

УДК 630*232

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-63-74

ДИНАМИКА РОСТА И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ВЕЙНИКОВО-ЛУГОВИКОВЫХ ВЫРУБКАХ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

О.И. Гаврилова, д-р с.-х. наук, доц.; *ResearcherID:* [AAF-6295-2019](#),

ORCID: [0000-0002-5618-8239](#)

И.В. Морозова, канд. с.-х. наук; *ResearcherID:* [AAG-1937-2019](#),

ORCID: [0000-0002-3972-7843](#)

Ю.В. Ольхин, канд. биол. наук, доц.; *ResearcherID:* [AAF-8800-2019](#),

ORCID: [0000-0002-5946-8252](#)

А.Л. Юрьева, канд. биол. наук; *ResearcherID:* [AAE-3981-2019](#),

ORCID: [0000-0002-7252-2268](#)

А.О. Иоффе, аспирант; *ResearcherID:* [AAF-8862-2019](#), *ORCID:* [0000-0001-6548-6273](#)

Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: ogavril@mail.ru, miv12@bk.ru, yuri_olkhin@mail.ru, a_yureva@mail.ru, ana.ioffe@gmail.com

Своевременное и качественное искусственное лесовосстановление служит одним из основных условий устойчивого управления лесами. Цель многолетнего исследования – установить влияние методов лесовосстановления и вида посадочного материала на рост лесных культур сосны обыкновенной в таежной зоне Республики Карелия. Для подтверждения объективности полученных результатов впервые были применены мультитиме-ренные материалы дистанционного зондирования, полученные со спутников серии Landsat и Sentinel. Наличие красного и ближнего инфракрасного каналов в полученных данных позволяет выполнить расчет нормализованного разностного индекса растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который является разностью интенсивностей отраженного света в инфракрасном и красном каналах, деленной на сумму их интенсивностей, и позволяет оценить количество фотосинтетически активной биомассы. Применение этого индекса для изучения динамики лесовозобновления и лесовосстановления представляет научный интерес. Исследование живого напочвенного покрова показало, что доля участия злаков и иван-чая узколистного существенно уменьшилась, доля лесных видов увеличилась. Установлено, что к 2019 г. после создания культур сосны обыкновенной по обработанной почве на вейниково-луговиковой вырубке сформировалось хвойное насаждение I и Ia классов бонитета с запасом не менее 29,2 м³/га.

Для цитирования: Гаврилова О.И., Морозова И.В., Ольхин Ю.В., Юрьева А.Л., Иоффе А.О. Динамика роста и оценка состояния культур сосны обыкновенной на вейниково-луговиковых вырубках методами дистанционного зондирования // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 63–74. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-63-74

Ключевые слова: лесные культуры, сосна обыкновенная, посадочный материал, дистанционное зондирование, фотосинтетически активная биомасса, фитомасса, вегетационный индекс, вырубка.

Введение

Длительная эксплуатация лесных ресурсов таежной зоны может сопровождаться сменой видового состава после рубки. Поэтому возникает острая потребность в создании хвойных лесных культур из хозяйственно ценных видов растений. В Карелии одной из важных задач является использование разных приемов лесовыращивания для полного восстановления сырьевой базы предприятий лесного комплекса. Ежегодно искусственным путем восстанавливается около 7 тыс. га.

В Республике Карелия 60...70 % лесных культур создается после вырубki лесных массивов относительно высокой продуктивности, в том числе по брусничному и черничному типу лесорастительных условий.

На юге Карелии явно доминирует злаковая группа из общего перечня типов вырубok (57 %). Данная группа рассматривается как основной объект фонда лесовосстановления республики [1, 2, 7, 8, 12, 15].

В течение 19 лет (с 1999 по 2018 г.) проводились детальные исследования роста культур сосны обыкновенной, созданных разными технологическими методами и основными видами посадочного материала на вейниково-луговиковых вырубках, а также динамики изменения в структуре и составе живого напочвенного покрова (ЖНП). В настоящее время широко применяется мониторинг состояния лесного фонда с помощью космической съемки. Для анализа территорий и объектов используют данные с различных спутниковых систем. Для решения широкого круга задач в сфере мониторинга и оценки состояния лесов весьма востребованы данные дистанционного зондирования спутников серий Landsat и Sentinel благодаря открытости и бесплатности, наличию ближнего инфракрасного канала.

Цель многолетнего исследования – установить влияние методов лесовосстановления и вида посадочного материала на рост лесных культур сосны обыкновенной в таежной зоне Республики Карелия с применением данных дистанционного зондирования.

Полученные результаты позволят выявить наиболее перспективные виды посадочного материала и могут стать дополнительной базой для актуализации рекомендаций по лесокультурной деятельности на территории Республики Карелия [16–18, 20, 23].

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в южной Карелии, на территории Пряжинского центрального лесничества на вейниково-луговой вырубке после сплошной рубки сосняка брусничного.

