

УДК 630\*5:630\*91:004:528.946:349.415

## ОЦЕНКА ЗАПАСА ДРЕВОСТОЕВ НА ЗЕМЛЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА С УЧЕТОМ АНТРОПОГЕННЫХ РИСКОВ: ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Лепихина Ольга Юрьевна<sup>1</sup>,  
Lepikhina\_OYu@pers.spmi.ru

Демидова Полина Михайловна<sup>1</sup>,  
Demidova\_PM@pers.spmi.ru

Колесник Ольга Александровна<sup>1</sup>,  
Kolesnik\_OA@pers.spmi.ru

Ковязин Василий Федорович<sup>1</sup>,  
vfkedr@mail.ru

Гурьева Ольга Сергеевна<sup>1</sup>,  
olga.gureva1995@gmail.com

Басова Лидия Алексеевна<sup>1</sup>,  
s205051@stud.spmi.ru

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет,  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2.

**Актуальность.** Задача обеспечения автоматизированного учета, оценки и прогноза запаса лесных ресурсов является одной из важнейших направлений государственной стратегии развития лесного комплекса. Создание автоматизированной информационной системы по геодезическим данным, способной реализовывать качественный и полноценный информационный процесс по сбору, обработке, анализу, моделированию, прогнозу и визуализации пространственно-временных данных о состоянии лесных ресурсов с учетом основных рисков лесного хозяйства, является одним из важных механизмов повышения эффективности лесопользования.

**Цель:** создание методического и программного обеспечения оценки запаса древесных ресурсов на землях лесного фонда с учетом антропогенных рисков.

**Объекты:** лесные насаждения Чернореченского участкового лесничества Всеволожского лесничества Ленинградской области.

**Методы.** На основе применения методов регрессионного моделирования получены математические модели зависимости запаса насаждений различных древесных пород от среднего возраста древостоя в лесном выделе; в основу разработанного программного обеспечения заложены авторские методические решения по оценке и прогнозу запаса древесины.

**Результаты.** Применение полученных зависимостей для Чернореченского лесничества Всеволожского района Ленинградской области позволило рассчитать значения запаса древесины по состоянию на 2011 и 2021 гг., а также спрогнозировать его значения на 2031 г. Предложена методика оценки ущерба пожара на землях лесного фонда на основе интегрального показателя риска. Автоматизация расчета данного показателя в созданной программе позволила осуществить дифференциацию земель лесничества по трем классам риска пожаров. Сформирована карта зонирования территории объекта исследования по риску сплошных и самовольных рубок леса. Созданное программно-методическое обеспечение может служить основой для реализации одного из главных направлений стратегии развития лесного комплекса России в части создания единой федерально-информационной системы учета и прогноза текущего прироста запаса древесных ресурсов лесного фонда.

### Ключевые слова:

лесные насаждения, запас древостоев, автоматизация учёта лесных ресурсов, антропогенные риски, методика оценки пожара.

### Введение

В России лесопокрываемые территории занимают почти 50 % площади страны и 96 % земель лесного фонда. При оценке (таксации) лесного фонда главным показателем является запас древостоя, который характеризует продуктивность лесных земель. Россия является крупнейшей державой по запасам древесины – в целом по стране запасы составляют около 82 млрд м<sup>3</sup>. Средний годичный прирост древесины составляет около 931 млн м<sup>3</sup>.

Наиболее ощутимый ущерб лесам наносится в результате воздействия лесных пожаров (60 % площади погибших лесов), погодных явлений (25 %), вредителей и болезней леса (15 %), промышленных выбросов,

незаконных рубок древесины. Причём более 70 % лесных пожаров возникают из-за влияния антропогенного фактора [1]. Например, за период с 01.01.2021 по 14.11.2021 гг. на землях лесного фонда в Северо-Западном Федеральном округе России зафиксировано 1430 пожаров, а площадь, пройденная огнём, составила 30935,46 га; всего за данный промежуток времени по Российской Федерации произошло 15094 пожаров общей площадью возгорания 10058314,40 га [1]. Исходя из вышесказанного, особую актуальность приобретают задачи охраны лесов с учётом природных и антропогенных рисков.

Для повышения эффективности лесной отрасли и обеспечения устойчивого управления лесным фондом

Правительством РФ разработана «Стратегия развития лесного комплекса» [2], в рамках которой ставятся следующие основные цели: обеспечение достоверными сведениями о лесном фонде, увеличение доли лесного хозяйства в доле валового внутреннего продукта, своевременное и качественное определение запаса древесины, повышение оперативности тушения лесных пожаров до 92,5 %, создание внутреннего рынка круглых лесоматериалов, доведение площади лесовосстановления до 100 %, а также повышение лесистости земель страны до 49,4 % .

Одной из важных проблем на пути достижения отмеченных целей является отсутствие полноценной и единой для территории страны автоматизированной информационной системы сбора, анализа, обработки и наглядного представления данных о запасах лесных ресурсов, а также прогнозе их развития. Причин такого положения несколько.

Во-первых, малая обеспеченность Правительства качественным геопривязанным цифровым картографическим материалом. Значительная доля карт и планов земель лесничеств до сих пор представлена в традиционном бумажном виде. Отсутствие координатной привязки объектов лесничеств существенно снижает эффективность учета и прогноза состояния лесных ресурсов, а также ведет к невозможности использования большого набора современных методов и средств геопространственного анализа и моделирования таксационных данных. Аналогична ситуация с семантическими данными. Так, к примеру, данные о таксационных показателях древостоев до сих пор можно получить исключительно из традиционных лесных справочников, что также затрудняет учет, анализ и прогноз состояния лесов.

Во-вторых, существует проблема недостаточной достоверности и качества инвентаризации лесонасаждений. В таксационных описаниях и планшетах много ошибок как в геопривязке объектов, так и в их описаниях.

В-третьих, остро стоит проблема неактуальности существующих данных о лесном фонде.

Одним из важных механизмов повышения эффективности лесопользования является создание автоматизированной информационной системы, способной реализовывать качественный и полноценный информационный процесс по сбору, обработке, анализу, моделированию, прогнозу и визуализации пространственно-временных данных о состоянии лесных ресурсов с учетом основных рисков лесного хозяйства.

#### **Обзор работ по оценке запаса древостоев на землях лесного фонда и влиянию антропогенных рисков на запас древостоев**

Леса в целом являются одним из факторов, обеспечивающих качество жизни человечества, выполняя атмосферочистительную, водоохранную, защитную, экономическую и социальную функции.

Что касается оценки запаса древостоев и экономики леса, отдельные вопросы рассматривались в работах Н.В. Малышевой [3], Л.Е. Курлович [4], J.R. Brazee, P. Dwivedi [5], A. Niskanen и др. [6],

Т.Н. Nguyen, К. Kanemoto [7], D. Panagiotidis, A. Abdollahnejad [8]. Интересно, на наш взгляд, исследование, целью которого являлась оценка эффективности методов машинного обучения и регрессии опорных векторов для предсказания наземной биомассы лесов с 318 участков постоянной выборки с помощью датчика Landsat 8 OLI, спектральных индексов, физических переменных в Западной Сьерра-Мадре в Мексике [9].

Большое количество работ в России посвящено вопросам экономической оценки земель, преимущественно городских территорий, например, Е.Н. Быковой, О.Ю. Лепихиной, А.М. Рыбкиной и др. [10–12]. Однако некоторые учёные рассматривают в своих исследованиях экономическую оценку именно лесопокрываемых земель [13, 14].

Некоторым аспектам исследования рисков посвящены труды ученых В.В. Юрак, М.А. Пашкевич, М.В. Волкодаевой, А.В. Алексеенко, И.А. Стручкова и др. [15–22]. А управление рисками в лесном хозяйстве рассмотрено в работах А.Р. Безпалько [23], Т.Е. Катковой [24–26], В.Н. Петрова [27] и др.

