

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 4. С. 4–17.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 4. P. 4–17.

Научная статья

УДК 630*23

DOI: 10.51318/FRET.2023.87.4.012

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЛАСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Валерий Владимирович Фомин¹, Сергей Вениаминович Залесов²,
Егор Михайлович Агапитов³, Владимир Евгеньевич Рогачев⁴,
Анна Павловна Михайлович⁵, Екатерина Антоновна Костоусова⁶,
Елизавета Сергеевна Переходова⁷, Наталья Валентиновна Марина⁸,
Анна Владимировна Лантинова⁹, Лев Алексеевич Старыгин¹⁰,
Борис Нутович Дрикер¹¹, Максим Павлович Суханов¹²,
Лев Евгеньевич Рогачев¹³, Николай Михайлович Демьяненко¹⁴,
Евгений Петрович Платонов¹⁵

¹⁻¹⁵ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

^{1-4, 8-11, 13} Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Валерий Владимирович Фомин,
fominvv@m.usfeu.ru

Аннотация. В соответствии со стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. предполагается: увеличить площадь управляемых лесов; провести изучение их потенциала к поглощению парниковых газов; разработать технологии, направленные на увеличение поглощения парниковых газов лесными экосистемами. В статье приведено описание подходов к реализации лесоклиматических проектов, используемых в Уральском государственном лесотехническом университете, на примере научных проектов, проведенных в районах исследований на Среднем и Полярном Урале. В рамках направления, связанного с изучением потенциала лесов к поглощению парниковых газов, разработан и апробирован подход к количественной оценке депонирования углерода в лесных экосистемах разных климатических зон с использованием данных наземных измерений биометрических параметров деревьев, результатов аэросъемки сверхвысокого разрешения с использованием беспилотных авиационных систем и аллометрических уравнений количественной оценки фитомассы деревьев и древостоев. Разработка и апробация методик была выполнена в районе исследований на Полярном Урале (горный массив Рай-Из) и Среднем Урале (карбоновый полигон Свердловской области). В рамках направлений стратегии, относящихся к увеличению площади управляемых лесов и разработке технологий, направленных на увеличение поглощения парниковых газов, для условий Свердловской области разработан подход, связанный с лесотехнической

рекультивацией нарушенных земель с использованием различных вариантов создания лесных культур и применения удобрений на основе отходов металлургического производства и птицефабрики. Апробация данного подхода была выполнена в ходе рекультивации выработанного гранитного карьера на территории Свердловской области.

Ключевые слова: низкоуглеродное развитие, депонирование углерода, лесные экосистемы, лесоклиматический проект, карбоновая ферма, Полярный и Средний Урал

Финансирование. Работа выполнена в рамках исполнения госбюджетных тем «FEUZ-2023-0023» (на карбоновом полигоне Свердловской области), «FEUG-2023-0002» (проведение полевых исследований в районе Полярного Урала).

Для цитирования: Научные исследования и разработки Уральского государственного лесотехнического университета в области климатических проектов / В. В. Фомин, С. В. Залесов, Е. М. Агапитов, В. Е. Рогачев, А. П. Михайлович, Е. А. Костюсова, Е. С. Переходова, Н. В. Марина, А. В. Лантинова, Л. А. Старыгин, Б. Н. Дрикер, М. П. Суханов, Л. Е. Рогачев, Н. М. Демьяненко, Е. П. Платонов // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 4. С. 4–17.

Scientific article

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE URAL STATE FOREST ENGINEERING UNIVERSITY FOR IN THE FIELD OF CLIMATE PROJECTS

Valery V. Fomin¹, Sergey V. Zalesov², Egor M. Agapitov³, Vladimir E. Rogachev⁴, Anna P. Mikhailovich⁵, Ekaterina A. Kostousova⁶, Elizaveta S. Perekhodova⁷, Nataliya V. Marina⁸, Anna V. Lantionova⁹, Boris N. Driker¹⁰, Lev A. Starygin¹¹, Maksim P. Sukhanov¹², Vladimir E. Rogachev¹³, Nikolai M. Demyanenko¹⁴, Evgeniy P. Platonov¹⁵

¹⁻¹⁵ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{1-4, 8-11, 13} Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Valery V. Fomin,
fominvv@m.usfeu.ru

Abstract. In accordance with the strategy of socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050, it is planned to: increase the area of managed forests; study their potential to absorb greenhouse gases; develop technologies aimed at increasing the absorption of greenhouse gases by forest ecosystems. The article describes the approaches to the implementation of forest-climatic projects used at the Ural State Forestry Engineering University on the example of scientific projects conducted in study areas in the Middle and Polar Urals. Within the framework of the direction related to the study of the potential of forests to absorb greenhouse gases, an approach to quantifying carbon deposition in forest ecosystems of different climatic zones has been developed and tested using data from ground measurements of biometric parameters of trees, the results of ultra-high resolution aerial photography getting from unmanned aerial vehicles and allometric equations for quantifying the phytomass of trees and stands. The development and approbation of the methods was carried out in the research area in the Polar Urals (the Rai-Iz mountain range) and the Middle Urals (the carbon polygon of the Sverdlovsk region). Within the framework of the strategy directions related to the increase in the area of managed forests and the development of technologies aimed at increasing the absorption of greenhouse gases, an approach has been developed

for the conditions of the Sverdlovsk region related to the forestry remediation of disturbed lands. This approach based on using different variants of creating artificial stannda and various fertilizer created on the basis of waste from metallurgical production and poultry farms. The approbation of this approach was carried out during the recmetiation on the one of a granite quarry on the territory of the Sverdlovsk region.