Характеристика объекта: сплошная вырубка 1995 г. общей площадью 6 га, рельеф относительно ровный, почва супесчаная подзолистая иллювиально-железистая. В напочвенном покрове, как правило, встречаются *Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth (35 %), *Avenella flexuosa* (L.) Beauv. (25 %), *Vaccinium myrtillus* L. (20 %), *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. (20 %), *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (5 %). Единично выявлены такие виды, как *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Angelica sylvestris* L., *Solidago virgaurea* L., *Gnaphalium sylvaticum* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull. В микропонижениях отмечены виды рода *Sphagnum*, на значительно уплотненной почве – *Polytrichum commune* L. [24, 26]. Естественное возобновление на вырубке представлено в основном мелколиственными породами: березой пушистой (1650 шт./га; средняя высота 1,7 м), ольхой серой (475 шт./га; 1,0 м), осинкой (400 шт./га; 1,0 м), а также рябиной обыкновенной (200 шт./га; 1,1 м). Кроме того, естественно возобновились ель европейская (425 шт./га; 0,4 м) и сосна обыкновенная (300 шт./га; 0,5 м).

В 1998 г. проведена предварительная обработка почвы полосами шириной 0,8 м с расстоянием между ними 3,5 м покровосдирателем ПДН-1, глубина обработки 10...12 см. Осенью 1998 г. произведены посев и посадка лесных культур вручную. Используются семена Петрозаводского лесного питомника, выращенные из нормальных семян 1-го класса качества, заготовленных на тер-

ритории Прионежского района. Рядовая посадка выращенных в теплице 1-летних сеянцев с закрытой корневой системой (посадочный материал с закрытой корневой системой (ПМЗК)) проводилась посадочной трубой «Поттипутки» с густотой 3,0 тыс. шт./га, 2-летних – из открытого грунта (открытая корневая система (ОКС)) с помощью меча Колесова при густоте 3,5 тыс. шт./га. Посев семян был выполнен в небольшие площадки размером 20×20 см по 20 шт. с расстоянием между подготовленными посевными местами 1 м. Семена 1-го класса качества были заготовлены в Прионежском районе республики.

Для проведения исследования ЖНП на пробных площадях с лесными культурами использовался геоботанический метод трансект [3, 4, 10]. По всей площади вырубki вдоль заложенных трансект по минерализованным полосам закладывались учетные площадки размером 1×1 м². На каждой исследуемой пробной площади – 100 учетных площадок.

В конце каждого сезона вегетации проводилась полная инвентаризация лесных культур сосны обыкновенной для определения приживаемости и сохранности растений [9, 13].

В исследовании состояния и динамики развития лесных культур на территории Пряжинского лесничества использовались материалы мультиспектральной съемки, полученные в 2001, 2006, 2015, 2018 гг. со спутников Landsat 5, Landsat 7 и Sentinel-2A. На сайте геологической службы США (USGS) имеется бесплатный доступ к архивным снимкам спутников серии Landsat. Аппаратура ТМ (Thematic Mapper) спутника Landsat 5 и ЕТМ + (Enhanced Thematic Mapper Plus – усовершенствованный тематический картограф) спутника Landsat 7 позволяет получить данные с пространственным разрешением 30 м. Данные представлены в видимом диапазоне (в синем канале (0,45...0,52 мкм), зеленом – (0,53...0,61 мкм), красном – (0,63...0,69 мкм)), а также ближнем инфракрасном канале (0,78...0,90 мкм). Серия спутников Sentinel является проектом Европейского космического агентства. Оптико-электронный мультиспектральный сенсоркосмический аппарат Sentinel-2A позволяет получить данные с пространственным разрешением 10 м в видимом диапазоне (0,490; 0,560; 0,665 мкм) и в ближнем инфракрасном канале (0,842 мкм). Наличие красного и ближнего инфракрасного каналов в данных, полученных со спутников, дает возможность произвести расчет вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный индекс растительности) и оценить динамику фотосинтетически активной биомассы. Радиометрическая коррекция изображений, расчет NDVI и визуализация тематической карты для территории Пряжинского лесничества выполнены с использованием программного обеспечения Scanex Image Processor [14, 19–22]. С учетом цели данного исследования анализ NDVI проведен для ограниченной площади лесных культур в кв. 46 Пряжинского лесничества.

Результаты исследования и их обсуждение

В течение 19 лет роста лесных культур сосны обыкновенной и однократных рубок ухода осветлением в 2005 г. состав ЖНП существенно изменился. Так, в 2018 г. вейник лесной (*Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth) занимал 15 % площади, луговик извилистый (*Avenella flexuosa* (L.) Beauv.) – 15 %, иван-чай узколистый (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) – 5 %, брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – 45 %, черника миртолистная (*Vaccinium myrtillus* L.) – 25 %, кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.) – 15 %, вереск обыкновенный – 15 %.

новенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) – 5 %; зеленые мхи: плеврозиум Шребера (*Pleurosium schreberi* (Brid.) Mitt.) – 3 %, дикранум метловидный (*Dicranum scoparium* Hedw.) – 3 %, кладония оленья (*Cladonia rangiferina* (L.) Weberex F.H. Wigg.) – 2 %. Доля участия в общем проективном покрытии видового состава ЖНП вырубок в конце сезона вегетации приведена в табл. 1.

Таблица 1

Представленность в общем проективном покрытии (%) основных видов ЖНП на конец сезона вегетации

Вид	Период вегетации			
	2004 г.	2008 г.	2014 г.	2018 г.
<i>Calamagrostis arundinaceae</i> (L.) Roth	40	37	32	15
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Beauv.	29	28	26	15
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	29	21	5	4
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	4	10	16	22
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	10	15	20	23
<i>Pleurosium schreberi</i> (Brid.) Mitt.; <i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	4	4	5	6
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Weberex F.H. Wigg.	6	5	3	2

Таким образом, доля участия злаков в структуре ЖНП существенно уменьшилась (25 %), иван-чая узколистного – тоже (25 %), в то время как доля лесных видов увеличилась на 13...18 %. Следовательно, с ростом лесопокрытой площади постепенно формируется ЖНП, характерный для лесной среды.