Также существует ряд исследований, посвященных моделированию роста и развития лесов, например, работа П.В. Михайлова [28], а также вопросам обезлесения лесных территорий и вырубке, утрате биологического разнообразия лесов, например, работы E. Han, Q. Huang и D. López-Carr [29, 30].

Одним из эффективных средств хранения больших объемов таксационных данных и выполнения пространственных запросов к ним являются геоинформационные системы [31, 32]. Особо стоит отметить работу X. Yang и др. [33], в которой в качестве переменных, влияющих на возникновение лесных пожаров, использовались двенадцать факторов, связанных с топографией, климатическими условиями, характеристиками растительности и деятельностью человека. В данной работе с помощью инструментов ГИС и Maxent построена модель оценки риска лесных пожаров, учитывающая влияние различных факторов окружающей среды на лесные пожары в провинции Хунань. В статье авторов Y. Meng, B. Cao, C. Dong, X. Dong [34] оценивалось санитарное состояние лесной горной экосистемы Тайшань с использованием метода пространственного анализа ГИС и данных наземной инвентаризации лесов.

Вопросы информационного обеспечения земель лесного фонда рассматривались в работах российских ученых Е.А. Иванцовой, А.П. Мохирева, И.Ю. Харлова и др. [35–37]. Стоит отметить, что в Российской Федерации существует ряд информационных систем земельной направленности, функционирующих онлайн. Это Публичная кадастровая карта, Региональная геоинформационная система Санкт-Петербурга, Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения. Также существуют подобные информационные системы, посвященные лесным насаждениям и запасам лесных ресурсов (ГИС «ЛесФонд»; интерактивная карта «Леса России» (геопортал); ЕГАИС учёта древесины и сделок с ней; леса высокой природоохранной ценности

(ЛВПЦ)) и отдельно рискам лесопользования – пожарам (ИСДМ-Рослесхоз).

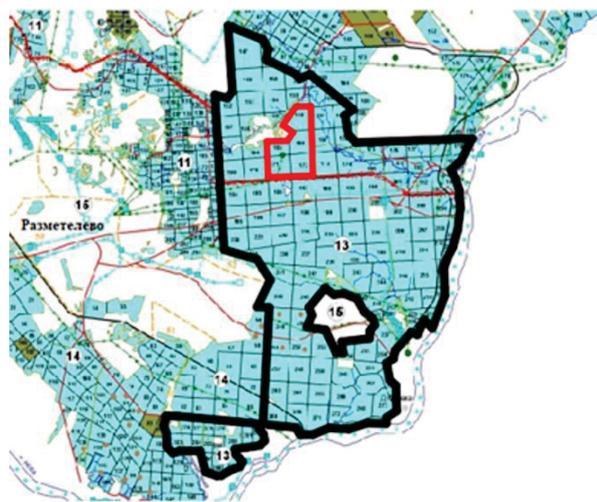
Однако, если говорить об автоматизированной оценке запаса древостоев, на настоящий момент в России отсутствует программное обеспечение подобного рода. Поэтому ниже авторами предложен методический подход оценки запаса древостоев на землях лесного фонда с учетом антропогенных рисков и программное обеспечение для реализации данной задачи.

При разработке методики авторами рассмотрены и приняты во внимание существующие подходы к расчету интегрального показателя риска пожаров на землях лесного фонда [38, 39].

#### **Объект исследования и создание геопространственной базы данных территории объекта исследования**

Исследуемый лесной участок площадью 578,3 га – кварталы 160, 165, 166, 171, 172 Чернореченского лесничества (границы показаны красным на рис. 1). Всего в лесничество входит 143 квартала с №№ 147–289 (его границы показаны черным на рис. 1).

Исследуемая территория расположена в центральной части Ленинградской области на территории Всеволожского лесничества. Общая площадь лесничества 113145 га. Лесничество состоит из 15 участковых лесничеств, наибольшую его часть занимает Чернореченское.



**Рис. 1.** Границы исследуемого лесного массива  
**Fig. 1.** Boundaries of the forest area under study

Сведения о границах Чернореченского лесничества внесены в Единый государственный реестр недвижимости как часть земельного участка с кадастровым номером 47:00:0000000:2. Границы самого земельного участка не установлены, в Едином государственном реестре недвижимости отсутствуют сведения о координатах характерных точек границ земельного участка. Для проведения исследования использованы данные о координатной привязке части земельного участка и определены координаты границ всех выделов путем оцифровки данных контуров. Пространственная привязка растровых данных выполняется с указанием местоположения в Местной

системе координат МСК-47 (зона 2). Пространственные данные позволяют выполнять к ним различные запросы, что очень важно при создании автоматизированной информационной системы.

На территории лесничества создан государственный природный заказник «Приневский», который располагается в восточной части Чернореченского лесничества и не затрагивает изучаемую территорию. Наличие заказника влияет на запасы древесины примыкающих лесничеств.

Изучаемые кварталы граничат с дачным поселком «Березовка» общей площадью 30 га, разделенным на 200 земельных участков. Поселок построен посреди лесного массива. Расположенное неподалеку от поселка озеро Лазурное имеет песчаный пляж с благоустроенной территорией и наличием построек: кафе, спортивные и детские игровые площадки, детский городок. Дорога, по которой осуществляется проезд к озеру проходит через изучаемые кварталы, что приводит к риску возникновения пожаров на данной территории, особенно в весенне-летнее время года.

Изучаемые кварталы № 171, 172 располагаются вблизи нефтеперекачивающей станции (НПС) «Невская», которая обеспечивает транспортировку в направлении порта Приморск не только нефти, но и нефтепродуктов. С 2018 г. здесь работает пункт, обеспечивающий налив дизтоплива в автоцистерны. Расположение станции внутри лесного массива также приводит к риску возникновения пожаров на данной территории (рис. 2).

Преобладающими древесными породами на изучаемых землях является сосна обыкновенная и береза повислая. На некоторых выделах присутствует осина (тополь дрожащий), реже встречается ель европейская.

Государственная инвентаризация лесов России проводится один раз в 10 лет. В 2021 г. проводился второй этап инвентаризации лесов Ленинградской области. Для отображения динамики изменения запаса древесины использованы данные наземной таксации лесов 2011, 2021 гг., а также рассчитаны прогнозные значения показателей на 2031 г.

Геопространственная база данных земель объекта исследования создана в геоинформационной системе MAPINFO. Источниками данных являлись лесоустроительные документы последнего года инвентаризации: план лесонасаждений Чернореченского участкового лесничества и таксационные описания выделов, расположенных на землях лесничества. Сформированы следующие слои данных:

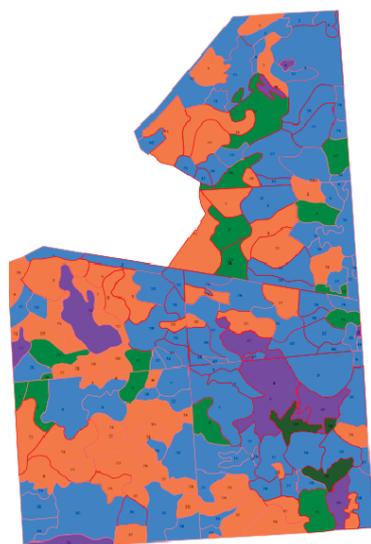
- участковые лесные кварталы (состав атрибутивных данных: учетный номер квартала; площадь, га);
- участковые выделы (состав атрибутивных данных: учетный номер выдела; учетный номер квартала; площадь; преобладающая порода; средний возраст насаждений; средняя высота; средний диаметр дерева, класс бонитета).

Графическая часть проекта и фрагмент атрибутивной базы данных представлены на рис. 3.