Keywords: Low-carbon development, carbon sequestration, forest ecosystems, forest climate project, carbon farm, Polar and Middle Urals

Finding. The work was carried out as part of the execution of the state budget topics «FEUZ-2023-0023» (at the carbon polygon of the Sverdlovsk region), «FEUG-2023-0002» (field research in the research area in the Polar Urals).

For citation: Research and development of the Ural State Forest Engineering University for in the field of climate projects / V. V. Fomin, S. V. Zalesov, E. M. Agapitov, V. E. Rogachev, A. P. Mikhailovich, E. A. Kostousova, E. S. Perekhodova, N. V. Marina, A. V. Lantinova, L. A. Starygin, B. N. Driker, M. P. Sukhanov, L. E. Rogachev, N. M. Demyanenko, E. P. Platonov // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3 (86). P. 4–17.

Введение

В октябре 2021 г. Правительством Российской Федерации была принята «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» (Стратегия..., 2021). В ней предусмотрено увеличение поглощающей способности управляемых экосистем более чем в 2,2 раза: с 535 млн т CO₂-эквивалента в настоящее время до 1200 млн т к 2050 году. Для достижения этого целевого показателя необходимо осуществить следующие виды деятельности, направленные на увеличение поглощающей способности управляемых экосистем, включая лесные: увеличение площади управляемых лесов; изучение их потенциала к поглощению парниковых газов; разработка технологий, направленных на увеличение поглощения парниковых газов лесными экосистемами (Стратегия..., 2021).

Одним из элементов реализации стратегии низкоуглеродного развития РФ являются климатический проекты. В соответствии с пунктом 7 статьи 2 Федерального закона «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ под климатическим проектом понимается комплекс мероприятий, которые обеспечивают сокращение или предотвращение эмиссии парниковых газов или увеличение поглощения парниковых газов (Об ограничении..., 2021).

Критериями, которые позволяют отнести проект к климатическому, являются:

1) отсутствие противоречий мероприятий проекта требованиям федеральных законов или других нормативных правовых актов РФ;

2) сокращение или предотвращение эмиссии парниковых газов и (или) увеличение их депонирования по отношению к прогнозной количественной оценке выбросов при отсутствии проекта в течение предполагаемого срока его действия;

3) отсутствие эффектов, связанных с увеличением эмиссии парниковых газов или сокращением их поглощения вне области действия мероприятий проекта;

4) сокращение или предотвращение эмиссии парниковых газов, а также если увеличение их депонирования не обусловлено действием факторов, которые связаны с мероприятиями проекта.

Мероприятия не могут быть отнесены к климатическому проекту, если они уже предусмотрены законодательством РФ.

К климатическому проекту не могут быть отнесены мероприятия, приводящие к сокращению хозяйственной деятельности или объема выпускаемой продукции, сопровождающиеся снижением или предотвращением выбросов парниковых газов (Об утверждении критериев..., 2022).

В разделе V «Сценарии развития лесного комплекса» Стратегии (Стратегия..., 2021)

предусмотрены три сценария его развития – инерционный, базовый и стратегический. Стратегическим сценарием предусмотрены мероприятия по сокращению эмиссии парниковых газов, обусловленных обезлесением и деградацией лесов, а также принятие мер, направленных на увеличение депонирования углерода в лесах и создание нормативных условий для реализации лесоклиматических проектов. В рамках данного сценария также предполагается обеспечение развития сети научно-образовательных и научно-производственных центров лесного профиля, а также опытно-производственных и испытательных полигонов, на которых ведется разработка и внедрение современных отечественных технологий и технических средств.

Данный сценарий предусматривает реализацию проектов по повышению уровня кадрового потенциала отрасли.

Перечисленные выше нормативные правовые акты определяют условия реализации лесоклиматических проектов и, соответственно, направление научных исследований и разработок, обеспечивающих достижение целевых показателей, приведенных в стратегии. Уральский государственный лесотехнический университет является одним из вузов лесного профиля, который принимает активное участие в реализации ряда направлений «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

Цель, объекты и методика исследований

Цель работы – описание научных исследований и разработок, которые проводятся в Уральском государственном лесотехническом университете и могут быть применены для реализации лесоклиматических проектов.

Объектом исследований является древесная растительность в следующих районах исследований на Среднем и Полярном Урале:

1) Полярно-Уральский мониторинговый полигон. Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Харп. Координаты: 66°30'28"–66°47'42" с.ш., 65°49'28"–65°33'59" в.д. Площадь – 9,0 км²;

2) «Урал-Карбон (Северка)». Свердловская область, пос. Северка. Северское участковое лесничество Билимбаевского лесничества; Номера кварталов: 35, 36, 40, 41, 42. Координаты: 56°52'22"–56°53'42" с.ш.; 60°13'02"–60°15'30" в.д.; площадь – 1,4 км²;

3) «Урал-карбон (Коуровка)». Свердловская область, пос. Коуровка. Кузинское участковое лесничество Билимбаевского лесничества; номер квартала: 23. Координаты: 57001'57"–57002'47" с.ш.; 59031'45" – 59034'04" в.д. Площадь – 4,8 км²;

4) учебно-опытный полигон по рекультивации нарушенных земель – «Урал-Карбон (Исеть)». Выработанный гранитный карьер в пос. Исеть, Свердловская область. Координаты: 56058'50"–56058'64" с.ш.; 60023'04"–60023'12" в.д. Площадь – 0,7 км².