Приживаемость лесных культур сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ОКС, в первый год выращивания составила 87 %, сеянцами с ПМЗК и посевом – 100 %, на второй год – соответственно 85, 98 и 100 %. Более низкая приживаемость лесных культур первого года, созданных сеянцами с ОКС, вероятно, связана с некоторым повреждением корневой системы при нарушении правил транспортировки и неправильной посадке. Показатели сохранности лесных культур сосны обыкновенной представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сохранность (%) лесных культур сосны обыкновенной, созданных посевом и посадкой

Метод создания	Год исследования			
	2004 г.	2008 г.	2013 г.	2018 г.
Посев	96	93	82	38
Посадка:				
ОКС	84	81	73	43
ПМЗК	94	93	82	60

Отпад сосны в посадках, как правило, отмечается в первые 3 года жизни. Это связано с наиболее существенными для данного региона неблагоприятными факторами внешней среды, повреждениями, нанесенными энтомофиторами, и развитием агрессивной травянистой растительности, что подтверждается и данными других авторов [5, 25]. На исследуемых участках сохранность культур сосны к 19-му году выращивания для посевов составила 38 %, или 1333 шт./га, для посадки сеянцами с ОКС – 43 %, или 1510 шт./га, для посадки сеянцами ПМЗК – 60 %, или 1823 шт./га.

По результатам исследования установлено, что высокой приживаемостью и сохранностью растений при предварительной обработке почвы на вей-

никово-луговиковых вырубках характеризуются лесные культуры сосны обыкновенной, созданные ПМЗК.

Динамика основных показателей роста культур сосны обыкновенной в течение 19 лет исследования представлена в табл. 3.

Таблица 3

**Дендрометрические показатели роста культур сосны,
созданных посевом и посадкой**

Метод создания	Высота, м				Диаметр, см, на высоте 1,3 м			
	2004 г. (5 лет)	2009 г. (10 лет)	2013 г. (14 лет)	2018 г. (19 лет)	2004 г. (5 лет)	2009 г. (10 лет)	2013 г. (14 лет)	2018 г. (19 лет)
Посев	0,57 ± ± 0,06	2,46 ± ± 0,31	4,12 ± ± 0,51	8,70 ± ± 0,48	1,32 ± ± 0,13	2,30 ± ± 0,08	4,95 ± ± 0,24	7,50 ± ± 0,36
Посадка: ОКС ПМЗК	0,72 ± ± 0,17	3,15 ± ± 0,21	4,21 ± ± 0,32	9,30 ± ± 0,55	2,03 ± ± 0,31	4,80 ± ± 0,15	5,30 ± ± 0,62	9,50 ± ± 0,58
	1,35 ± ± 0,11	3,74 ± ± 0,14	5,24 ± ± 0,31	10,0 ± ± 0,62	3,09 ± ± 0,46	5,0 ± ± 0,18	5,96 ± ± 0,48	11,10 ± ± 0,65

Примечание. Данные о диаметре 5-летних лесных культур сосны (2004 г.) приведены для корневой шейки.

Как видно из данных табл. 3, диаметры стволов лесных культур сосны к 19-му году исследования достигли следующих значений: 7,50; 9,50 и 11,10 см (табл. 3).

Рост лесных культур сосны по высоте в ежегодной динамике показан на рис. 1.

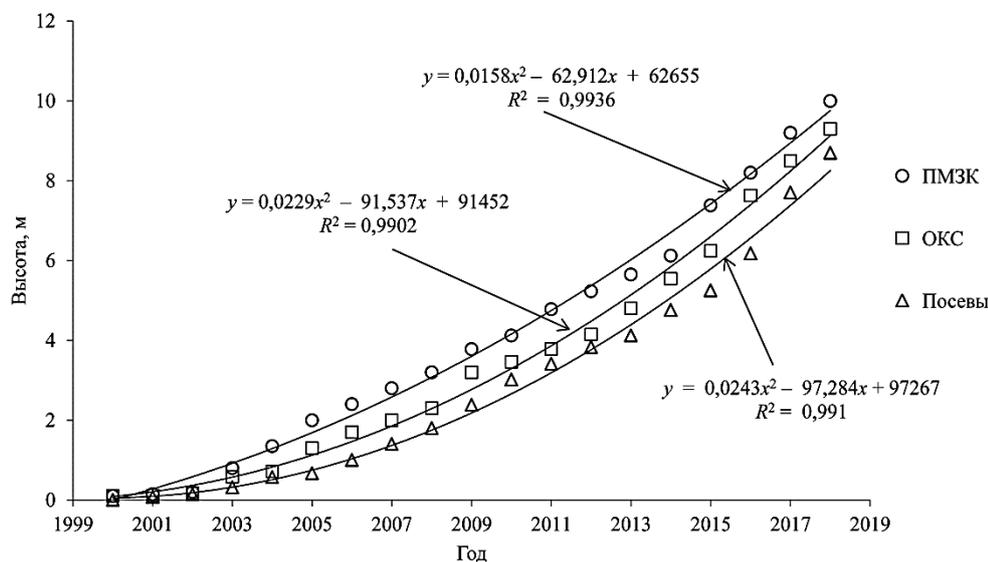


Рис. 1. Ход роста по высоте лесных культур сосны обыкновенной, созданных посевом и посадкой семян с ОКС и ПМЗК

Fig. 1. The growth progress in height of Scots pine forest plantations created by sowing and planting seedlings with bare root system and root-balled system

Так, на протяжении всего периода исследования максимальные показатели роста, приживаемости и сохранности были выявлены у культур сосны обыкновенной, созданных ПМЗК.