**Рис. 2.** Расположение дачного поселка «Березовка» и нефтеперекачивающей станции «Невская» относительно лесного массива

**Fig. 2.** Location of the dacha village «Berezovka» and the oil pumping station «Nevsky»



Площадь_га	Тип древостоя	Возраст_лет_2011	Высота_м_2011	Диаметр_см_2011	Бонитет
5.09	сосняки	50	16	16	2
0.81	березняки	45	17	14	2
1.51	березняки	50	16	14	3
3.05	сосняки	60	15	18	3
2.46	сосняки	60	16	20	3
2.31	березняки	35	13	12	3
2.22	сосняки	50	19	20	1
3.40	болото	-	-	-	-
1.57	сосняки	65	22	24	1
4.30	березняки	50	14	14	4
5.86	березняки	40	16	14	2
3.87	осинники	45	19	18	2
9.59	березняки	50	19	16	2
1.53	березняки	55	17	14	3
2.81	березняки	45	13	12	4
0.91	сосняки	55	20	24	1
13.63	болото	-	-	-	-

**тип\_древостоя**



**Рис. 3.** Графическая и атрибутивная часть геопространственной базы данных исследуемых кварталов Чернореchenского лесничества

**Fig. 3.** Graphic and attributive part of the geospatial database of the studied quarters of the Chernorechensk forestry

**Методика исследования**

Общую последовательность работ представим в виде этапов исследования (рис. 4).

Далее рассмотрим каждый из этапов подробнее.

1. *Оценка и прогноз объема запаса древостоев по различным породам и классам бонитета на территории Ленинградской области на основе метода статистического моделирования.* Математическое моделирование динамики таксационных показателей широко применяется в практике лесного хозяйства в последние десятилетия. Для условий таежной зоны Ленинградской области по каждой лесообразующей породе профессором А.В. Тюриным в 1912–1930 гг. составлены всепородные таблицы хода роста насаждений на основе местных (Ленинградских) насаждений различных пород и условий местопроизрастания. Таблицы хода роста дифференцированы по классам

бонитета и по преобладающим породам. Однако для совокупности данных таксации отсутствуют математические модели. Это обстоятельство побудило авторов разработать регрессионные модели и применить их с целью расчета запасов древостоев на объекте исследования.

2. *Анализ и оценка возможных антропогенных рисков лесопользования на территории объекта исследования.* Необходимость учета рисков в лесном хозяйстве обусловлена тем, что длительность воспроизводства лесов зависит от типа лесорастительных условий и породного состава и составляет несколько десятилетий (более 60 лет).

Выбор того или иного способа количественной оценки рисков зависит от объема доступной информации о риске и требуемой точности оценок. Также приходится учитывать фактический уровень риска.

Общий принцип при выборе методов измерения сводится к максимально возможному использованию доступных статистических данных. Если их нет, они недостаточны или неприменимы, фактический материал заменяется теоретическими гипотезами или экспертными оценками.

1. Оценка и прогноз запаса древостоев по различным породам и классам бонитета на территории Ленинградской области на основе метода статистического моделирования	
1.1.	Сбор данных о ходе роста древесных насаждений Ленинградской области по данным последней таксации по состоянию на 2011 год
1.2.	Построение и оценка качества регрессионных моделей зависимости запаса по различным породам и классам бонитета от таксационных показателей древостоев
1.3.	Расчет запаса древостоев для объекта исследования на основе полученных регрессионных моделей с учетом таксационных характеристик насаждений
2. Анализ возможных антропогенных рисков лесопользования на территории объекта исследования	
2.1. Анализ риска пожаров	
2.1.1.	Выявление потенциальных источников пожаров на территории объекта исследования
2.1.2.	Формирование показателей риска пожаров и определение их значений
2.1.3.	Расчет интегральных показателей уровня риска пожаров для каждого участкового выдела и определение классов риска пожаров
2.1.4.	Зонирование территории объекта исследования по классам риска пожаров
2.2. Анализ риска рубок спелых насаждений	
2.2.1.	Создание графической и семантической базы данных планируемых рубок спелых насаждений на территории объекта исследования
2.2.2.	Зонирование территории объекта исследования по планируемым сплошным рубкам
3. Разработка программного обеспечения оценки динамики запаса с учетом исследуемых рисков	
3.1.	Проектирование архитектуры приложения
3.2.	Разработка концепции программного обеспечения
3.3.	Формирование структуры базы данных

Рис. 4. Последовательность работ в рамках исследования  
 Fig. 4. Sequence of work in the framework of the study

2.1. Пожары. Одним из вариантов количественной оценки ущерба от пожаров может служить использование интегрального показателя риска, предусматривающего учет потенциальных источников пожарной опасности лесного фонда, а также степени их влияния на возникновение огня.

Этап формирования системы показателей при построении интегрального показателя риска является одним из ключевых. Должны удовлетворяться следующие требования: показатель должен отражать рассматриваемый фактор; быть доступным в официальной статистике, иметь числовые значения в одной из информационных баз, быть простым в измерении характеристик и представлять возможность сопоставления (сравнения); должен иметь возможность построения и интерпретации интегрального показателя [73].

В качестве показателей риска пожаров нами предлагается использовать доступность потенциальных источников пожара. Количественно оценить эти показатели предлагается путем измерения расстояния от выдела до ближайшего объекта соответствующего показателя.

Этап построения интегрального показателя риска включает такие процедуры, как нормирование, взвешивание и агрегирование. Для целей агрегирования использован метод по сумме средневзвешенных арифметических групповых показателей, на основании которого расчет интегрального показателя риска ( $I_k$ ) производится по формуле (1):

$$I_k = \sum_{i=1}^n K_{ij} \cdot L_j, \quad (1)$$

где  $K_{ij}$  – нормированное значение  $j$ -го показателя риска для  $i$ -го объекта;  $L_j$  – вес  $j$ -го показателя риска.

С целью нормирования показателя риска использован метод «минимум–максимум», достоинством которого является сохранение разброса значений показателей. Расчет нормированного показателя  $K_{ij}$  производится по формуле (2):

$$K_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}}, \quad (2)$$

где  $X_{ij}$  – значение  $j$ -го показателя риска  $i$ -го оцениваемого объекта;  $X_{\min j}$  – минимальное значение  $j$ -го показателя риска по всем оцениваемым объектам;  $X_{\max j}$  – максимальное значение  $j$ -го показателя риска по всем оцениваемым объектам.

2.2. Сплошные рубки спелых древостоев и самовольные (незаконные) рубки. При сплошных рубках весь древостой на лесосеке вырубается за один прием. Для сохранения природной среды при сплошной рубке спелого леса необходимо соблюдать организационно-технические показатели рубок (ширину лесосеки, направления лесосеки и рубки, способ и срок примыкания лесосек и число зарубов).

В Российской Федерации около 60 % спелого леса находится в аренде. Заготовку древесины ведут арендаторы лесного фонда, которые не заинтересованы в соблюдении организационно-технических показателей рубок спелых и перестойных насаждений по экономическим соображениям. После сплошных механизированных рубок леса отмечаются отрицательные экологические последствия не только на лесосеке, но и на соседних кварталах. Нарушения проявляются в следующем: усиление поверхностного стока, формирование глеевого горизонта почвы, заболачивание вырубки, уменьшение в почве элементов питания и микроэлементов, нарушение гидрологического режима рек, увеличение бактериального загрязнения воды, обеднение видового разнообразия флоры и фауны, смена ценных хвойных пород второстепенными мелколиственными, уменьшение стока углерода из атмосферы и нарушение глобального углеродного цикла. При самовольных рубках ежегодно вырубается более 1,6 тыс. м<sup>3</sup> древесины, ущерб составляет более 11288,6 млн р.

3. Программное обеспечение оценки и прогнозирования запасов древостоев с учетом антропогенных рисков. С целью повышения эффективности оценки запасов древостоев, а также анализа и учета различных рисков лесопользования авторским коллективом разработан программный продукт «Программа для оценки и прогноза запасов древостоев с учетом антропогенных рисков».

Данный программный продукт предназначен для выполнения следующих задач: 1) расчет запаса древесных пород; 2) оценка риска возникновения пожаров в лесу; 3) оценка риска сплошных и самовольных рубок.

