

ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ ЛОПАТИН

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Школы лесных наук, Университет Восточной Финляндии (Йоенсуу, Финляндия)

*lopatin@forgis.ru*

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ПРИРОСТА ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ПО ВРЕМЕННЫМ СЕРИЯМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ\*

Потребность в качественной актуальной информации о лесах регионов России постоянно возрастаает. Цель исследования – разработать методику идентификации изменения продуктивности лесов Северо-Запада России путем использования комбинации данных дистанционного зондирования и дендрохронологического анализа. Значительные корреляционные коэффициенты между годовыми кольцами в Республике Коми и интегрированными значениями NDVI с июня по август показывают, что интегрированные значения NDVI могут быть использованы в качестве косвенных данных для оценки трендов роста леса в масштабе целого региона.

Ключевые слова: текущий прирост, ель, сосна, возраст дерева, космические снимки

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время информация о лесном фонде в Российской Федерации собирается в ходе проведения лесоустройства и государственной инвентаризации лесов. По данным Канадской службы лесов, информация о лесном фонде территории устаревает в среднем на 10% в год [7]. При этом активизация деятельности лесозаготовителей и интенсификация лесопользования на арендованных участках требуют постоянной актуализации информации о лесном фонде.

Согласно нормативам, лесоустройство должно проводиться раз в 10 лет. В настоящее время объем лесостроительных работ резко сократился, а государственная инвентаризация лесов не дает результатов, позволяющих компенсировать сокращение лесостроительных работ. На Всероссийской конференции по лесоустройству, проводившейся в Новосибирске в ноябре 2012 года, было заявлено, что на 70% территории России срок давности проведения лесоустройства более 20 лет. Поэтому использование устаревшей информации о состоянии лесов региона дает заведомо ложные показатели.

Ключевым параметром, определяемым при лесоустройстве, является запас насаждения. При проведении государственной инвентаризации лесов большее значение имеет динамика изменения прироста. Проведенные нами исследования показали большую вариативность в приросте по диаметру и высоте, а также в факторах, влияющих на него при оценке больших регионов, таких как Северная Европа. Было показано, что существует статистически значимая корреляция между значениями временных серий вегетационного индекса и данным по приростам древесины [6]. Для осуществления анализа этой связи на территории Северной Европы требуется база данных

по приростам древесины на всей этой территории. В настоящем исследовании проведен анализ связи приростов с вегетационными индексами и построена карта, отражающая изменение прироста древесины бореальных лесов Европы.

Цель исследования – разработать методику идентификации изменения продуктивности бореальных лесов Скандинавских стран и Северо-Запада России путем использования комбинации данных дистанционного зондирования и дендрохронологического анализа. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- гармонизировать дендрохронологические базы данных радиальных приростов по диаметру на территорию Северо-Запада России с собственными данными для совместного анализа;
- провести подбор временных серий космических снимков из Интернета для построения временных серий вегетационных индексов;
- провести анализ взаимосвязей между вегетационными индексами и шириной годичных колец за последние десятилетия;
- построить карту изменения продуктивности лесов Северо-Запада России на основе статистического анализа временных серий космических снимков и данных по радиальному приросту деревьев.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для выполнения работы использованы космические снимки, дендрохронологические данные, доступные в Интернете и собранные в ходе проведения экспедиций. Доступные дендрохронологические базы данных на территорию Северной Евразии и материалы собственных по-

левых исследований были гармонизированы для совместного анализа и сведены в общую базу данных единого формата. На основании временных серий космических снимков из Интернета (спутники NOAA и Terra, ведущие съемку низкого пространственного разрешения) были рассчитаны временные серии вегетационных индексов. На основе анализа данных по росту лесов были получены зависимости между радиальным и апикальным приростами и временными сериями вегетационных индексов. Это позволило создать карту изменения продуктивности лесов Северной Европы. На основе статистического анализа взаимосвязей роста лесов и вегетационных индексов построена карта ошибки прогнозирования изменения продуктивности.