Наименьший показатель по NDVI на объекте исследования был отмечен на снимке Landsat 5, полученном 24 июня 2001 г., значение NDVI составило 0,15 (рис. 2, *а, б*), что соответствует участкам минерализованной почвы после обработки. На снимке Landsat 5, полученном 18 июля 2001 г., значение NDVI составило 0,20 (рис. 2, *в, з*). Некоторое повышение значения, вероятно, связано с увеличением фотосинтетически активной биомассы травянистых растений.

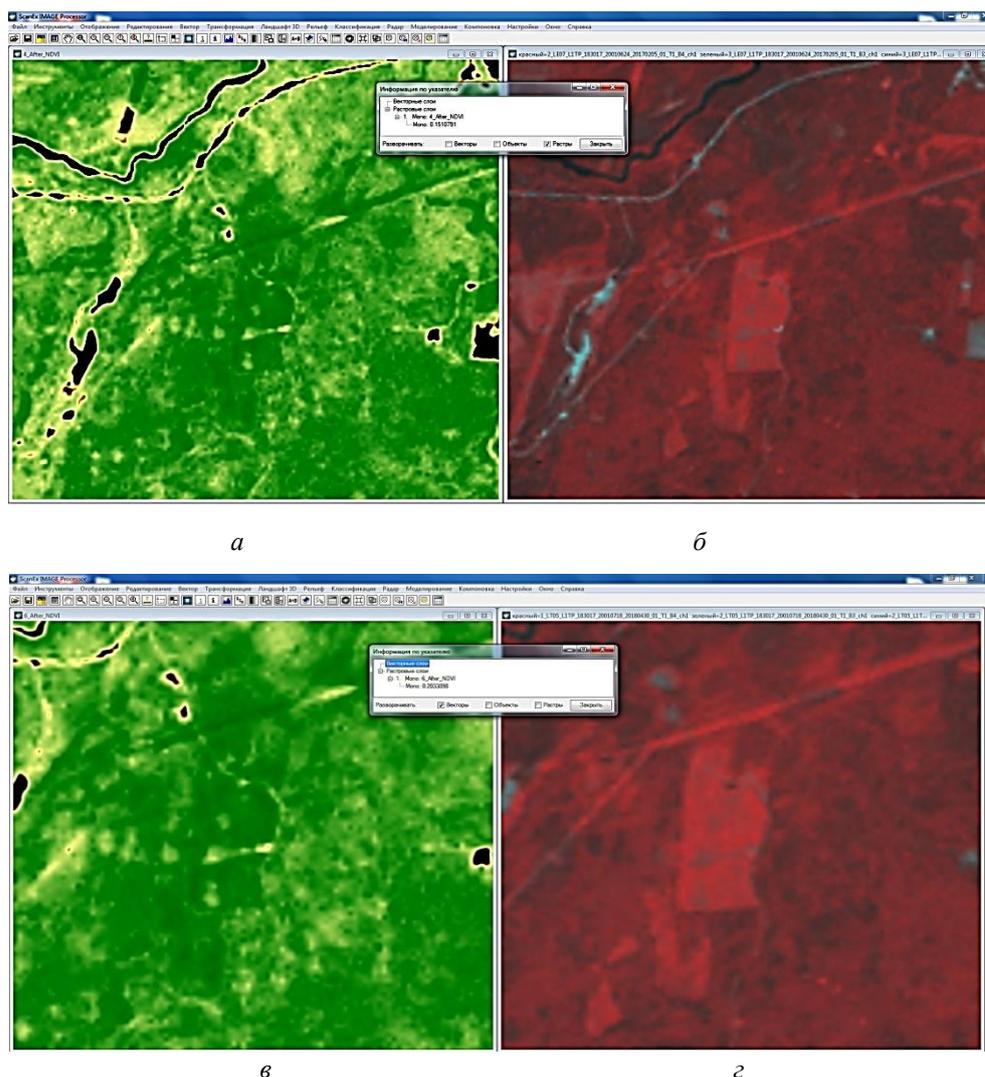


Рис. 2. Распределение NDVI на территории вырубки и лесных массивов в Пряжинском лесничестве: *а, б* – 24.06.2001 г., Landsat 7; *в, з* – 18.07.2001 г., Landsat 5; *а, в* – изображение с рассчитанным индексом NDVI; *б, з* – изображение с синтезом каналов космической съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах

Fig. 2. Distribution of NDVI in the cutting and forest areas in the Pryazhinskoye forest district: *а, б* – on June 24, 2001, Landsat 7; *в, з* – on July 18, 2001, Landsat 5; *а, в* – image with the calculated NDVI; *б, з* – image with the synthesis of satellite imagery channels in the visible and near infrared ranges

Показатель NDVI на объекте исследования 9 июля 2006 г. увеличился до 0,45, что соответствует разреженным хвойным посадкам (рис. 3).

