а и 3б) хорошо прослеживаются борозды, которые отчётливо трассируются цепочками зелёных точек (рис. 3а). Это саженцы сосны. На рисунке 3б можно отметить смыкание этих точек (крон деревьев) в ряду, а на снимке 2011 г. (рис. 3с) заметно смыкание крон деревьев между рядами, что ориентировочно соответствует возрасту посадок, равному 14 лет. Участки вырубки, где саженцы погибли, отличаются однородным светло-зелёным цветом. Больше всего таких площадей на северо-западе участка. Однородный тёмно-зелёный тон древостоя на летних и раннеосенних космоснимках может приниматься как сформировавшийся на вырубке однородный массив сосны. Однако на позднеосеннем снимке (рис. 3е) на однородном тёмно-зелёном фототоне соснового древостоя наблюдаются единичные жёлтые пятна – кроны берёз.

Границы вырубки отличаются чёткостью даже после появления на них молодого леса и постепенно сглаживаются после 25-летнего возраста (рис. 3е).

Полевые наблюдения показали, что сосны на восстанавливающейся вырубке имеют возраст 25–26 лет. Рубки осветления, направленные на регулирование густоты древостоя и улучшение роста деревьев (предусмотренные в Приказе Минприроды России от 22 ноября 2017 г. № 626) здесь не проводились (рис. 4, см. цв. вкладку II).

В целом, лесовосстановление на данном участке можно характеризовать как удовлетворительное.

Анализ разновременных космических снимков участка 3 (рис. 5, см. цв. вкладку III)

позволяет установить динамику зарастания сплошной рубки, которая была проведена в 2005–2006 гг. Границы вырубки так же, как и на участке 2, остаются заметными даже после появления на них молодого леса.

На снимках 2007–2013 г. (рис. 5а, б, с) отчётливо наблюдаются параллельные полосы с расстоянием 4–5 м субмеридионального (в западной и восточной частях) и субширотного (в центральной части) направлений, а также отдельные тёмные точки, расположенные более-менее равномерно или группами. На местности первые представлены бороздами, в которые произведена посадка саженцев сосны, а вторые – отдельными взрослыми соснами или куртинами деревьев, выполняющими роль обсеменителей для содействия естественному лесовозобновлению.

На снимке 2013 г. (рис. 5с) видны цепочки зелёных точек по бороздам, сливающихся в отдельных местах в линию. Эти точки на местности представлены кронами молодых деревьев, а линии – участками сомкнутых крон. На снимке 2018 г. (рис. 5d) отмечаются тёмно-зелёные бугристые полосы, что указывает на смыкание крон молодых деревьев в ряду, а на снимке 2020 г. (рис. 5е) – смыкание крон деревьев между рядами. На этом же снимке, как и на снимках ранее описанных участков (2020 г.), среди лесного массива чётко видны отдельные жёлтые пятна или группы пятен. При полевых наблюдениях установлено, что это лиственные деревья: берёзы и осины. Причём в насаждениях их практически нет.

В целом с момента проведения вырубки в 2005–2006 гг. и за период до 2020 г. на изучаемой территории практически сформировался монодоминантный древесный покров.

На космоснимке 2011 г. (рис. 5б) в западной части вырубки отчётливо видна светлая полоса шириной порядка 40 м (которая отсутствует на снимке 2007 г.). Это новая вырубка, непосредственно примыкающая к основной. На снимке (рис. 5б) наблюдаются белые субпараллельные полосы с интервалом 3,5–5 м и единичные чётко выраженные точки. Первые – это нарезанные борозды, сделанные при проведении мероприятий по искусственному лесовосстановлению, а вторые – одиночные деревья сосны (семенники), оставленные для содействия естественному лесовосстановлению.

Анализ космоснимков 2013–2020 гг. (рис. 5с, d, e) свидетельствует о том, что эта вырубка практически не меняет своего облика ни по общему текстурному рисунку, ни по

общему равномерному фототону, за исключением того, что борозды становятся всё менее заметными. Общий вид разновозрастного ряда спутниковых снимков этой части территории аналогичен таковому на участке 1.