Материал для определения взаимосвязи между продуктивностью участка леса и динамикой вегетационных индексов был собран по трансекте с юга Республики Коми (подзона южной тайги бореальных лесов) до арктической границы распространения ели. Деревья отбирались в пяти природно-территориальных комплексах Республики Коми. Для оценки динамики прироста были выбраны здоровые деревья, находящиеся вне конкуренции, разных классов возраста, в средних условиях (II–III класс Крафта). Древостои были сгруппированы согласно их положению относительно подзон тайги. Всего для анализа было отобрано 118 деревьев в 6 древостоях. Измерение ширины годичных колец производилось в дендрохронологической лаборатории с использованием системы анализа изображений WinDENDRO (Regent Instruments Inc.). На территории Республики Коми пробные площади закладывались в крупных, нетронутых участках лесного фонда. Для этого производился поиск участков по материалам лесоустройства и данным дистанционного зондирования среднего разрешения (ASTER, Landsat ETM+). Целью этого поиска было найти участки площадью более 64 км<sup>2</sup>, что соответствует одному пикслю базы данных GIMMS-NDVI.

Для проведения исследований была использована база данных Университета Восточной Финляндии (<http://www.joensuu.fi/ktl/saima/jestoen.htm>), которая располагает данными измерений годичных колец около 5000 деревьев из Финляндии, Швеции, Норвегии и России. Всего в базе данных на исследуемый регион находилось 477 хронологий. В результате анализа периодичности и типа данных, который производился в программном продукте TSAP (RinnTech, Германия), было отобрано 38 хронологий. Они представлены общей шириной годичного кольца и покрывают временной отрезок от 1990 года и далее. Временные серии, заканчивающиеся в 1990–1992 годах, были исключены из анализа. Для совместного анализа из базы данных на территорию Республики Коми и базы дендрохронологических данных на территорию Северо-Запада России (база данных из Финляндии) были отобраны хронологии годич-

ных колец за период с 1981 по 2005 год. При этом использовались не построенные хронологии, а сырье данные измерений годичных колец. Сырые измерения были кросс-калиброваны с целью выявления ошибок при измерениях с использованием программы COFETCHA [5].

После получения единого массива дендрохронологических данных в виде ширины годичных колец они были стандартизированы с помощью программного продукта ARSTAN [5]. Стандартизация дендрохронологических данных проводилась с целью очистки временных серий от эффектов старения деревьев, конкуренции, влияния различных эндогенных факторов, которые отражаются в годичных кольцах деревьев. Стандартизация позволяет сравнивать дендрохронологические данные, полученные в различных природно-климатических условиях [4]. Стандартизация была проведена по методу сплайна с частотой 60 лет и 50% функцией ответа. Этот подход позволяет значительно усилить общий сигнал в хронологиях, особенно в сериях с небольшим количеством деревьев. Более подробно процесс и методы стандартизации описаны в классической литературе по дендрохронологии [2], [3], [4]. Практическая реализация в специализированном бесплатном программном обеспечении дана в описании библиотеки дендрохронологических программ [5].

Так как многие современные системы дистанционного зондирования Земли осуществляют съемку в видимой красной и ближней инфракрасной частях спектра, распространенным методом является вычисление нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Нормализованный вегетационный индекс показывает наличие и состояние растительности по соотношению отраженных энергий в двух спектральных каналах. Эта зависимость основана на различных спектральных свойствах хлорофилла в видимом и ближнем ИК-диапазонах. NDVI вычисляется для каждого пикселя снимка как отношение разности между каналами к их сумме:  $NDVI = (ИК - K) / (ИК + K)$ . Облака, снег и водные поверхности дают отрицательное значение индекса. Для растительности значение NDVI составляет 0,1–0,6.

Спутники NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, США) оборудованы сканером AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) с 4–5 широкими спектральными диапазонами, снимающим в видимом, ближнем и дальнем (тепловом) ИК-диапазонах, разрешением около  $1,1 \times 1,1$ – $1,1 \times 4$  км в зависимости от диапазона и угла съемки. AVHRR обеспечивает глобальный сбор данных по всем каналам, полоса съемки имеет ширину 2400 км, спутник облетает Землю 14 раз в сутки. Обширные и актуальные данные в AVHRR (с 1981 года по настоящее время) с разрешением 8 км доступны в Интернете. Данные NOAA представляют очень большой