Первые три из перечисленных выше мониторинговых полигона используются для отработки методик количественной оценки депонирования углерода древесной растительностью с использованием выборочных наземных измерений биометрических параметров деревьев на пробных площадях и данных дистанционного зондирования, полученных с использованием беспилотных авиационных систем (БАС).

Для оценки запаса углерода в древесных растениях используются аллометрические уравнения взаимосвязи фракционного запаса фитомассы отдельного дерева и биометрических параметров деревьев, например, таких как диаметр ствола дерева у шейки корня или на высоте 1,3 м, высота и диаметр кроны дерева, с последующим пересчетом в запас углерода (Усольцев и др., 2022; Аллометрические модели фитомассы..., 2016; Приказ Минприроды России..., 2022).

Исследования по полигоне «Урал-Карбон (Исеть)» направлены на создание технологий рекультивации нарушенных земель с использованием древесной растительности: подбор оптимального состава древесных пород, использование удобрений и методов ухода за древесными растениями.

В частности, в 2023 г. на территории «Урал-Карбон (Исеть)» заложен эксперимент по оценке влияния удобрений на сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata*

Ledeb.): органоминеральные удобрения, полученные с использованием разработанной оригинальной методики твердофазной аэробной ферментации отходов птицефабрики; кремнезем. Кремнезем для проведения эксперимента был любезно предоставлен ООО «Горно-химическая компания «Ультра-Си» (г. Асбест, Свердловская область). Органоминеральное удобрение было создано специалистами УГЛТУ из отходов АО «Птицефабрика „Рефтинская“» (пгт. Рефтинский, Свердловская область) с использованием оригинального метода твердофазной аэробной ферментации. В конце сентября 2023 г. проведена оценка приживаемости древесных растений.

Результаты и их обсуждение

На Полярно-Уральском мониторинговом полигоне проводятся системные исследования климатогенной пространственно-временной динамики древесной растительности с начала 1960-х годов до настоящего времени. Древесная растительность высокогорий является чувствительным индикатором регионального изменения климата (Shiyatov, 1995; Kullman, 2007; Treeline advances..., 2014, Fomin et. al., 2022).

В результате регионального потепление климата, которое наблюдается с конца XIX – начала XXI в. (Фомин, 2009), на Полярном Урале установлены факты сдвига верхней границы древесной растительности (Shiyatov, 1995; 2005). По данным метеостанции Салехард, наиболее ярко тренд увеличения температуры воздуха наблюдается для летних месяцев. На рис. 1 показаны характерные графики хода значений температуры воздуха для января и июня. На рис. 2 приведены повторные ландшафтные фотографии, сделанные в 1998 и 2023 гг. в районе исследований на левой боковой морене. На них можно видеть, что за 25 лет произошло увеличение размеров деревьев и появление молодого поколения лиственницы сибирской.

В рамках данного направления исследований проводится изучение потенциала лесных и лесотундровых экосистем к поглощению парниковых газов, а это, как следует из «Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» (Стратегия..., 2021), является одним из видов деятельно-

сти, направленных на достижение целевых показателей по увеличению поглощающей способности управляемых экосистем.

На рис. 3 приведена картосхема возрастных поколений лиственницы сибирской, которые были выделены с использованием данных наземных измерений биометрических параметров экземпляров лиственницы на пробных площадях, дешифрирования данных аэрофотосъемки, полученных с использованием беспилотного летательного аппарата (Fomin et al., 2022). На данной схеме также можно видеть распределение остатков деревьев, произраставших ранее в экотоне верхней границы древесной растительности и погибших в ходе средневекового похолодания, которое происходило с конца XIII до конца XIX вв.

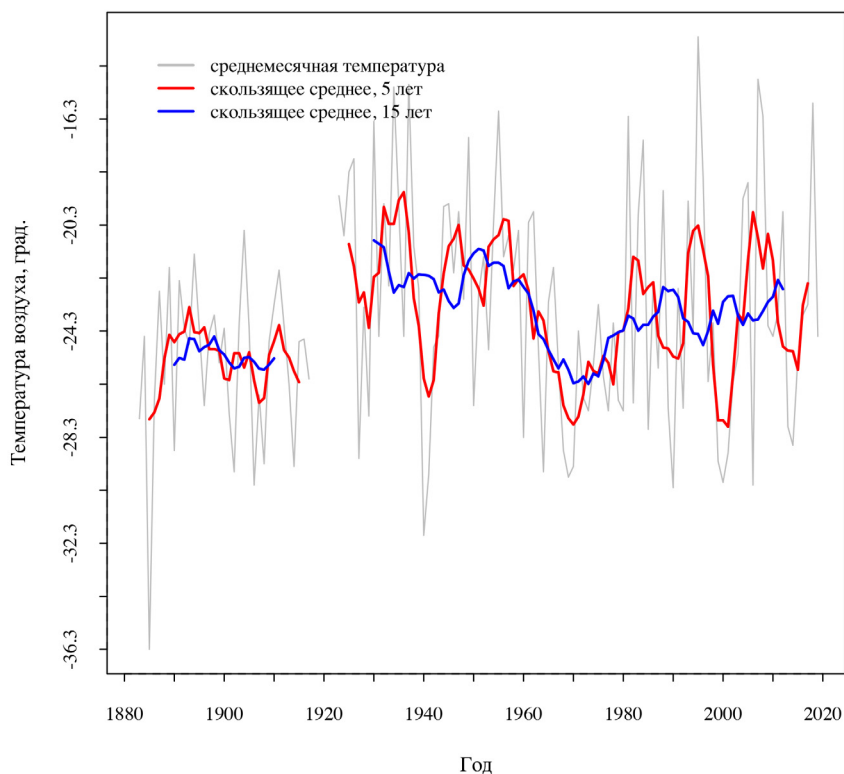
Возможность выделения возрастных поколений лиственницы сибирской открывает возможность для оценки изменения запаса углерода в экотоне верхней границы древесной растительности на основе биометрических параметров деревьев, оцененных по данным дистанционного зондирования беспилотных авиационных систем.