При полевом обследовании в мае 2021 г. установлено, что вырубка на участке 3 заросла берёзой и травянистой растительностью (преимущественно вейником) (рис. 6, см. цв. вкладку III), хотя в бороздах имеются единичные сосны возрастом 5–7 лет и ели.

Следовательно, на этой части вырубки, как и на вырубке участка 1, лесовосстановление прошло неудовлетворительно.

Анализ временной серии спутниковых снимков с космических аппаратов позволил детально реконструировать хронологию зарастания вырубок на участках 1–3 древесно-кустарниковой растительностью и выявить отдельные стадии этого процесса.

Состав возобновления вырубок на цветных космических снимках определяется по цветовому тону. Особенно контрастно это видно на осенних снимках, удачно сделанных в определённую фенофазу (листья пожелтели, но ещё не опали), когда хвойные породы имеют тёмно-зелёный цвет, а лиственные – от жёлтого до оранжевого (рис. 1f, 3e, 5e). Другим индикатором пространственно-временной неоднородности протекания сукцессии за период дистанционного мониторинга является динамика плотности деревьев на исследуемом участке. Участки вырубок на снимках дешифрируются достаточно хорошо, так же, как и площади вырубок с созданными на них лесными культурами.

Оценка качества, эффективности достигнутого уровня лесовосстановления осуществляется в течение довольно длительного периода – от создания лесных культур и проведения мер содействия естественному возобновлению, перевода молодняков в покрытые лесной растительностью земли лесного фонда до рубки леса в возрасте спелости. Наиболее уязвимым для процесса лесовосстановления является этап молодняков, продолжающийся со времени посадки до 10-летнего возраста. Именно в этот период необходимо проводить работы по уходу за молодняками с одновременным осуществлением дистанционного мониторинга на основе спутниковых снимков сверхвысокого разрешения.

### Заключение

Анализ временной серии космоснимков сверхвысокого разрешения, находящихся

в открытом доступе, в совокупности с единичными полевыми наблюдениями на исследуемых участках позволил выявить характерные дешифровочные признаки для оценки отдельных стадий лесовосстановления. Это, в свою очередь, дало возможность реконструировать хронологию и выявить динамику степени зарастания вырубок древесно-кустарниковой и травянистой растительностью и оценить качество лесовосстановления.

Спутниковые снимки являются прогрессивным способом и неотъемлемым этапом для мониторинга лесных угодий. Районы, где активно ведутся рубки леса, хорошо заметны на спутниковых снимках сверхвысокого разрешения (0,5–1,0 м) по мозаичности лесного полога, его текстурному рисунку и фототону. Наиболее информативными являются космоснимки, сделанные в период, когда листья изменили цвет, но не облетели (осенние снимки), и когда ещё нет зелени от травянистых растений, а снег уже в основном сошёл (весенние снимки). Текстуристый рисунок в совокупности с фототонном позволяет определить состояние лесных культур.

На снимках отчётливо можно определить зарастание вырубок лиственными породами, поэтому есть возможность вовремя принять меры и получить данные о насаждениях с целевыми характеристиками. Результаты исследования можно использовать при переводе земель, предназначенных для лесовосстановления, в земли, занятые лесными насаждениями.

Использование данной методики может быть ограничено наличием космических снимков на участки лесного фонда, так как обновление базы космоснимков зачастую отстает от лесозаготовительной деятельности.