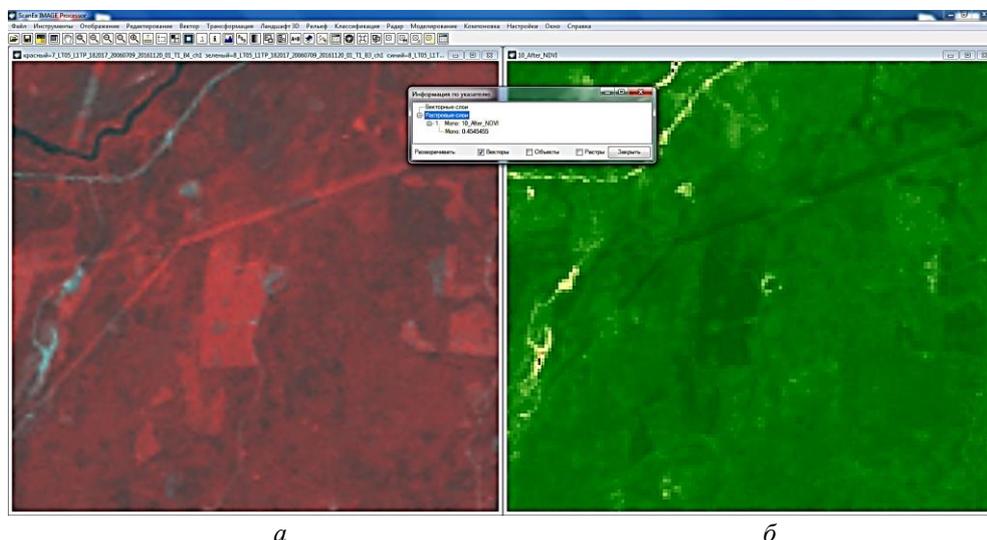


Рис. 3. Распределение NDVI на территории вырубki и лесных массивов в Пряжинском лесничестве (09.07.2006 г., Landsat 5): *a* – изображение с синтезом каналов космической съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах; *б* – изображение с рассчитанным индексом NDVI

Fig. 3. Distribution of NDVI in the cutting and forest areas in the Pryazhinskoye forest district on July 9, 2006, Landsat 5: *a* – image with the synthesis of satellite imagery channels in the visible and near infrared ranges; *b* – image with the calculated NDVI

Динамика показателя NDVI в 2015 г. и 2018 г. была положительной, увеличение индекса составило 0,69 и 0,74 соответственно (рис. 4). Увеличение индекса по сравнению с данными 2001 г. свидетельствует об успешном росте лесных культур и нарастании фотосинтетически активной биомассы.

На изменчивость значения NDVI оказывают влияние многие факторы, например: освещенность и время съемки, состояние атмосферы, тип мультиспектрального сканирующего устройства, фитомасса травянистой растительности. Однако полученные результаты позволяют сделать вывод, что увеличение индекса NDVI на исследованном участке лесных культур сосны обыкновенной косвенно свидетельствует об успешности роста лесных культур, возрастании фитомассы и запаса. Исследователи отмечают, что более высокие показатели NDVI проявляются при большем запасе древесины, а также при увеличении густоты возобновления [6, 11].

В основном к окончанию 5-го периода вегетации созданные минерализованные полосы на злаковых вырубках более активно зарастают *Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth, чем *Avenella flexuosa* (L.) Beauv и *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. Исследованные лесные культуры сосны, созданные способом посадки, а также самые крупные экземпляры из созданных посевом выходят из-под влияния приведенных видов травянистой растительности и не испытывают с их стороны конкуренции.