Развитие описанного выше подхода к оценке запаса углерода в древостое осуществляется в рамках проекта «Урал-Карбон» на двух лесных участках, расположенных вблизи населенных пунктов Коуровка и Северка (Свердловская область). На рис. 4 приведена картосхема одного из участков карбонового полигона «Урал-Карбон (Северка)», на которой обозначены места закладки пробных площадей.

Созданный в 2021 г. «Урал-Карбон» представляет собой испытательный полигон для количественной оценки запаса углерода в типичных лесных экосистемах. В рамках данного проекта специалистами Уральского государственного лесотехнического университета проведен комплекс полевых работ и камеральных исследований, включающий закладку пробных площадей на участках карбонового полигона, аэрофотосъемку территории с использованием беспилотных авиационных систем (БАС), дешифрирование древесной растительности на аэроснимках, разработку методик оценки запаса углерода с использованием аллометрических уравнений и результатов дешифрирования аэроснимков БАС.

Январь

a



Июнь

б

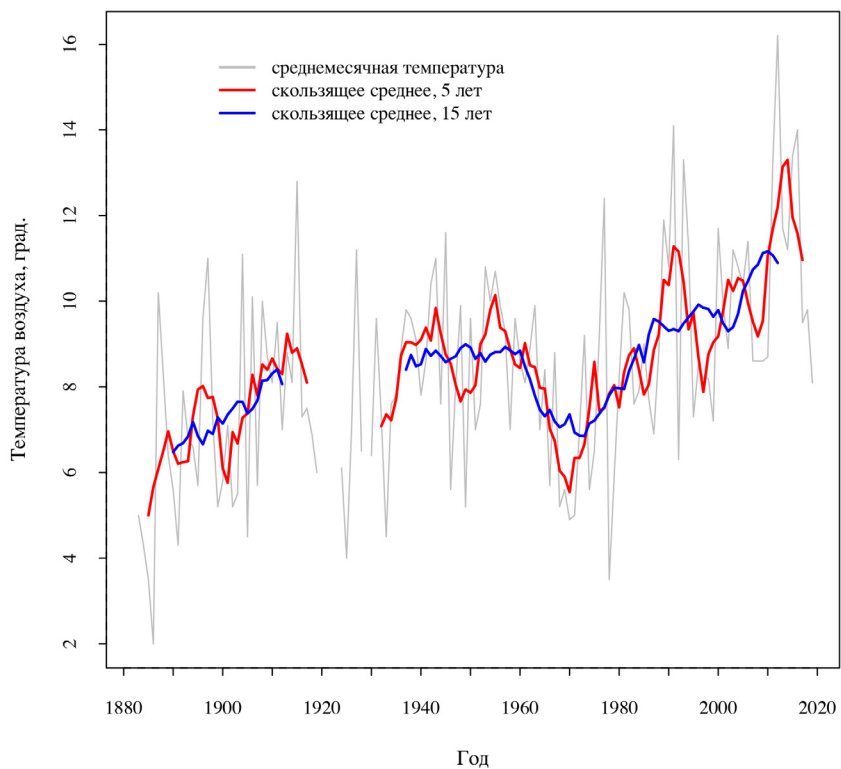


Рис. 1. Ход среднемесячных значений температуры воздуха января (*a*) и июня (*б*) по данным измерений на метеостанции Салехард
 Fig. 1. The course of the average monthly air temperature values in January (*a*) and June (*б*) according to measurements at the Salekhard weather station

a*б*

Рис. 2. Повторные ландшафтные фотографии участка левой боковой морены, сделанные в районе исследований в 1998 (а) и 2023 (б) гг.

Автор снимка 1998 г. – С. Г. Шиятов, 2003 – В. В. Фомин

Fig. 2. Repeated landscape photographs of a part of the left lateral moraine taken in the research area in 1998 (a) and 2023 (b).