интерес с точки зрения картографирования динамики долговременных процессов, так как в настоящее время это единственный источник данных с необходимым временным разрешением за достаточно большой период времени. В работе использовались временные серии вегетационных индексов, полученные в рамках программы GIMMS (The Global Inventory Modeling and Mapping Studies, Глобальные исследования по обследованию, картографированию и мониторингу). База данных представлена информацией в растровом формате по значениям вегетационного индекса за период спутниковых наблюдений (22 года). Нормализованные вегетационные индексы GIMMS [1] получены на основе калибровки данных, включающей в себя геометрическую коррекцию, поправку на смещение орбиты, поправку на эмиссию вулканических аэрозолей и другие эффекты, связанные с изменением растительности. База данных GIMMS была получена через веб-сайт университета Мериленда (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms>). Общий объем базы данных на территорию Евразии составил около 8 Гбайт (15-дневные средние значения NDVI). Растровые данные были импортированы в программный продукт ArcGIS, проведена оценка точности их совмещения. Так как значения NDVI представляют собой безразмерные индексные величины, варьирующие от -1 до 1, данные были усреднены по годам. Для усреднения использовались значения NDVI с июня по август. Значения NDVI за вегетационный период по годам были получены в растровом формате за период с 1982 по 2003 год (22 года). После усреднения из базы данных была подготовлена вырезка растровых данных на территорию Северо-Запада России (Северо-Запад Российской Федерации, Финляндия, Швеция, Норвегия).

Для анализа связи динамики радиального прироста и вегетационных индексов были отобраны пиксельные значения из базы данных GIMMS. В предыдущих исследованиях было показано [8], что во время основного периода роста (календарные дни с 90-го по 270-й с начала года) полученные данные со спутника NDVI сильно коррелировали с продуктивностью деревьев. Однако если рассматривать данные за целый год, корреляции были низкими, то есть большие отличия приходились на зимний период. Поэтому нами для расчета корреляционных коэффициентов между NDVI и стандартизованными сериями годичных колец были использованы среднемесячные суммы NDVI с июня по август за период с 1981 по 2003 год.

Корреляционные коэффициенты между суммами значений индекса NDVI были рассчитаны для всех отобранных хронологий на территорию Северной Европы. Для этого данные были экспортированы в программный продукт ERDAS Imagine в виде 22-канального растрового изображения. В геоинформационной системе построены

буферные зоны вокруг мест сбора проб деревьев (диски и керны), равные размеру одного пикселя GIMMS-NDVI (8 км). По построенным буферным зонам были извлечены годичные данные по пикселям в пределах, в которых располагались пробные площади. В программном продукте SPSS был выполнен их корреляционный анализ с данными по годичным приростам деревьев.

Тренды в GIMMS-NDVI-пикселях были определены посредством непараметрических корреляционных коэффициентов Спирмана ( $r$ -Spearmann) с использованием ежегодных сумм значений NDVI с июня по август и одним временным рядом в годах (то есть в ряду GIMMS-NDVI 1982 год рассматривался как первый год, 2003-й – как двадцать второй год). Значения  $r$  показывают, были ли статистически значимыми тренды в развитии растительности. Положительные и высокие значения указывают на увеличение прироста, а отрицательные означают негативный тренд. Тренды считались статистически значимыми при  $p < 0,1$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В Республике Коми стандартизованные серии ширины годичных колец коррелировали с суммами NDVI в июне – августе (табл. 1).

**Таблица 1**  
Связь временных серий вегетационных индексов с временными сериями стандартизированной ширины годичных колец

Номер участка	Природно-территориальные комплексы	Ель европейская		Сосна обыкновенная	
		количество деревьев	корреляция Пирсона	количество деревьев	корреляция Пирсона
1	Лесотундра	12	0,565**	–	–
2	Северная тайга	14	0,522*	14	0,445*
3	Средняя тайга (восток)	40	0,453*	45	0,593*
4	Средняя тайга (запад)	51	0,272	5	0,056
5	Южная тайга	9	0,565*	21	0,085

Примечание. \* – корреляция значима на уровне 0,05; \*\* – корреляция значима на уровне 0,01.

Корреляция не наблюдалась в западной части подзоны средней тайги. Кроме того, не обнаружено корреляции между шириной годичных колец сосны и временного ряда NDVI в подзоне южной тайги. Значительные корреляционные коэффициенты между шириной годовых колец и интегрированными значениями NDVI с июня по август показывают, что интегрированные значения NDVI могут быть использованы в Республике Коми в качестве косвенных данных для оценки трендов роста леса в масштабе целого региона.

Из международной базы данных Университета Восточной Финляндии были отобраны древесно-кольцевые хронологии на территорию Северной Европы. Всего были проанализированы 138 древесно-кольцевых хронологий ели, сосны и лиственницы.