На первом этапе проектирование архитектуры программного обеспечения заключалось в выборе структурных элементов и их интерфейсов, а также их поведения в рамках сотрудничества структурных элементов. На втором этапе проводилось соединение выбранных элементов структуры в более крупные системы. На третьем этапе определен архитектурный стиль будущего программного обеспечения. В заключение осуществлена организация функционирования системы – элементов и интерфейсов, их сотрудничество и соединение.

Концептуально разрабатываемое программное обеспечение определено как автоматизированное средство по расчету запасов древесины различных пород, произрастающих на лесных кварталах и выделах, и отображению полученных значений запаса в виде столбчатых диаграмм, а также визуализации данных по антропогенным рискам (пожары и сплошные рубки) в виде тематических карт.

Структура базы данных программы представляет собой набор векторных данных формата \*.MIF/\*.MID и соответствующие им наборы атрибутивных сведений, содержащих таксационные характеристики лесных насаждений.

Работа программы возможна под управлением операционной системы Windows 10. Для работы программы необходимо наличие установленной программной платформы (в дистрибутив не входит) NET. framework 4.7.2 или более старшей версии.

## Результаты

1. Оценка и прогноз объема запаса древостоев по различным породам и классам бонитета на территории Ленинградской области на основе метода статистического моделирования.

На основе статистической обработки данных хода роста насаждений различных пород Ленинградской области получены значимые (с коэффициентом детерминации  $R^2$ , превышающим значение 0,9) регрессионные уравнения зависимости запаса насаждений ( $m^3/га$ ) от среднего возраста породы по каждому из пяти классов бонитета. Графики полученных зависимостей по породам представлены на рис. 5.

На основе полученных зависимостей рассчитан запас древостоев на 1 га и на общую площадь для каждого выдела объекта исследования в зависимости от преобладающей породы и класса бонитета. Так как учет запаса древостоев производится по каждому таксационному кварталу лесничества, в дальнейшем рассчитаны суммарные запасы на 2011, 2021 гг. и прогнозные значения на 2031 г. по каждой породе (рис. 6).

По полученным математическим моделям был осуществлен расчет запасов древостоев для объекта исследования, что позволит осуществлять учет, управление и планирование лесным хозяйством.

2. Результаты анализа и оценка возможных антропогенных рисков лесопользования на объекте исследования. Для территории объекта исследования такими источниками являются: жилой массив (СНТ «Березовка»), НПС «Невская», автомобильные дороги, тропиночная сеть.

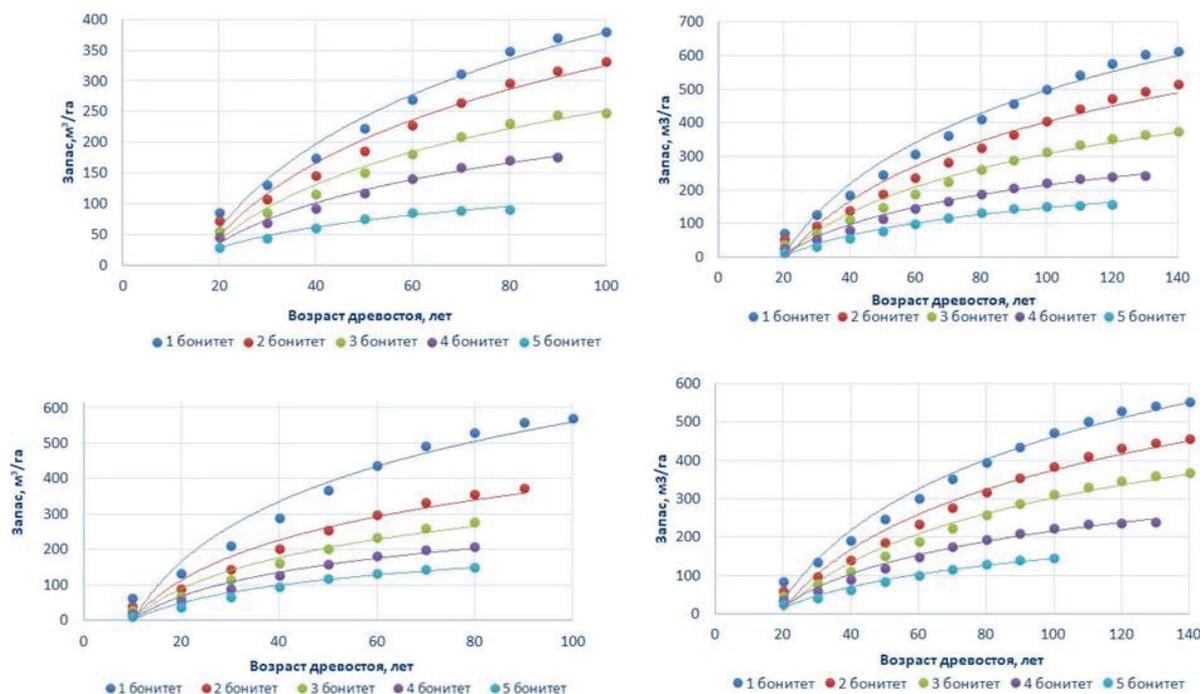


Рис. 5. Динамика запаса березовых насаждений (слева сверху), еловых насаждений (справа сверху), осиновых насаждений (слева снизу), сосновых насаждений (справа снизу)

Fig. 5. Dynamics of the stock of birch plantations (top left), spruce plantations (top right), aspen plantations (bottom left), pine plantations (bottom right)

Площадь_га	Тип древостоя	Возраст_лет_2011	Высота_м_2011	Диаметр_см_2011	Бонитет
5.09	сосняки	50	16	16	2
0.81	березняки	45	17	14	2
1.51	березняки	50	16	14	3
3.05	сосняки	60	15	18	3
2.46	сосняки	60	16	20	3
2.31	березняки	35	13	12	3
2.22	сосняки	50	19	20	1
3.40	болото	–	–	–	–
1.57	сосняки	65	22	24	1
4.30	березняки	50	14	14	4
5.86	березняки	40	16	14	2
3.87	осинники	45	19	18	2
9.59	березняки	50	19	16	2
1.53	березняки	55	17	14	3
2.81	березняки	45	13	12	4
0.91	сосняки	55	20	24	1
13.63	болото	–	–	–	–

Рис. 6. Суммарные запасы древостоев различных пород на 2011, 2021 и 2031 гг. (прогноз)

Fig. 6. Total stocks of stands of various breeds for 2011, 2021 and 2031 (forecast)

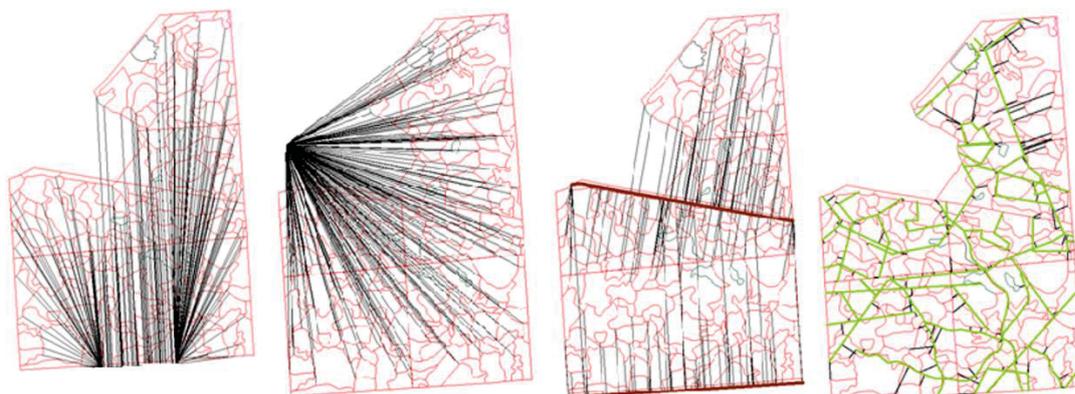


Рис. 7. Использование инструментов пространственного анализа ГИС для определения расстояний до потенциальных источников пожара

Fig. 7. Using GIS spatial analysis tools to determine distances to potential fire sources

Проведенный анализ риска сплошной и самовольной рубки позволил сформировать тематическую карту, наглядно иллюстрирующую лесные земли с полной вырубкой древостоя к 2031 г. (рис. 8, б).