The author of the picture of 1998 – S. G. Shiyatov, 2003 – V. V. Fomin

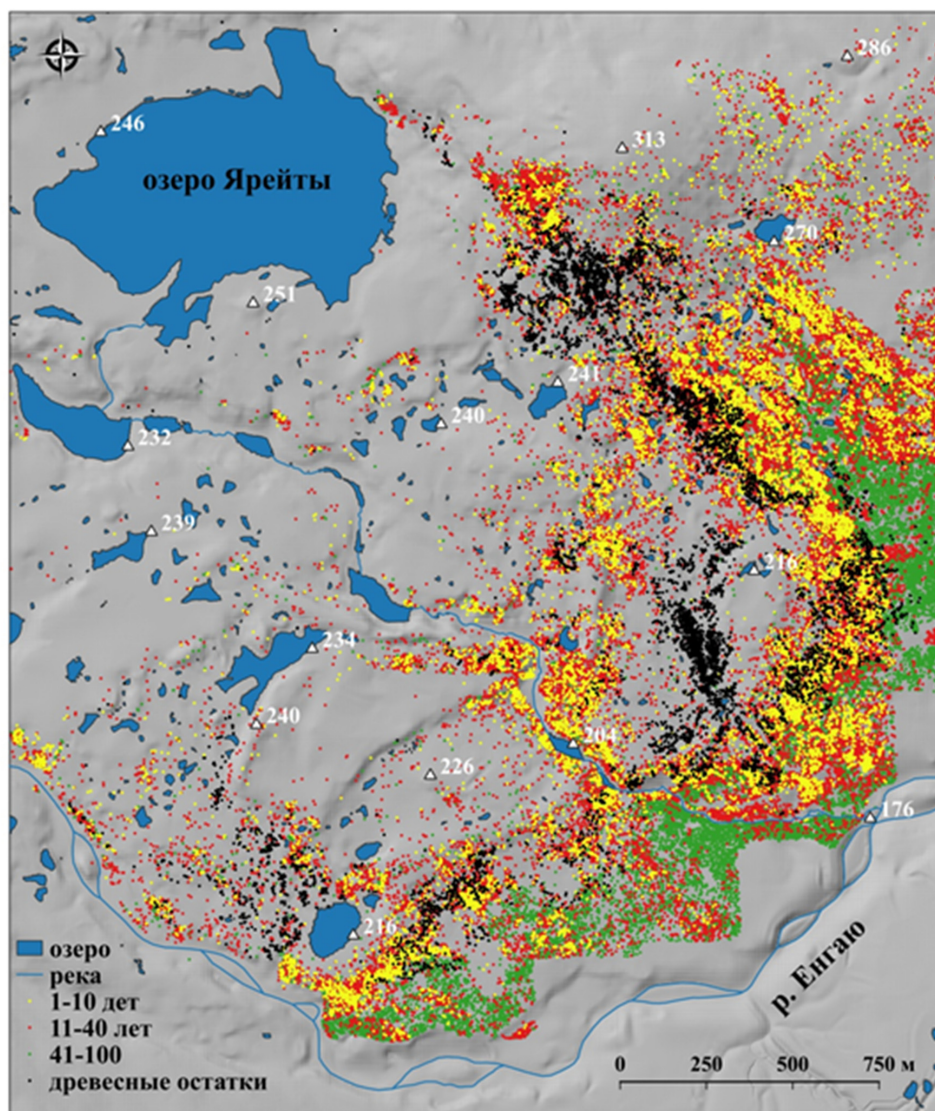


Рис. 3. Картограмма размещения возрастных поколений лиственницы сибирской и остатков деревьев, погибших в ходе средневекового похолодания с конца XIII до конца XIX вв. в экотоне верхней границы древесной растительности на Полярном Урале

Fig. 3. Map of age generations of Siberian larch and the remnants of trees that died during the medieval coling from the end of the XIII to the end of the XIX centuries in the upper treeline ecotone o in the Polar Urals

На аэроснимках БАС главным образом можно видеть деревья, образующие основной полог лесного насаждения. В результате проведения сравнительного анализа данных наземных измерений и результатов визуального дешифрирования крон деревьев на пробных площадях установлено, что процент распознанных деревьев варьирует от 48 до 74 %, а среднее значение составляет 62,8 %. При этом величина фитомассы этих деревьев, рассчитанная по аллометрическим уравнениям

(Усольцев и др., 2022), варьирует в пределах от 76 до 93 % от величины фитомассы древостоя пробных площадей.

Одной из будущих задач проекта «Урал-Карбон» является разработка методик автоматизированной оценки биометрических параметров деревьев на основе данных дистанционного зондирования, полученных при помощи БАС с использованием лидара и мультиспектральной камеры, а также алгоритмов машинного обучения.