Из 138 древесно-кольцевых хронологий были отобраны 42 хронологии, покрывающие период с 1990 года и далее (то есть 9 лет и более). Эти хронологии использовались для изучения связи временных серий вегетационных индексов со стандартизированной шириной годичных колец. Большинство хронологий показали отсутствие статистически значимой корреляции между значениями вегетационных индексов и шириной годичных колец. Однако анализ уровней статистической значимости (по критериям Пирсона и Спирмана), рассчитанный на основе этих данных, показал, что причиной отсутствия корреляции в данных является сравнительно малое количество лет в данных древесно-кольцевых хронологий. Большинство кернов и дисков в базе данных Университета Восточной Финляндии были собраны в период с 1990 по 1995 год. Это позволяет использовать для исследования корреляционных связей период в 9–14 лет. Все хронологии, покрывающие период 18 лет и более, показали статистически значимую корреляцию между радиальным годичным приростом и наблюдениями со спутников. Статистически значимые корреляции временных серий вегетационных индексов с временными сериями стандартизированной ширины годичных колец в Северной Европе приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистически значимая связь временных серий вегетационных индексов с временными сериями стандартизированной ширины годичных колец в Северной Европе

Код хронологии в ITRDB	Порода дерева	Коэффициент корреляции Пирсона	Уровень значимости
finl002	Сосна обыкновенная	0,335*	0,026
finl003	Сосна обыкновенная	0,852**	0,000
russ083	Сосна обыкновенная	0,657*	0,200
russ118	Сосна обыкновенная	0,588*	0,040

Примечания. \* – корреляция значима на уровне 0,05; \*\* – корреляция значима на уровне 0,01.

Таким образом, анализ данных по Северной Европе позволяет сделать вывод, что есть статистически значимая связь между временными сериями годичного радиального прироста хвойных и временными сериями нормализованного вегетационного индекса. Это позволяет использовать NDVI как источник косвенных данных для оцен-

ки изменения продуктивности лесов. Отсутствие корреляции в большинстве серий на территорию Северной Европы объясняется отсутствием данных в сериях годичного прироста за последние десятилетия. Наши данные по Республике Коми показали, что в 7 современных хронологиях из 9 есть статистически значимая связь. Расширение сети современных хронологий и обновление имеющихся хронологий новыми данными позволит получить более детальные данные по силе и пространственному распределению связи годичного прироста различных древесных пород и вегетационных индексов.

Статистический анализ данных NDVI из базы GIMMS позволил построить карту изменения продуктивности лесов Северной Европы. Для этого были рассчитаны тренды в данных NDVI. Была построена карта ошибки прогнозирования (уровень статистической значимости 0,05). Причинами низкой статистической значимости трендов в данных NDVI на северные регионы являются высокодинамичная фенология растительности тундр и лесотундр, более короткий вегетационный период этих экотонов по сравнению с подзонами тайги и высокая облачность в высоких широтах.

Сравнение статистически значимых трендов в данных NDVI по странам Северной Европы и административно-территориальным единицам Северо-Запада России приведено в табл. 3.

Выявлено, что достоверно статистически значимое изменение продуктивности лесов за период с 1981 по 2003 год произошло на 23 % территории Северной Европы. При этом зарегистрировано как увеличение, так и сокращение продуктивности лесов. При использовании временных серий вегетационных индексов, построенных по архивным снимкам метеорологических спутников, изменение продуктивности лесов обнаруживается на 16 % территории Северо-Запада России. Однако нельзя утверждать, что изменения произошли только на этой части исследуемого региона, скорее всего, это лимитировано только качеством данных дистанционного зондирования. Тренды в данных NDVI были выявлены в 60 % пикселей, но статистически значимыми из них оказались только 16 %.