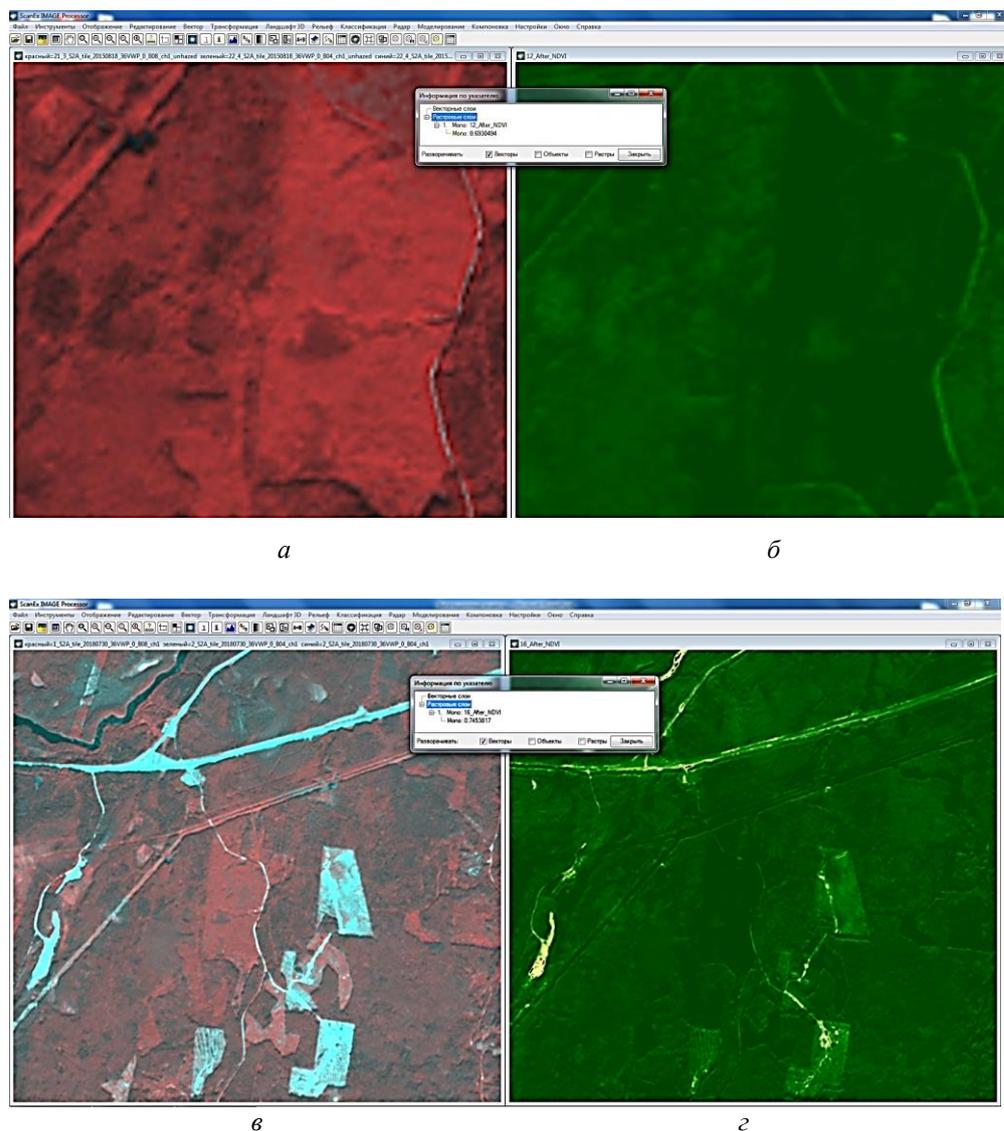


Рис. 4. Распределение NDVI на территории вырубki и лесных массивов в Пряжинском лесничестве: *а, б* – 18.08.2015, Sentinel-2A; *в, г* – 30.07.2018, Sentinel-2A; *а, в* – изображение с синтезом каналов космической съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах; *б, г* – изображение с рассчитанным индексом NDVI

Fig. 4. Distribution of NDVI in the cutting and forest areas in the Pryazhinskoye forest district: *а, б* – on August 18, 2015, Sentinel-2A; *в, г* – on July 30, 2018, Sentinel-2A; *а, в* – image with the synthesis of satellite imagery channels in the visible and near infrared ranges; *б, г* – image with the calculated NDVI

Заключение

По результатам проведенного многолетнего исследования динамики роста лесных культур сосны обыкновенной, созданных разными методами и с использованием разных видов посадочного материала, было установлено, что наиболее высокая приживаемость и хорошая сохранность в течение первых 5 вегетационных периодов наблюдалась у семян ПМЗК. Успешный рост по

высоте, относительно хорошо развившийся ассимиляционный аппарат и разветвленная корневая система привели к интенсивному накоплению ими биомассы. Это способствовало формированию искусственного хвойного насаждения I и Ia классов бонитета к 19-му году роста. Запас лесных культур сосны обыкновенной, созданных посевом, составил 29,2 м³/га; культур, созданных из 2-летних семян с ОКС, – 56,2 м³/га; культур, созданных посадкой семян ПМЗК, – 92,7 м³/га.

Наиболее перспективным рекомендуемым методом создания культур является ручная посадка сеянцами ПМЗК по обработанной механизированным способом почве. Эти посадки отличаются более высокой конкурентной способностью по отношению к основным агрессивным видам живого напочвенного покрова вырубков, относительно высокой сохранностью растений и ускоренным ростом, что подтверждается материалами дистанционного зондирования.