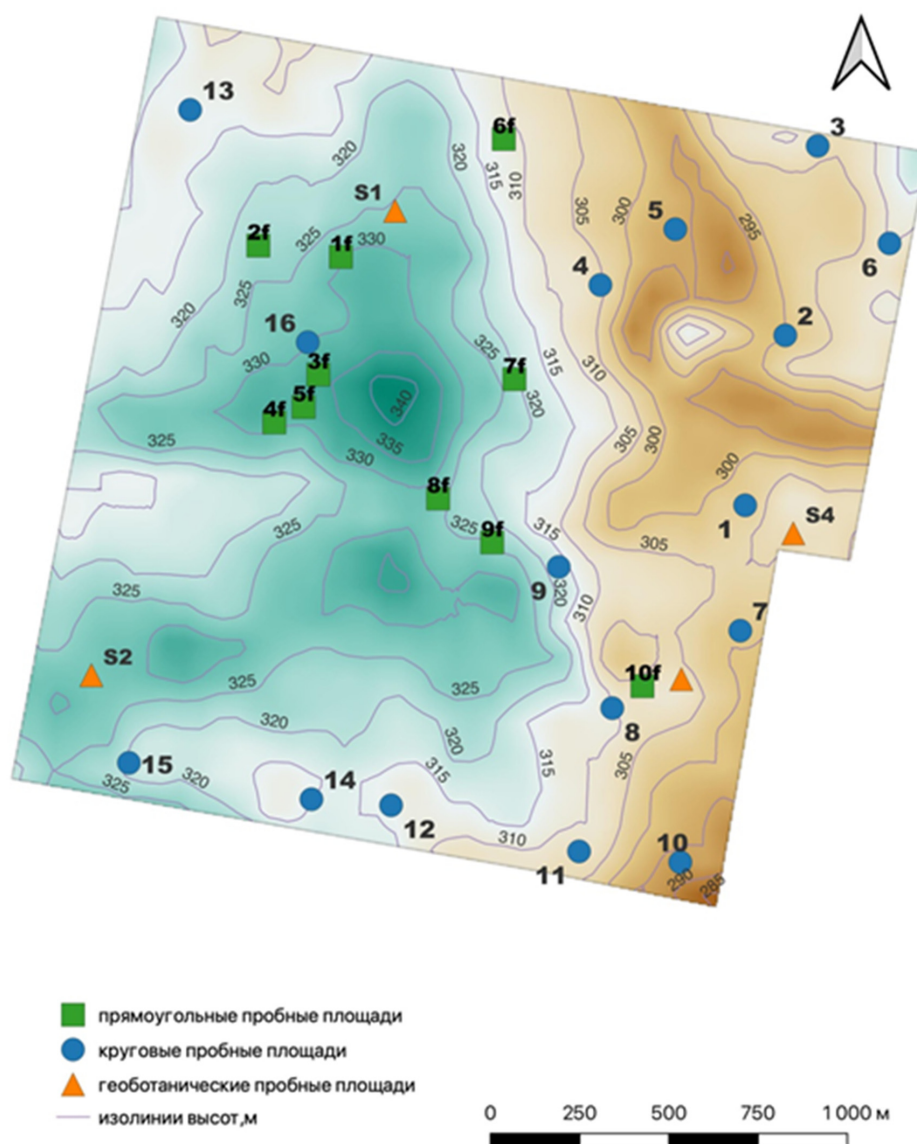


Рис. 4. Картограмма, характеризующая рельеф участка «Урал-Карбон (Северка)» и местоположение пробных площадей на нем

Fig. 4. Map characterizing the relief of the “Ural-Carbon (Severka)” polygon and the location plots on it

В качестве мер, которые направлены на предотвращение обезлесения территорий и деградации лесов, а также увеличение депонирования углерода в лесах (Стратегия..., 2021), в УГЛТУ проводятся исследования и разработки в области рекультивации нарушенных земель.

Для этих целей на выработанном гранитном карьере – участок «Урал-Карбон (Исеть)» – проведены работы по проектированию лесных культур разного состава при различной толщине насыпного слоя почвогрунта. Кроме того, для повышения

показателей приживаемости и сохранности высаживаемых семян, а также ускорения их роста было запланировано внесение удобрений в разных дозах.

В 2022–2023 гг. на данном участке проведен комплекс работ, включающий этапы технической и лесотехнической рекультивации.

На рис. 5 можно видеть фрагмент карьера с завезенным грунтом. Данный этап работ выполнен ООО «Регион-66» (г. Верхняя Пышма, п. Исеть, Свердловская область).



Рис. 5. Этап технической рекультивации гранитного карьера в пос. Исеть (Свердловская область) – «Урал-Карбон (Исеть)».

Снимок сделан В. В. Фоминым 02.11.2022 г.

Fig. 5. The technical stage of remediation of a granite quarry close to Iset village (Sverdlovsk region) – “Ural-Carbon (Iset)”.

The picture was taken by V. V. Fomin on 02.11.2022

10 мая 2023 г. на карьере был заложен эксперимент по влиянию удобрений, созданных из отходов металлургического производства (кремнезем) и отходов птицефабрик (органоминеральное удобрение), на приживаемость и рост древесных растений основных лесобразующих пород: сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), ели сибирской (*Picea obovata* L.).

На рис. 6 приведена фотография участка гранитного карьера. Места посадки древесных растений можно видеть по темным пятнам грунта, которые образовались после полива посадочных мест в конце мая 2023 г. Необходимость полива была обусловлена сухой и теплой погодой, которая продолжалась на протяжении более трех недель

с момента посадки древесных растений. Осенью 2023 г. была проведена оценка приживаемости высаженных экземпляров древесных растений.

Установлено, что приживаемость сеянцев ели сибирской с открытой корневой системой на конец сентября 2023 г. в контроле была 73 %, а с использованием органоминерального удобрения, кремнезема и их сочетания составила 84, 86 и 94 % соответственно. Для сосны обыкновенной на осень 2023 г. не установлено отличий в приживаемости между контролем и опытом с кремнеземом – 96 и 95 % соответственно.