Общее среднее увеличение продуктивности лесов Северной Европы за период с 1981 по 2003 год произошло на 0,83 %. Полученный результат достоверен для 23 % территории района исследований. Наибольшее изменение продуктивности лесов – в Калининградской области (достоверно для 0,5 % территории). Продуктивность также увеличилась в других регионах Северо-Запада России: на 10 % – для 9 % площади Ненецкого автономного округа, на 25 % – для 2 % Псковской области, на 30 % – для 6 % Республики Карелия, на 5 % – для 15 % Республики Коми. Продуктивность сократилась на 7 % – для 11 % территории

Таблица 3

Изменение продуктивности лесов по данным NDVI в Северной Европе

Регион	Общее количество пикселей в базе данных GIMMS	% от территории региона	Количество пикселей со статистически значимыми трендами	% от общего числа проанализированных пикселей	Количество пикселей с увеличившейся продуктивностью лесов	% пикселей с увеличением продуктивности от общего числа пикселей с трендами	Количество пикселей с сокращающейся продуктивностью лесов	% пикселей с сокращением продуктивности от общего числа пикселей с трендами	Увеличение продуктивности лесов по регионам, %
Архангельская область	4811	11,1	1564	32,51	732	46,80	832	53,20	-6,39
Калининградская область	210	0,5	80	38,10	62	77,50	18	22,50	55,00
Ленинградская область	1327	3,1	397	29,92	172	43,32	225	56,68	-13,35
Мурманская область	2255	5,2	104	4,61	47	45,19	57	54,81	-9,62
Ненецкий автономный округ	4287	9,9	20	0,47	11	55,00	9	45,00	10,00
Новгородская область	864	2,0	279	32,29	97	34,77	182	65,23	-30,47
Псковская область	847	2,0	277	32,70	173	62,45	104	37,55	24,91
Республика Карелия	2705	6,2	820	30,31	532	64,88	288	35,12	29,76
Республика Коми	6521	15,0	1683	25,81	888	52,76	795	47,24	5,53
Вологодская область	2281	5,3	817	35,82	310	37,94	507	62,06	-24,11
Финляндия	5243	12,1	1349	25,73	735	54,48	614	45,52	8,97
Норвегия	5035	11,6	662	13,15	306	46,22	356	53,78	-7,55
Швеция	6982	16,1	1953	27,97	979	50,13	974	49,87	0,26
Северная Европа (исследуемый регион)	43 368	100,0	10 005	23,07	5044	50,41	4961	49,59	0,83

Архангельской области, на 13% – для 3% Ленинградской области, на 30% – для 2% Новгородской области, на 24% – для 5% Вологодской области.

Таким образом, наиболее значимые изменения продуктивности лесов произошли за период с 1981 по 2003 год в Республике Карелия и Республике Коми (увеличение продуктивности лесов), а также в Архангельской области (сокращение продуктивности лесов). В Скандинавских странах наиболее значимые изменения отмечены для Финляндии и Швеции (увеличение продуктивности лесов).

## ВЫВОДЫ

Значительные корреляционные коэффициенты между годовыми кольцами в Республике Коми и интегрированными значениями NDVI с июня по август показывают, что интегрированные значения NDVI могут быть использованы в качестве косвенных данных для оценки трендов роста леса в масштабе целого региона.

Анализ данных по Северной Европе позволяет сделать вывод о том, что аналогично Республике Коми есть статистически значимая связь между временными сериями годичного радиального прироста хвойных и временными сериями нормализованного вегетационного индекса. Это позволяет использовать NDVI как источник косвенных данных для оценки изменения продуктивности лесов.

Отсутствие корреляции в большинстве серий на территорию Северо-Запада России объясняется отсутствием данных в сериях годичного прироста за последние десятилетия. Достоверно статистически значимое изменение продуктивности лесов за последние десятилетия произошло на 23% территории Северо-Запада России.

В регионах Северо-Запада России произошло как увеличение, так и сокращение продуктивности лесов. Изменения продуктивности лесов произошли в лесных регионах и очень слабо выражены в регионах со сравнительно небольшими площадями, покрытыми лесом (Ненецкий автономный округ, Мурманская область, север Норвегии).

Увеличение продуктивности леса на изучаемом участке вызвало увеличение интегрированных значений NDVI с мая по август. Это свидетельствует о том, что NDVI может использоваться в качестве косвенных данных для оценки трендов в росте леса за последние десятилетия и для обобщения в масштабе подзон тайги. Данные NDVI могут быть использованы для увеличения пространственного разрешения ряда ширины годичных колец. Сокращение количества осадков приводит к некоторому увеличению NDVI. Увеличение продуктивности, отраженное в данных NDVI, максимально

для участков с повышенными температурами и низкими осадками. Существует несколько возможных причин изменения продуктивности (изменения видового состава и распространения видов). Изучение изменений растительности с использованием космических снимков высокого разрешения могло бы предоставить информацию о причинах увеличения продуктивности.