В соответствии с полученными результатами исследования можно рекомендовать в посадках культур сосны, созданных ПМЗК, исключать агротехнические уходы, так как они в основном не испытывают существенного влияния доминирующих видов живого напочвенного покрова, и переводить их в лесопокрываемые земли по высоте с возраста 5–6 лет. Предусмотренное Правилами лесовосстановления [9] снижение густоты лесных культур из сеянцев ПМЗК до 2 тыс. шт./га подтверждено данными нашего исследования, при этом прогнозируемый запас в возрасте 20 лет – не менее 65 м³/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гаврилова О.И. Лесовосстановление вырубков и продуктивность лесных культур хвойных пород Республики Карелия: дис. ... д-ра с.-х. наук. Петрозаводск, 2012. 351 с. [Gavrilova O.I. *Reforestation of Cuts and Forest Crops Fertility in the Republic of Karelia*: Dr. Agric. Sci. Diss. Petrozavodsk, 2012. 351 p.]
2. Гаврилова О.И., Пак К.А., Морозова И.В., Юрьева А.Л. Формирование искусственных основных древостоев в условиях карельской таежной зоны // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. С. 23–33. [Gavrilova O.I., Pak K.A., Morozova I.V., Yur'eva A.L. Formation of Artificial Pine Stands in the Karelian Taiga Zone. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 23–33]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.4.23](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.23); URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b55/gavrilova.pdf>
3. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 359 с. [Greig Smith P. *Quantitative Plant Ecology*. Moscow, Mir Publ., 1967. 359 p.]
4. Ипатов В.С. Методы описания фитоценоза. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 53 с. [Ipatov V.S. *Phytocenosis Description Methods*. Saint Petersburg, SPbGU Publ., 2000. 53 p.]
5. Крышень А.М. Растительные сообщества вырубков Карелии. М.: Наука, 2006. 262 с. [Kryshen' A.M. *Plant Communities of Karelian Cuts*. Moscow, Nauka Publ., 2006. 262 p.]
6. Курбанов Э.А., Нуреева Т.В., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Мифтахов Т.Ф., Незамаев С.А., Полевщикова Ю.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье // Вестн. МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 17–24. [Kurbanov E.A., Nureeva T.V., Vorobyev O.N., Gubayev A.V., Lezhnin S.A., Miftakhov T.F., Nezamayev S.A., Polevshchikov Y.A. Remote Monitoring of Disturbances in Forest Cover, Reforestation and Afforestation of Mari Zavolzhe. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2011, no. 3, pp. 17–24].

7. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Гаврилова О.И. Введение в экологию хвойных лесных культур: моногр. Архангельск: САФУ, 2018. 379 с. [Merzlenko M.D., Babich N.A., Gavrilova O.I. *Introduction to the Ecology of Coniferous Forest Plantations*: Monograph. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2018. 379 p.].

8. Морозова И.В. Закономерности роста культур сосны в условиях сукцессий растительности на вырубках южной Карелии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2011. 20 с. [Morozova I.V. *Pine Crops' Growth Regularities in the Conditions of Successions of Plants on the Cuts of Southern Karelia*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2011. 20 p.].

9. Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25 марта 2019 г. № 188 (документ с изменениями, внесенными приказом Минприроды России от 14 августа 2019 г. № 546). Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201905150009> (дата обращения: 08.11.2019). [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of March 25, 2019, No. 188 "On Approval of the Regulations of Reforestation, Reforestation Project Scope, Procedure for Development of a Reforestation Project and Introduction of Amendments to It"].

10. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 50 с. [Ogiyevskiy V.V., Khirov A.A. *Inspection and Study of Forest Plantations*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 50 p.].

11. Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Опыт использования вегетационных индексов при комплексных исследованиях на объектах гидроресомелиорации // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 33–41. [Pakhuchiy V.V., Pakhuchaya L.M. Experience of Vegetation Indices Use for Complex Researches on the Objects of Hydro and Forest Amelioration. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2014, no. 1(21), pp. 33–41].

12. Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с. [Sokolov A.I. *Reforestation of Cuts in the North-West of Russia*. Petrozavodsk, KRC RAS Publ., 2006. 215 p.].

13. Технические указания по проведению инвентаризации лесных культур, защитных лесных насаждений, питомников, площадей с проведенными мерами содействия естественному возобновлению леса и вводу молодняков в категорию ценных древесных насаждений. М.: ВНИИЦ по лесным ресурсам Госкомлеса СССР, 1990. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9014074> (дата обращения: 08.11.19). [Engineering Instructions for the Inventory of Forest Crops, Protective Forest Plantations, Nurseries, and Areas with Assistance Measures for Natural Forest Regeneration and Introduction of Young Growth into the Category of Valuable Tree Stands. Moscow, All-Union Research and Information Center for Forest Resources of the USSR State Committee for Forestry, 1990].

14. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика (Geomatics). 2009. № 3(4). С. 28–32. [Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. Spectral Properties of Plants and Vegetation Indexes. *Geomatika* [Geomatics], 2009, no. 3(4), pp. 28–32].

15. Юрьева А.Л. Рост и развитие лесных культур сосны в экосистеме вейниково-луговиковых вырубках Карелии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2007. 23 с. [Yureva A.L. *Growth and Development of Pine Forest Crops in Karelian Reed-grass Meadow Cuts Ecosystem*: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs. Petrozavodsk, 2007. 23 p.].

16. Aleksandrowicz-Trzcińska M., Drozdowski S., Wołczyk Z., Bielak K., Zybura H. Effects of Reforestation and Site Preparation Methods on Early Growth and Survival of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 11, art. 421. DOI: [10.3390/f8110421](https://doi.org/10.3390/f8110421)