В целом, применение методики оценки лесовосстановления с использованием спутниковых снимков высокого разрешения позволяет принять своевременные меры по лесовосстановлению, в особенности на этапе развития молодняков, а также совершенствовать систему мониторинга лесных насаждений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.*

### References

1. Sungurova N.G. Theory and practice of artificial reforestation in the north of the Russian Plain: Abstract



- dissertation. doct. agricultural sciences. Arkhangelsk, 2018. 42 p. (in Russian).
2. Kurbanov E.A., Nureeva T.V., Vorobiev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Miftakhov T.F., Nezamaev S.A., Polevshchikova Yu.A. Remote monitoring of dynamics violations of forest cover, reforestation and reforestation in the Mari Trans-Volga region // *Vestnik MarGTU*. 2011. No. 3. P. 17–24 (in Russian).
  3. Shimov S.V., Nikitina Yu.V. Technology for monitoring deforestation using satellite images of high spatial resolution // *Geomatika*. 2011. No. 3. P. 47–52 (in Russian).
  4. Dandois J.P., Ellis E.C. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision // *Remote Sensing of Environment*. 2013. V. 136. P. 259–276. doi: 10.1016/j.rse.2013.04.005
  5. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st century forest cover change // *Science*. 2013. No. 342 (6160). P. 850–853. doi: 10.1126/science.1244693
  6. Nilson T. Age dependence on forest reflectance: analysis of main driving factors // *Remote Sensing of Environment*. 1994. No. 48. P. 319–331.
  7. Isaeva A.S. Monitoring the biological diversity of Russian forests: methodology and methods. Moskva: Nauka, 2008. 453 p. (in Russian).
  8. Isaev A.S., Knyazeva S.V., Puzachenko M.Yu., Chernenkova T.V. Using satellite data to monitor forest biodiversity // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2009. No. 2. P. 1–12 (in Russian).
  9. Krylov A.M., Vladimirova N.A. Remote monitoring of forest condition based on satellite imagery data // *Geomatika*. 2011. No. 1. P. 53–57 (in Russian).
  10. Medvedev A.A., Telnova N.O., Kudikov A.V. Remote highly detailed monitoring of the dynamics of overgrowing of abandoned agricultural lands with forest vegetation // *Voprosy lesnoy nauki*. 2019. V. 2 (3). P. 1–12 (in Russian). doi: 10.31509/2658-607x-2020-3-1-1-8
  11. Zlenko L.V., Koshurnikova N.N., Zhuikov A.V. Reforestation processes in felling areas and burnt-out areas // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No. 5 [Internet resource] <http://science-education.ru/ru/article/view?id=22449> (Accessed: 23.04.2021) (in Russian).
  12. Tsvetkov V.F. Etudes of forest ecology. Arkhangel'sk: AGTU, 2009. 354 p. (in Russian).
  13. Vorobiev O.N., Vorobiev E.A. Remote monitoring of the regenerative dynamics of vegetation in the burned-out areas of the Mari forest Trans-Volga region // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2017. No. 14 (2). P. 84–97 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-84-97
  14. Terekhin E.A., Chendev Yu.G. Assessment of changes in forest cover in the modern period in the south of the Central Russian Upland using materials from space surveys of different times // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2018. V. 15. No. 3. P. 114–126 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-114-126
  15. Karpov A.A., Bogdanov A.P., Pirtskhalava-Karpova N.R., Demina N.A. The use of remote sensing data for monitoring reforestation in boreal forests // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2019. V. 229. P. 23–43 (in Russian).
  16. Rules of reforestation: approved. Order of the Ministry of Nature of Russia dated 04.12.2020. No. 1014 (in Russian).
  17. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. Use of survey materials in assessing the regenerative dynamics of forests in flat areas // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. V. 8. No. 2. P. 208–216 (in Russian).
  18. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. Ecological and dynamic study of the forest formation process using satellite images // *Lesovedenie*. 2013. No. 5. P. 76–85 (in Russian).
  19. Domnina E.A., Adamovich T.A., Timonov A.S., Ashikhmina T.Ya. Thematic interpretation of high-resolution satellite images of vegetation based on field research data // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 3. P. 41–45. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-041-045
  20. Shikhov A.N., Gerasimov A.P., Ponomarchuk A.I., Perminova E.S. Thematic decryption and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution. Perm, 2020 [Internet resource] <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf> (Accessed: 23.04.2021) (in Russian).