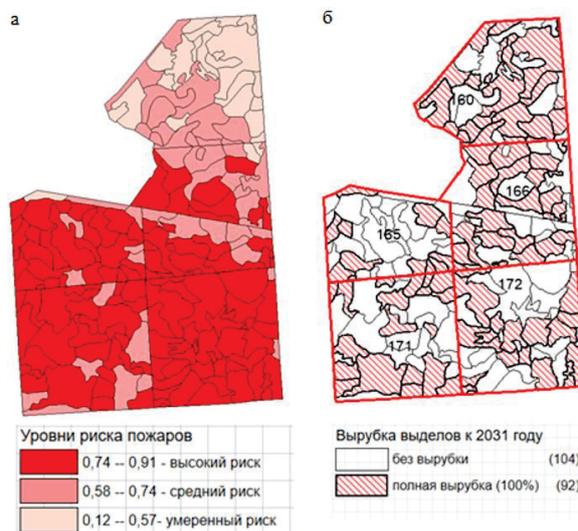
В качестве  $X_j$  учитываются следующие показатели риска:  $X_1$  – расстояние до СНТ «Березовка»,  $X_2$  – расстояние до НПС «Невская»,  $X_3$  – расстояние до ближайшей автомобильной дороги,  $X_4$  – расстояние до ближайшей тропинки. Для сбора данных о значениях вышеприведенных показателей риска пожаров были использованы средства геопространственного анализа MAPINFO (рис. 7).

Вес ( $L_j$ ) каждого показателя определялся на основании мнения авторского коллектива, и его значения для показателей  $X_1$ – $X_4$  составили соответственно 0,2; 0,3; 0,1; 0,4. При задании веса коллектив руководителей имеющимися статистическими данными о возникших на территории Ленинградской области пожарах за 2020 г., размещенными на сайте Главного управления Министерства чрезвычайных ситуаций по Ленинградской области.

Далее по формуле (1) были рассчитаны интегральные коэффициенты риска пожаров для каждого выдела. По значениям рассчитанных интегральных коэффициентов риска пожаров построена тематическая карта, иллюстрирующая зонирование территории объекта исследования по трем уровням риска: высокий, средний, умеренный (рис. 8, а).

Рис. 8. Зонирование земель объекта исследования по: а) уровню риска пожаров; б) риску сплошной рубки главного пользования

Fig. 8. Zoning of the lands of the object of study according to: а) the level of risk of fires; б) the risk of continuous logging of the main use



3. *Возможности программного обеспечения оценки и прогноза запасов древостоев с учетом антропогенных рисков.* Созданное авторами программное обеспечение является инструментом по автоматизации предлагаемых методических решений. Рабочая область приложения включает в себя область карты выделов объекта исследования, а также набор вспомогательных меню (рис. 9).

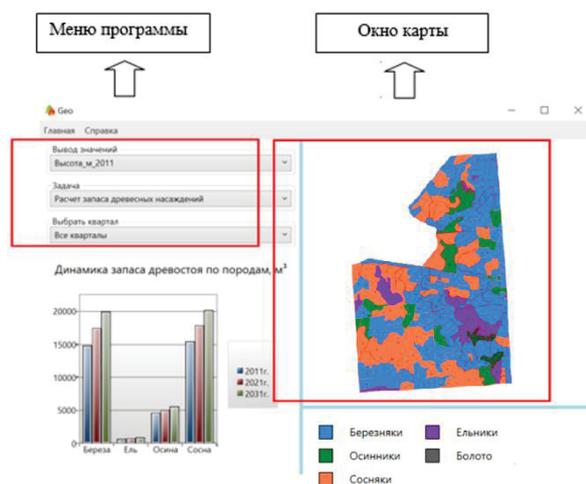


Рис. 9. Интерфейс программы  
 Fig. 9. Program interface

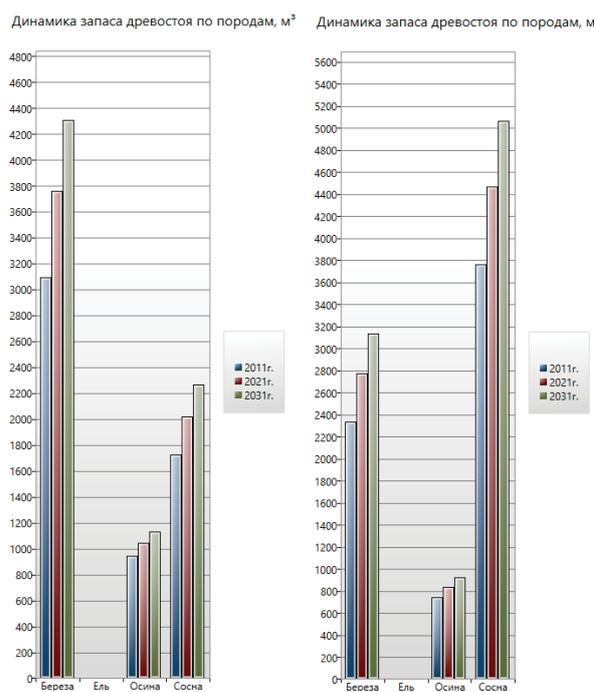


Рис. 10. Иллюстрация диаграмм запасов древостоев для кварталов 160 и 165  
 Fig. 10. Diagrams of stand stocks for districts 160 and 165

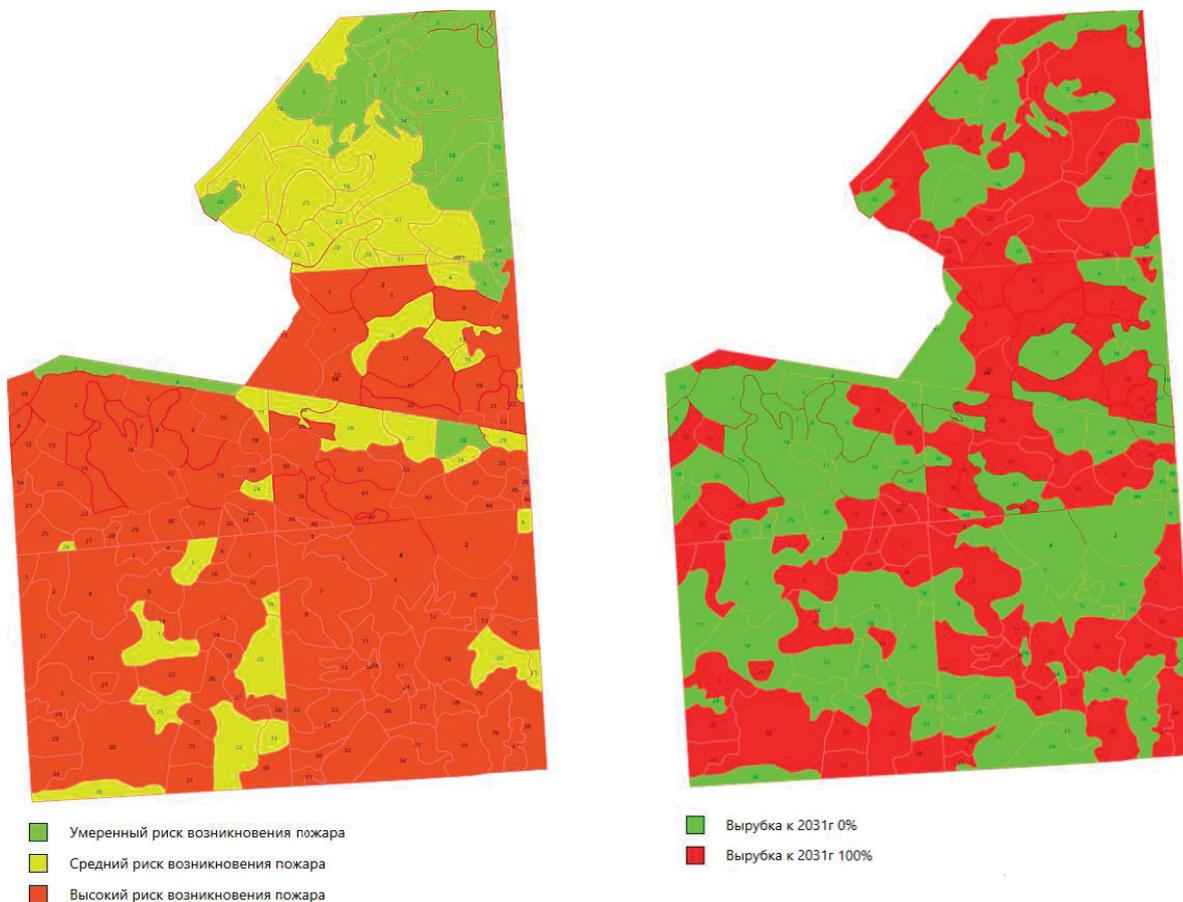


Рис. 11. Иллюстрация карты риска пожаров и вырубке древостоя  
 Fig. 11. Illustration of the fire risk map and felling of a stand