Необходимо отметить, что приведенные выше данные отражают только начало эксперимента. При этом на приживаемость растений, кроме



Рис. 6. Фотография участка рекультивируемого гранитного карьера
вблизи пос. Исеть (Свердловская область). Темные пятна грунта образовались
в результате полива мест посадки древесных растений в конце мая 2023 г.

Фотография сделана Е. М. Агапитовым

Fig. 6. Photo of the recultivated granite quarry near the Iset village (Sverdlovsk region).
Dark spots of soil were formed as a result of watering the planting site at the end of May 2023.
The picture was taken by E. M. Agapitov

удобрений, влияет ряд других внешних факторов: усадка грунта вплоть до формирования трещин в местах посадки древесных растений, а также формирование микрорельефа, приводящее к возникновению участков с избыточным увлажнением при наличии достаточного количества выпавших осадков. Локализацию и уровень влияния этих факторов еще предстоит установить.

Так как на момент начала эксперимента на территории планируемой «карбоновой фермы» растительность практически отсутствовала, то создается уникальная возможность определить реальные объемы поглощенного углерода всеми компонентами лесного насаждения. Полагаем, что к 80-летнему возрасту можно вырастить на ука-

занных плантациях сосновые древостои с запасом стволовой древесины $400 \text{ м}^3/\text{га}$, что обеспечит депонирование углерода в объеме $100 \text{ т}/\text{га}$. Средняя скорость депонирования углерода, таким образом, за 80 лет составит $1,25 \text{ т}/\text{год}$ углерода на 1 га , или $4,58 \text{ тCO}_2/\text{год}$ на 1 га . Очевидно, что скорость депонирования углерода будет нелинейна во времени. Ожидается, что через 15 лет после начала выполнения проекта максимальная скорость депонирования углерода будет составлять не менее $5,5 \text{ т}/\text{год}$ углерода на 1 га , или $20,2 \text{ тCO}_2/\text{год}$ на 1 га . Кроме того, углерод будет задепонирован в кроне и корнях деревьев, подросте, подлеске, живом напочвенном покрове и в почве, включая лесную подстилку.

Выводы

В соответствии со «Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» предусмотрено увеличение поглощающей способности управляемых экосистем в нашей стране более чем в 2,2 раза. Климатические проекты являются одним из инструментов, позволяющих достичь целевых показателей стратегии.

В Уральском государственном лесотехническом университете проводятся исследования и разработки, направленные на создание методик автоматизированной оценки запаса углерода в древостоях на основе данных дистанционного зондирования с использованием беспилотных авиационных систем, данных наземных измерений на пробных площадях и аллометрических зависимостей фитомассы деревьев от их биометрических параметров. Верификация методик ведется

на нескольких участках – Полярно-Уральском мониторинговом полигоне (горный массив Рай-Из, ЯНАО) и карбоновом полигоне Свердловской области «Урал-Карбон».

Для предотвращения обезлесения территорий и деградации лесов, которые предусмотрены Стратегией, специалисты УГЛТУ проводят исследования и разработки, целью которых является создание технологий лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель. Эти технологии включают создание лесных культур разного состава и при различной толщине насыпного слоя почвогрунта, а также применение удобрений, полученных из отходов металлургического производства и отходов птицефабрик.

В мае 2023 г. на выработанном гранитном карьере вблизи пос. Исеть был заложен эксперимент по изучению влияния удобрений на рост сеянцев сосны обыкновенной и ели сибирской.

Список источников

- Аллометрические модели фитомассы деревьев для лазерного зондирования и наземной таксации углеродного пула в лесах Евразии: сравнительный анализ / В. А. Усольцев, В. П. Часовских, Ю. В. Норицина, Д. В. Норицин // Сибирский лесной журнал. 2016. № 4. С. 68–76.
- Приказ Министерства экономического развития «Об утверждении критериев и порядка отнесения проектов, реализуемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями или физическими лицами, к климатическим проектам, формы и порядка представления отчета о реализации климатического проекта» от 11.05.2022 № 248. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205310004> (дата обращения: 28.10.2023).
- Приказ Минприроды России «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» от 27.05.2022 № 371. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207290034> (дата обращения: 28.10.2023).
- Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» от 29.10.2021 № 3052-р. URL: <http://government.ru/docs/43708/> (дата обращения: 28.10.2023).
- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели биомассы деревьев лесообразующих пород Урала // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 1. С. 4–14.
- Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов»: Закон Российской Федерации от 02.07.2021 № 296-ФЗ // Российская газета. 2021. № 147. Ст. 8498.
- Фомин В. В. Климатогенная и антропогенная пространственно-временная динамика древесной растительности во второй половине XX века. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2009. 150 с.
- Fomin V., Agapitov E., Mikhailovich A., Golikov D. Reconstruction of the Expansion of Siberian Larch into the Mountain Tundra in the Polar Urals in the 20th-Early 21st Centuries // Forests. 2022. Vol. 13. № 3. DOI: 10.3390/f13030419

- Kullman L.* Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005 : implications for tree line theory and climate change ecology // *J. Ecol.* 2007. № 95. P. 41–42.
- Shiyatov S. G.* Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains // *Proceedings of the International Conference on Past, Present and Future Climate.* Helsinki : Academy of Finland, 1995. P. 144–147.
- Shiyatov S. G., Terent'ev M. M., Fomin V. V.* Spatiotemporal dynamics of forest-tundra communities in the polar Urals // *Russ J Ecol.* 2005. № 36. P. 69–75.
- Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? / *F. Hagedorn, S. G. Shiyatov, V. S. Mazepa et al.* // *Glob. Chang. Biol.* 2014. № 20. P. 3530–3543.