Результатом работы стала карта изменения продуктивности лесов Северо-Запада России за период с 1981 по 2003 год масштаба 1:10 000 000. Карта представлена в растровом формате и может быть использована в качестве основы для поддержки принятия решений по развитию лесного сектора. Карта позволяет выявить участ-

ки лесного фонда с наибольшим увеличением продуктивности за последние десятилетия, что представляет важную коммерческую информацию при принятии решений об аренде участков лесного фонда в долговременной перспективе. Область применения карты – стратегическое планирование на региональном уровне. Предварительные результаты показали необходимость создания хронологий апикального прироста и проведения мониторинга камбальной активности для сопоставления этих данных с данными дистанционного зондирования Земли. Разработанная методика и карта позволяют при незначительных затратах, связанных в основном с обработкой данных, проводить независимую оценку динамики продуктивности лесов.

\* Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.B37.21.1248).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bogaert J., Zhou L., Tucker C. J., Myneni R. B., Ceulemans R. Evidence for a persistent and extensive greening trend in Eurasia inferred from satellite vegetation index data // Journal of Geophysical Research-Atmospheres 2002. 107.
2. Cook E. R. A time series analysis approach to tree-ring standardization. 1985. 1–171. University of Tucson: Arizona.
3. Cook E. R., Briffa K. R., Jones P. D. Spatial Regression Methods in Dendroclimatology – A Review and Comparison of 2 Techniques // International Journal of Climatology. 1994. Vol. 14. P. 379–402.
4. Cook E. R., Kairiukstis L. A. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Netherlands: International Institute of Applied System Analysis, Kluwer Academic Publishers, 1990.
5. Grissino-Mayer H., Holmes R., Fritts H. International tree-ring data bank program library manual. Tucson, Arizona: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1990.
6. Lopatin E., Kolström T., Spiecker H. Determination of forest growth trends in Komi Republic (Northwestern Russia): combination of tree-ring analysis and remote sensing data // Boreal Environment Research. 2006. Vol. 11. P. 341–353.
7. Lorenz M. et al. Forest assessment for changing information needs // Forests in the global balance – changing paradigms // IUFRO World Series. 2005. Vol. 17. P. 139–150.
8. Wang J., Rich P. M., Price K. P., Kettle W. D. Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains // International Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 25. P. 3127–3138.

**Lopatin Ev. V.**, School of Forest Sciences, University of Eastern Finland (Joensuu, Finland)

#### METHOD FOR FOREST GROWTH DYNAMICS' ASSESSMENT USING TIME SERIES OF REMOTE SENSING DATA

Information about the state of forest resources in Russia is collected in the process of national forest inventory and forest management inventory. Intensification of forest management on the leased areas requires provision of updated information about the state of forest resources. The need for the up-to-date and high quality information on forest regions of Russia is large and constantly increasing. The aim of the study was to develop a method instrumental in identification of changes in the productivity of forests located in the north-west of Russia by using a combination of remote sensing and dendrochronological analysis. Significant correlation coefficients between the ring width in the Komi Republic and integrated NDVI values from June to August showed that the integrated NDVI values could be used as proxy data to assess trends in forest growth on a scale of the whole region. Analysis of the data from Northern Europe showed statistically significant correlation between the time series of conifers' ring width and time series of normalized vegetation index. This allows the use of NDVI as a source of proxy data to assess changes in forest productivity.

Key words: increment, spruce, pine, age, satellite images

#### REFERENCES

1. Bogaert J., Zhou L., Tucker C. J., Myneni R. B., Ceulemans R. Evidence for a persistent and extensive greening trend in Eurasia inferred from satellite vegetation index data // Journal of Geophysical Research-Atmospheres 2002. 107.
2. Cook E. R. A time series analysis approach to tree-ring standardization. 1985. 1–171. University of Tucson: Arizona.
3. Cook E. R., Briffa K. R., Jones P. D. Spatial Regression Methods in Dendroclimatology – A Review and Comparison of 2 Techniques // International Journal of Climatology. 1994. Vol. 14. P. 379–402.
4. Cook E. R., Kairiukstis L. A. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Netherlands: International Institute of Applied System Analysis, Kluwer Academic Publishers, 1990.
5. Grissino-Mayer H., Holmes R., Fritts H. International tree-ring data bank program library manual. Tucson, Arizona: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1990.
6. Lopatin E., Kolström T., Spiecker H. Determination of forest growth trends in Komi Republic (Northwestern Russia): combination of tree-ring analysis and remote sensing data // Boreal Environment Research. 2006. Vol. 11. P. 341–353.
7. Lorenz M. et al. Forest assessment for changing information needs // Forests in the global balance – changing paradigms // IUFRO World Series. 2005. Vol. 17. P. 139–150.
8. Wang J., Rich P. M., Price K. P., Kettle W. D. Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains // International Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 25. P. 3127–3138.