Меню «Вывод значений» позволяет наглядно отображать заданные характеристики насаждений выделов, такие как преобладающая порода, возраст, средний диаметр, средняя высота и т. д. Меню «Задача» позволяет выбрать требуемую задачу из списка и осуществить наглядную визуализацию результатов ее решения в окне карты. Меню «Выбрать квартал» позволяет отображать заданный таксационный квартал в окне карты либо все кварталы одновременно. При выборе конкретного квартала (или всей совокупности кварталов) на диаграмме отображается динамика запасов древостоев по породам на 2011, 2021 и 2031 гг. (рис. 10).

Помимо решения задач расчета запасов древостоев программа позволяет формировать и наглядно отображать карты риска пожаров и сплошных рубок леса (рис. 11). Также в программе предусмотрена возможность импорта новых данных из ГИС MAPINFO. Для импорта данных необходимо в ГИС подготовить файл для экспорта. Экспорт осуществляется посредством файлов формата \*.MIF/\*.MID. данный файл должен содержать в себе векторные карты регионов и базу данных таксационных характеристик древостоев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Федерального бюджетного института «Авиалесохрана». URL: <https://avialeso.ru> (дата обращения 13.11.2021).
2. Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 №312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения 11.11.2021)
3. Количественная оценка запасов древесного детрита в лесах Российской Федерации по данным ГИЛ / Н.В. Малышева, А.Н. Филиппчук, Т.А. Золина, Г.В. Сильнягина // Лесохозяйственная информация. – 2019. – № 1. – С. 101–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.09>
4. Курлович Л.Е., Косицын В.Н., Цареградская С.Ю. Совершенствование методов учета и оценки запасов недревесных ресурсов леса на современном этапе // Лесохозяйственная информация. – 2019. – № 3. – С. 73–81. DOI: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.06>
5. Brazee J.R., Dwivedi P. Optimal forest rotation with multiple product classes // Forest Science. – 2015. – V. 61. – № 3. – P. 458–465. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.13-207>
6. Niskanen A., Petrov A., Filoushkina G. Economic accessibility of forest resources in Northwest Russia // EFI Proceedings. – 2004. – V. 48. – P. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.198346>
7. Nguyen T.H., Kanemoto K. Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests // Nature Ecology & Evolution. – 2021. – V. 5. – P. 845–853. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01417-z>
8. Panagiotidis D., Abdollahnejad A. Accuracy assessment of total stem volume using close-range sensing: advances in precision forestry // Forests. – 2021. – V. 12. – № 717. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12060717>
9. Modeling of aboveground biomass with Landsat 8 OLI and machine learning in temperate forests / P.M. López-Serrano, J.L. Cárdenas Domínguez, J.J. Corral-Rivas, E. Jiménez, C.A. López-Sánchez, D.J. Vega-Nieva // Forests. – 2020. – V. 11. – № 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11010011>
10. Быкова Е. Н. Оценка негативных инфраструктурных экстерналий при определении стоимости земель // Записки Горного

#### Выводы

Результатом проведенного авторами исследования является формирование программно-методического обеспечения одной из задач правительственного документа, связанной с созданием федеральной географической информационной системы (ФГИС) для определения запаса древесных ресурсов, начиная от лесного участка и заканчивая местом реализации.

Для решения данной задачи авторами разработано программное обеспечение оценки накопления запаса насаждения с возрастом древостоя с учетом антропогенных рисков, которое апробировано на тестовых лесных участках Ленинградской области в Балтийско-Белозерском таежном районе.

Одним из достоинств созданного программного обеспечения является возможность импортирования в его среду векторных данных различных форматов. В дальнейшем планируется определять не только таксационные показатели древостоев, но и оценивать условия местопроизрастания древесно-кустарниковой растительности (тип почвы, рельеф, экспозиция склона, гидрологические и климатические условия). Предлагаемое программное обеспечение определения запаса древостоев может быть использовано при осуществлении комплексной оценки продуктивности земель лесного фонда в различных субъектах Российской Федерации.

- института. – 2021. – Т. 247. – С. 154–170. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.16>
11. Лепихина О.Ю., Балтыжакова Т.И., Рагузин И.И. Перспективы применения методов машинного обучения в кадастровой оценке недвижимости // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2020. – № 1. – С. 48–50.
12. Rybkina A.M., Demidova P.M., Kiselev V.A. Working-out of the geostatistical model of mass cadastral valuation of Urban lands evidence from the city Vsevolozhsk (Russia) // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – V. 11 (24). – P. 11631–11638.
13. Kovyazin V.F., Kitsenko A.A., Shobairi S.O.R. Cadastral valuation of forest lands, taking into account the degree of development of their infrastructure // Journal of Mining Institute. – 2021. – V. 249. – P. 449–462. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.14>
14. Алгоритм массовой кадастровой оценки лесных земель по таксационным показателям насаждений / А.Ю. Романчиков, В.Ф. Ковязин, Н.И. Животягина, А.А. Киценко, Л.А.Т. Данг // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 11. – С. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2890>
15. Юрак В.В., Душин А.В., Мочалова Л.А. Против устойчивого развития: сценарии будущего // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 242–247. DOI: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.2.242.76700>
16. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg / M.A. Pashkevich, J. Bech, V.A. Matveeva, A.V. Alekseenko // Journal of Mining Institute. – 2020. – V. 241. – P. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.125>
17. Pashkevich M.A., Petrova T.A. Technogenic impact of sulphide-containing wastes produced by ore mining and processing at the ozernoe deposit: investigation and forecast // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – V. 18 (6). – P. 127–133. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/76700>
18. Волкодаева М. В., Киселев А.В. О развитии системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха // Записки Горного института. – 2017. – Т. 227. – С. 589–596. DOI: <https://doi.org/10.25515/pmi.2017.5.589>