17. Bock M.D., Van Rees K.C.J. Mechanical Site Preparation Impacts on Soil Properties and Vegetation Communities in the Northwest Territories. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, vol. 32, no. 8, pp. 1381–1392. DOI: [10.1139/x02-067](https://doi.org/10.1139/x02-067)
18. De Chantal M., Leinonen K., Ilvesniemi H., Westman C.J. Effects of Site Preparation on Soil Properties and on Morphology of *Pinus silvestris* and *Picea abies* Seedlings Sown at Different Dates. *New Forests*, 2004, vol. 27, pp. 159–173. DOI: [10.1023/A:1025042632491](https://doi.org/10.1023/A:1025042632491)
19. Demina N.A., Karpov A.A., Voronin V.V., Lopatin E.V., Bogdanov A.P. Possible Use of Remote Sensing for Reforestation Processes in Arctic Zone of European Russia. *Arctic Environmental Research*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 106–113. Available at: <https://rucont.ru/efd/647065> (accessed 28.05.19).
20. Heiskanen J., Mäkitalo K., Hyvönen J. Long-Term Influence of Site Preparation on Water-Retention Characteristics of Forest Soil in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 241, iss. 1-3, pp. 127–133. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.01.023](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.023)
21. Iverson L.R., Graham R.L., Cook E.A. Applications of Satellite Remote Sensing to Forested Ecosystems. *Landscape Ecology*, 1989, vol. 3, no. 2, pp. 131–143. DOI: [10.1007/BF00131175](https://doi.org/10.1007/BF00131175)
22. Koch B. The Contribution of Remote Sensing for Afforestation and Forest Biodiversity Assessment. *Proceedings of the Conference on Remote Sensing and Forest Monitoring, June 1–3, 1999, Rogow, Poland*. Rogow, Warsaw Agricultural University, Faculty of Forestry, 2000, pp. 3–13.
23. Löf M., Dey D.C., Navarro R.M., Jacobs D.F. Mechanical Site Preparation for Forest Restoration. *New Forests*, 2012, vol. 43, iss. 5-6, pp. 825–848. DOI: [10.1007/s11056-012-9332-x](https://doi.org/10.1007/s11056-012-9332-x)
24. Müller J., Bolte A., Beck W., Anders S. Bodenvegetation und Wasserhaushalt von Kiefernforstökosystemen (*Pinus sylvestris* L.) [Ground Vegetation and Water Budget of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forest Ecosystems]. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 1998, B. 28, S. 407–414.
25. Pardos M., Montes F., Aranda I., Cañellas I. Influence of Environmental Conditions on Germinant Survival and Diversity of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Spain. *European Journal of Forest Research*, 2007, vol. 126, iss. 1, pp. 37–47. DOI: [10.1007/s10342-005-0090-6](https://doi.org/10.1007/s10342-005-0090-6)
26. Tilk M., Mandre M., Klõšeiko J., Kõresaar P. Ground Vegetation under Natural Stress Conditions in Scots Pine Forests on Fixed Sand Dunes in Southwest Estonia. *Journal of Forest Research*, 2011, vol. 16, iss. 3, pp. 223–227. DOI: [10.1007/s10310-011-0282-5](https://doi.org/10.1007/s10310-011-0282-5)

GROWTH DYNAMICS AND STATUS ASSESSMENT OF SCOTS PINE CROPS ON REEDGRASS MEADOW CUTS BY REMOTE SENSING TECHNIQUES

O.I. Gavrilova, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAF-6295-2019](https://orcid.org/0000-0002-5618-8239),

ORCID: [0000-0002-5618-8239](https://orcid.org/0000-0002-5618-8239)

I.V. Morozova, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAG-1937-2019](https://orcid.org/0000-0002-3972-7843),

ORCID: [0000-0002-3972-7843](https://orcid.org/0000-0002-3972-7843)

Yu.V. Olkhin, Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAF-8800-2019](https://orcid.org/0000-0002-5946-8252),

ORCID: [0000-0002-5946-8252](https://orcid.org/0000-0002-5946-8252)

A.L. Yureva, Candidate of Biology; ResearcherID: [AAE-3981-2019](https://orcid.org/0000-0002-7252-2268),

ORCID: [0000-0002-7252-2268](https://orcid.org/0000-0002-7252-2268)

A.O. Ioffe, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAF-8862-2019](https://orcid.org/0000-0001-6548-6273),

ORCID: [0000-0001-6548-6273](https://orcid.org/0000-0001-6548-6273)

Petrozavodsk State University, prosp. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: ogavril@mail.ru, miv12@bk.ru, yuri_olkhin@mail.ru, a_yureva@mail.ru, ana.ioffe@gmail.com

Well-timed and high-quality artificial reforestation is one of the main factors of sustainable forest management. Efficient forest stand formation is influenced by the right choice of the reforestation method and efficient planting material species. Longstanding research of pine crops' growth in the taiga zone of the Republic of Karelia was held according to the conventional methods. In order to confirm the objectivity of the obtained research results multi-time materials of remote sensing taken from the satellites of Landsat and Sentinel series were used for the first time. The presence of red and near infrared channels in the received data allows to calculate NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which gives the opportunity to estimate the photosynthetic active biomass. The index is the difference between the reflected intensities in infrared and red channels divided by the sum of its intensities. The use of NDVI for the study of reforestation dynamics is of research interest. Forest live cover analysis has shown that the quota of cereals and fireweed has essentially decreased, while the quota of forest species has increased. It was found that the coniferous stand of the I and Ia quality classes with the stock not fewer than 29.2 m³/ha has developed after Scots pine crops' formation on the cultivated land of reedgrass meadow cuts by 2019.

For citation: Gavrilova O.I., Morozova I.V., Olkhin Yu.V., Yureva A.L., Ioffe A.O. Growth Dynamics and Status Assessment of Scots Pine Crops on Reedgrass Meadow Cuts by Remote Sensing Techniques. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 1, pp. 63–74. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-63-74

Keywords: forest crops, Scots pine, planting material, remote sensing, photosynthetically active biomass, phytomass, vegetation index, cut.

Поступила 28.05.19 / Received on May 28, 2019