**НАТАЛЬЯ РУДОЛЬФОВНА СУНГУРОВА**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов лесотехнического института, Северный арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация).

*nsungurova@yandex.ru***РУДОЛЬФ ВАСИЛЬЕВИЧ СУНГУРОВ**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, Северный НИИ лесного хозяйства (Архангельск, Российская Федерация).

*sungurov51@yandex.ru*

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА РОСТ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР

Эффективность искусственного восстановления леса во многом обусловлена качеством посадочного материала при прочих равных условиях. С целью определения продолжительности влияния параметров посадочного материала на приживаемость и рост лесных культур изучались и анализировались опытные лесные культуры сосны и ели, созданные на свежих вырубках из-под ельников долгомошных, черничных свежих и влажных в условиях Северо-таежного района. Анализ выполненных исследований позволяет заключить, что влияние качества посадочного материала на состояние и рост лесных культур сосны и ели оказывается, по крайней мере, до 28-летнего возраста. Особенно это проявляется при использовании отборных сеянцев и саженцев, которые характеризуются стабильным ростом и более устойчивы к неблагоприятным факторам среды.

**Ключевые слова:** лесные культуры, сосна, ель, сеянцы, саженцы

Качество посадочного материала существенно влияет на эффективность искусственного восстановления леса. Причем такие результаты получены в разных географических условиях, с разными породами, при испытании конкурирующих технологических процессов и т. п. [1], [2], [3], [5], [11]. Ранее нами публиковались результаты подобных исследований для условий Северо-таежного района европейской части России [6], [7], [8], [9].

Анализировались опытные лесные культуры сосны и ели, созданные на свежих вырубках из-под ельников долгомошных (участок 4), черничных влажных (участок 1) и черничных свежих (участок 11) в условиях Северо-таежного района, с целью определения продолжительности влияния параметров посадочного материала на приживаемость и рост лесных культур.

**Участок 4** площадью 5 га заложен на пологом северо-западном склоне верхней плоской части приручейной террасы. Вырубка 1974 года из-под ельника долгомошного с количеством пней 700 шт./га. Почва – торфянисто-подзолистая глееватая на мелком суглинке.

Подготовка вырубки заключалась в корчевке пней, полосной расчистке вырубки от порубочных остатков и валежка. На данном участке заложены следующие варианты: 1) обработка почвы двухтвяльным плугом ПКЛ-70 по расчищенным и раскорчеванным полосам машиной МРП-2. Ширина полос 2 м, расстояние между их

серединами 6–8 м. В качестве посадочных мест использовались плужные пласти. 2) Фрезерование почвы на глубину 10–15 см фрезой болотной навесной ФБН-0,9 по расчищенным технологическим трассам машиной МРП-2. Для сбора верховодки через 6–8 м плугом ПКЛ-70 прокладывались дренирующие борозды, между которыми и были образованы фрезеполосы.

Испытывались стандартные сеянцы ели 2 лет, выращенные в полиэтиленовых теплицах, сеянцы ели 3 лет, выращенные в открытом грунте питомника, саженцы ели 3+3 и саженцы ели 2+2. Последние, кроме того, рассортированы на 5 групп по относительной массе по методу комплексной оценки качества посадочного материала, разработанному учеными лаборатории лесных культур АИЛХ (ныне ФБУ «СевНИИЛХ») [4]. В методических указаниях по описанию метода предложены критерии сортировки посадочного материала на группы по относительной массе, то есть отношению индивидуальной массы растения к средней массе всей испытываемой партии. При сортировке перед посадкой к первой группе относили растения с относительной массой менее 0,4 от средней, которые в последующем предлагалось браковать. Ко второй – растения с относительной массой 0,4–0,8, к третьей – 0,8–1,2, к четвертой – 1,2–1,6, к пятой – 1,6 и более. Сеянцы второй, третьей групп рассматривали как обычный стандартный посадочный материал;