19. Alekseenko A.V., Drebenstedt C., Bech J. Assessment and abatement of the eco-risk caused by mine spoils in the dry subtropical climate // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00885-3>
20. Struchkov I.A., Rogachev M.K. Risk of wax precipitation in oil well // *Natural Resources Research*. – 2017. – Iss. 1. – V. 26. – P. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11053-016-9302-7>
21. Carranza J.R.Z., Kovshov S., Lyubin E. Assessment of anthropogenic factor of accident risk on the main oil pipeline pascuales-cuenca in Ecuador // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2018. – Iss. 3. – V. 16. – P. 307–312. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-17019>
22. Sannikova A.P., Bazykina L.R., Ozhigin D.S. Methodology for effective determination of rock jointing in calculation of open pit edges // *Journal of Industrial Pollution Control*. – 2017. – Iss. 1. – V. 33. – P. 852–855.
23. Безпалько А.П. Экономический механизм перераспределения рисков при сохранении лесов: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – СПб, 2003. – 20 с.
24. Каткова Т.Е. Управление рисками в лесном хозяйстве: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Йошкар-Ола, 2006. – 22 с.
25. Каткова Т.Е. Риски в лесном хозяйстве: сущность и виды в современных условиях хозяйствования // *Проблемы анализа риска*. – 2013. – Т. 10. – № 2. – С. 30–37.
26. Каткова Т.Е. Развитие теории и методов управления рисками возникновения лесных пожаров // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2020. – № 58. – С. 24–27.
27. Petrov V.N., Katkova T.E., Vinogradova E.V. Risk management of forest fire occurrence // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IV scientific-technical conference «Forests of Russia: policy, industry, science and education». – 2019. – 012050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012050>
28. Modeling of growth and development of spruce stands in the West Siberian South taiga plain forest region / P.V. Mikhaylov, S.L. Shevelev, S.M. Sul'tson, S.V. Verkhovets, A.A. Goroshko // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. – 2021. – V. 677 (5). – 052121. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052121>
29. Han E., Huang Q. Global commodity markets, Chinese demand for maize, and deforestation in Northern Myanmar // *Land*. – 2021. – V. 10. – № 1232. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10111232>
30. Han E., Huang Q. A review of small farmer land use and deforestation in tropical forest frontiers: implications for conservation and sustainable livelihoods // *Land*. – 2021. – V. 10. – № 1113. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10111113>
31. Геоинформационная система геомеханического мониторинга рудных месторождений с использованием методов космической радиолокационной интерферометрии / Ж.Т. Кожаяв, М.А. Мухамедгалиева, Б.Б. Имансакипова, М.Г. Мустафин // *Горный журнал*. – 2017. – № 2. – С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.02.07>
32. GIS-based urban afforestation spatial patterns and a strategy for pm2.5 removal / Y. Zhou, H. Liu, J. Zhou, M. Xia // *Forests*. – 2019. – V. 10. – № 875. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10100875>
33. Yang X., Jin X., Zhou Y. Wildfire risk assessment and zoning by integrating Maxent and GIS in Hunan province, China // *Forests*. – 2021. – V. 12. – № 1299. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12101299>
34. Mount Taishan forest ecosystem health assessment based on forest inventory data / Y. Meng, B. Cao, C. Dong, X. Dong // *Forests*. – 2019. – V. 10. – № 657. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10080657>
35. Иванцова Е.А. Информационное обеспечение земель лесного фонда для их государственного кадастрового учета // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2018. – Т. 2. – № 3. – С. 173–182.
36. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk Territory as a case study) / A.P. Mokhirev, M.O. Pozdnyakova, S.O. Medvedev, V.O. Mammadov // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2018. – V. 16. – № 3. – P. 313–319. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16908>
37. Харлов И.Ю., Николаев А.И., Кулагин А.А. Учёт лесных ресурсов и организация их использования в федеральной информационной системе // *Известия ОГАУ*. – 2013. – № 5 (43). – С. 8–10.
38. Ключникова Е.В., Шитова Е.М. Методические подходы к расчету интегрального показателя, методы ранжирования // *Электронный научно-практический журнал «ИнноЦентр»*. – 2016. – № 1 (10). – С. 4–18.
39. Зенченко С.В., Бережной В.И. Система интегральной оценки финансового потенциала региона и методика ее формирования // *Региональные проблемы преобразования экономики*. – 2010. – № 2 (15).

Поступила 15.06.2022 г.

#### Информация об авторах

**Лепихина О.Ю.**, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета.

**Демидова П.М.**, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета.

**Колесник О.А.**, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета.

**Ковязин В.Ф.**, доктор биологических наук, профессор кафедры инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета.

**Гурьева О.С.**, аспирант кафедры инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета.

**Басова Л.А.**, аспирант кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Санкт-Петербургского горного университета.

UDC 630\*5:630\*91:004:528.946:349.415

## ASSESSMENT OF THE GROWING STOCK OF FOREST FUND LANDS TAKING INTO ACCOUNT ANTHROPOGENIC RISKS: SOFTWARE AND METHODOLOGICAL SUPPORT

**Olga Yu. Lepikhina**<sup>1</sup>,  
Lepikhina\_OYu@pers.spmi.ru

**Polina M. Demidova**<sup>1</sup>,  
Demidova\_PM@pers.spmi.ru

**Olga A. Kolesnik**,  
Kolesnik\_OA@pers.spmi.ru

**Vasily F. Kovyazin**,  
vfkedr@mail.ru

**Olga S. Gureva**,  
olga.gureva1995@gmail.com

**Lidiya A. Basova**,  
s205051@stud.spmi.ru

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University,  
2, 21st Line, St Petersburg, 199106, Russia.

**The relevance.** The task of providing automated accounting, assessment and forecasting of forest resources is one of the most important directions of the state strategy for the development of the forest complex. Creation of an automated information system capable of implementing a high-quality and full-fledged information process for collecting, processing, analyzing, modeling, forecasting and visualizing spatiotemporal data on the state of forest resources, taking into account the main risks of forestry, is one of the important mechanisms for improving the efficiency of forest management.

**The main aim:** to create methodological and software for assessing the stock of wood resources on the lands of the forest fund, taking into account anthropogenic risks.

**Objects:** forest plantations of the Chernorechensk district forestry of the Vsevolozhsky forestry of the Leningrad region.

**Methods.** Based on the use of regression modeling methods, mathematical models of the dependence of the stock of plantings of various tree species on the average age of the stand in the forest allotment are obtained; the basis of the developed software is based on the author's methodological solutions for assessing and forecasting the stock of wood.

**Results.** The application of the obtained dependencies for the Chernorechensk forestry of the Vsevolozhsky district of the Leningrad region made it possible to calculate the values of the wood stock as of 2011 and 2021, as well as to predict its values for 2031. A methodology for assessing fire damage on forest lands based on an integral risk indicator is proposed. Automation of the calculation of this indicator in the created program made it possible to differentiate forestry lands by three classes of fire risk. A zoning map of the territory of the object of research on the risk of continuous and unauthorized logging has been formed. The created software and methodological support can serve as a basis for the implementation of one of the main directions of the strategy for the development of the Russian forest complex in terms of creating a unified federal information system for accounting and forecasting the current increase in the stock of wood resources of the forest fund.

### Key words:

forest stands, stock of stands, automation of forest resources accounting, anthropogenic risks, fire assessment methodology.

### REFERENCES

1. *Ofitsialny sayt Federalnogo byudzhnogo instituta «Avialesokhrana»* [Official website of the Federal Budget Institute «Avialesokhrana»]. Available at: <https://aviales.ru> (accessed 13 November 2021).
2. *Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 11.02.2021 № 312-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda»* [The resolution of the RF Government dated 11 February 2020, No. 312-r «On approval of the Strategy for development of the forest complex of the Russian Federation until 2030»]. Electronic fund of legal and regulatory documents. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (accessed 11 November 2021).
3. Malysheva N., Filipchuk A., Zolina T., Silnyagina G. Quantitative assessment of coarse woody debris in the forests of the Russian Federation according to the State forest inventory data. *Forestry information*, 2019, no. 1, pp. 101–128. In Rus. DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2019.1.09
4. Kurlovich L., Kositsin V., Tsaregradskaya S. Current improvement of non-wood forest resource inventory and assessment procedures. *Forestry information*, 2019, no. 3, pp. 73–81. In Rus. DOI: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.06>
5. Brazee J.R., Dwivedi P. Optimal forest rotation with multiple product classes. *Forest Science*, 2015, vol. 61, no 3, pp. 458–465. DOI: <https://doi.org/10.5849/forsci.13-207>
6. Niskanen A., Petrov A., Filoushkina G. Economic accessibility of forest resources in Northwest Russia. *EFI Proceedings*, 2004, vol. 48, pp. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.198346>
7. Nguyen T.H., Kanemoto K. Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. *Nature Ecology & Evolution*, 2021, vol. 5, pp. 845–853. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01417-z>
8. Panagiotidis D., Abdollahnejad A. Accuracy assessment of total stem volume using close-range sensing: advances in precision forestry. *Forests*, 2021, vol. 12, pp. 717. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12060717>