References

- Allometric models of phytomass of trees for laser sensing and ground-based taxation of the carbon pool in the forests of Eurasia : comparative analysis / *V. A. Usoltsev, V. P. Chasskikh, Yu. V. Noritsina, D. V. Noritsin* // *Siberian Forest Journal.* 2016. № 4. P. 68–76. (In Russ.)
- Federal Law on Limiting Greenhouse Gas Emissions : Law of the Russian Federation № 296-FZ of 02.07.2021 // *Rossiyskaya Gazeta.* 2021. № 147. St. 8498.
- Fomin V., Agapitov E., Mikhailovich A., Golikov D.* Reconstruction of the Expansion of Siberian Larch into the Mountain Tundra in the Polar Urals in the 20th-Early 21st Centuries // *Forests.* 2022. Vol. 13. № 3. DOI: 10.3390/f13030419
- Fomin V. V.* Climatogenic and anthropogenic spatial-temporal dynamics of woody vegetation in the second half of the XX century. Yekaterinburg : IPAE UB RAS, 2009. 150 p.
- Kullman L.* Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005 : implications for tree line theory and climate change ecology // *J. Ecol.* 2007. № 95. P. 41–42.
- Order of the Ministry of Economic Development «On approval of criteria and procedure for Assigning projects implemented by Legal Entities, Individual Entrepreneurs or Individuals to climate projects, the form and procedure for submitting a report on the implementation of a climate project» dated 11.05.2022 № 248. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205310004> (accessed: 28.10.2023).
- Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation «On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas uptake» dated 05/27/2022 № 371. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207290034> (accessed: 28.10.2023).
- Strategy of socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050” dated 29.10.2021 № 3052-r. URL: <http://government.ru/docs/43708/> (accessed: 28.10.2023).
- Shiyatov S. G.* Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains // *Proceedings of the International Conference on Past, Present and Future Climate.* Helsinki : Academy of Finland, 1995. P. 144–147.
- Shiyatov S. G., Terent'ev M. M., Fomin V. V.* Spatiotemporal dynamics of forest-tundra communities in the polar Urals // *Russ J Ecol.* 2005. № 36. P. 69–75.
- Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? / *F. Hagedorn, S. G. Shiyatov, V. S. Mazepa et al.* // *Glob. Chang. Biol.* 2014. № 20. P. 3530–3543.
- Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V.* Allometric models of biomass of trees of forest-forming species of the Urals // *Forests of Russia and agriculture in them.* 2022. № 1. P. 4–14. (In Russ.)

Информация об авторах

- В. В. Фомин* – доктор биологических наук, доцент,
fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>
- С. В. Залесов* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
<https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Е. М. Агапитов – аспирант,
agapitovem@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9709-1559>
В. Е. Рогачев – аспирант,
rogachevve@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4964-6975>
А. П. Михайлович – старший преподаватель,
a.p.mikhailovich@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8282-9431>
Е. А. Костюсова – студент, kostousova-katya@mail.ru
Е. С. Переходова – студент, perekhodova00@gmail.com
Н. В. Марина – доцент, marinanv@m.usfeu.ru
А. В. Лантинова – старший преподаватель, lantinoaan@m.usfeu.ru
Л. А. Старыгин – старший преподаватель, starygin@inbox.ru
Б. Н. Дрикер – доктор технических наук, профессор, drikerbn@m.usfeu.ru
М. П. Суханов – студент, maks_sukhanov_2014@mail.ru
Л. Е. Рогачев – студент, rogachevle@m.usfeu.ru
Н. М. Демьяненко – аспирант,
demyanenko_kolia@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4281-2043>
Е. П. Платонов – ректор,
platonover@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8502-1350>

Information about the authors

V. V. Fomin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>
S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>
Е. М. Агапитов – postgraduate student,
agapitovem@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9709-1559>
V. E. Rogachev – postgraduate student,
rogachevve@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4964-6975>
А. П. Михайлович – senior lecturer,
a.p.mikhailovich@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8282-9431>
Е. А. Костюсова – student, kostousova-katya@mail.ru
Е. С. Переходова – student, perekhodova00@gmail.com
Н. В. Марина – Associate Professor, marinanv@m.usfeu.ru
А. В. Лантинова – senior lecturer, lantinoaan@m.usfeu.ru
Л. А. Старыгин – senior lecturer, starygin@inbox.ru
Б. Н. Дрикер – Doctor of Technical Sciences, Professor, drikerbn@m.usfeu.ru
М. П. Sukhanov – student, maks_sukhanov_2014@mail.ru
Л. Е. Rogachev – student, rogachevle@m.usfeu.ru
Н. М. Demyanenko – postgraduate student,
demyanenko_kolia@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4281-2043>
Е. П. Platonov – Rector,
platonover@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8502-1350>

Статья поступила в редакцию 05.09.2023; принята к публикации 10.10.2023.

The article was submitted 05.09.2023; accepted for publication 10.10.2023.