9. López-Serrano P.M., Cárdenas Domínguez J.L., Corral-Rivas J.J., Jiménez E., López-Sánchez C.A., Vega-Nieva D.J. Modeling of aboveground biomass with Landsat 8 OLI and machine learning in temperate forests. *Forests*, 2020, vol. 11, pp. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11010011>
10. Bykova E.N. Assessment of negative infrastructural externalities when determining the land value. *Journal of Mining Institute*, 2021, vol. 247, pp. 154–170. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.16>
11. Lepikhina O.Yu., Baltyzhakova T.I., Raguzin I.I. Prospects for the application of machine learning methods in the cadastral valuation of real estate. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo*, 2020, no. 1, pp. 48–50. In Rus.
12. Rybkina A.M., Demidova P.M., Kiselev V.A. Working-out of the geostatistical model of mass cadastral valuation of Urban lands evidence from the city Vsevolozhsk (Russia). *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11 (24), pp. 11631–11638.
13. Kovyazin V.F., Kitsenko A.A., Shobairi S.O.R. Cadastral valuation of forest lands, taking into account the degree of development of their infrastructure. *Journal of Mining Institute*, 2021, vol. 249, pp. 449–462. DOI: <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.14>
14. Romanchikov A.Yu., Kovyazin V.F., Zhivotyagina N.I., Kitcenko A.A., Dang L.A.T. Algorithm of forestland mass cadastral evaluation using forest inventory data. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 11, pp. 108–116. In Rus. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/11/2890>
15. Yurak V.V., Dushin A.V., Mochalova L.A. Vs sustainable development: scenarios for the future. *Journal of Mining Institute*, 2020, vol. 242, pp. 242–247. DOI: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.2.242>
16. Pashkevich M.A., Bech J., Matveeva V.A., Alekseenko A.V. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. *Journal of Mining Institute*, 2020, vol. 241, pp. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.125>
17. Pashkevich M.A., Petrova T.A. Technogenic impact of sulphide-containing wastes produced by ore mining and processing at the ozernoe deposit: investigation and forecast. *Journal of Ecological Engineering*, 2017, vol. 18 (6), pp. 127–133. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/76700>
18. Volkodaeva M.V., Kiselev A.V. On development of system for environmental monitoring of atmospheric air quality. *Journal of Mining Institute*, 2017, vol. 227, pp. 589–596. DOI: <https://doi.org/10.25515/pmi.2017.5.589>
19. Alekseenko A.V., Drebenstedt C., Bech J. Assessment and abatement of the eco-risk caused by mine spoils in the dry subtropical climate. *Environmental Geochemistry and Health*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00885-3>
20. Struchkov I.A., Rogachev M.K. Risk of wax precipitation in oil well. *Natural Resources Research*, 2017, vol. 26 (1), pp. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11053-016-9302-7>
21. Carranza J.R.Z., Kovshov S., Lyubin E. Assessment of anthropogenic factor of accident risk on the main oil pipeline pascuales-cuenca in Ecuador. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16 (3), pp. 307–312. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-17019>
22. Sannikova A.P., Bazykina L.R., Ozhigin D.S. Methodology for effective determination of rock jointing in calculation of open pit edges. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017, vol. 33 (1), pp. 852–855.
23. Bezpalko A.R. *Ekonomicheskiy mekhanizm pereraspredeleniya riskov pri sokhranenií lesov*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Economic mechanism for redistributing risks while preserving forests. Cand. Diss. Abstract]. Saint-Petersburg, 2003. 20 p.
24. Katkova T.E. *Upravlenie riskami v lesnom khozyaystve*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Risk management in forestry. Cand. Diss. Abstract]. Yoshkar-Ola, 2006. 22 p.
25. Katkova T.E. Riski v lesnom khozyaystve: sushchnost i vidy v sovremennykh usloviyakh khozyaystvovaniya [Risks in forestry: the essence and types in modern economic conditions]. *Problems of risk analysis*, 2013, vol. 10, no. 2, pp. 30–37.
26. Katkova T.E. Development of forest fire risk management theory and methods. *Actual problems of the forest complex*, 2020, no. 58, pp. 24–27.
27. Petrov V.N., Katkova T.E., Vinogradova E.V. Risk management of forest fire occurrence. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference «Forests of Russia: policy, industry, science and education»*, 2019, paper 012050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012050>
28. Mikhaylov P.V., Shevelev S.L., Sultson S.M., Verkhovets S.V., Goroshko A.A. Modeling of growth and development of spruce stands in the West Siberian South taiga plain forest region. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 677 (5), paper 052121. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052121>
29. Han E., Huang Q. Global commodity markets, Chinese demand for maize, and deforestation in Northern Myanmar. *Land*, 2021, vol. 10, no. 1232. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10111232>
30. López-Carr D. A review of small farmer land use and deforestation in tropical forest frontiers: implications for conservation and sustainable livelihoods. *Land*, 2021, vol. 10, no. 1113. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10111113>
31. Kozhaev Zh.T., Muhamedgalieva M.A., Imanskipova B.B., Mustafin M.G. Geoinformatsionnaya sistema geomekhanicheskogo monitoringa rudnykh mestorozhdeniy s ispolzovaniem metodov kosmicheskoy radiolokatsionnoy interferometrii [Geoinformation system for geomechanical monitoring of ore deposits using methods of space radar interferometry]. *Gornyy zhurnal*, 2017, no. 2, pp. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.02.07>
32. Zhou Y., Liu H., Zhou J., Xia M. GIS-Based urban afforestation spatial patterns and a strategy for pm2.5 removal. *Forests*, 2019, vol. 10, no. 875. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10100875>
33. Yang X., Jin X., Zhou Y. Wildfire risk assessment and zoning by integrating Maxent and GIS in Hunan province, China. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 1299. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12101299>
34. Meng Y., Cao B., Dong C., Dong X. Mount Taishan forest ecosystem health assessment based on forest inventory data. *Forests*, 2019, vol. 10, no. 657. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10080657>
35. Ivantsova E.A. Informatsionnoe obespechenie zemel lesnogo fonda dlya ikh gosudarstvennogo kadastravogo ucheta [Information support of forest fund lands for their state cadastral registration]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Interexpo Geo-Sibir-2018* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberi-2018. International Scientific Conference]. Novosibirsk, SSGA Publ., 2018. Vol. 2, no. 3, pp. 173–182.
36. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Medvedev S.O., Mammadov V.O. Assessment of availability of wood resources using geographic information and analytical systems (the Krasnoyarsk Territory as a case study). *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, no. 3, pp. 313–319. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16908>
37. Harlov I.Yu., Nikolaev A.I., Kulagin A.A. Uchet lesnykh resursov i organizatsiya ikh ispolzovaniya v federalnoy informatsionnoy sisteme [Accounting of forest resources and organization of their use in the federal information system]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta*, 2013, no. 5 (43), pp. 8–10.
38. Klyushnikova E.V., Shitova E.M., Methodological approaches to calculation of integral index, ranking methods. *InnoCentre Electronic Journal*, 2016, no. 1 (10), pp. 4–18.
39. Zenchenko S.V., Careful V.I. System of an integrated estimation of financial potential of region and technique of its formation. *Regional problems of economic transformation*, 2010, no. 2 (15).

Received: 15 June 2022.

**Information about the authors**

*Olga Yu. Lepikhina*, Cand Sc., associate professor, Saint Petersburg mining university.

*Polina M. Demidova*, Cand Sc., associate professor, Saint Petersburg mining university.

*Olga A. Kolesnik*, Cand Sc., associate professor, Saint Petersburg mining university.

*Vasiliy F. Kovyazin*, Dr. Sc., professor, Saint Petersburg mining university.

*Lidiya A. Basova*, postgraduate student, Saint Petersburg mining university.

*Olga S. Gureva*, postgraduate student, Saint Petersburg mining university.