

В. В. Вечеров^{1}, А. А. Макарова¹*

Использование данных важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» для установления зависимостей между дешифровочными и таксационными характеристиками основных лесообразующих пород

¹ ФГБУ «Рослесинфорг», г. Москва, Российская Федерация
* e-mail: vecherov.vv@roslesinforg.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проводимые ФГБУ «Рослесинфорг» работы по созданию национальной сети тестовых полигонов мониторинга пулов углерода в наземных экосистемах России в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».

Ключевые слова: система мониторинга климатически активных веществ, образцы почв и надпочвенного покрова, лесообразующие породы, тестовые полигоны

V. V. Vechevov^{1}, A. A. Makarova*

The use of data from the most important innovative project of national importance «Unified national monitoring system of climatically active substances» to establish dependencies between the decryption and taxation characteristics of the main forest-forming species

^{1*} FSBI Roslesinsorg, Moscow, Russian Federation
*e-mail: vecherov.vv@roslesinforg.ru

Annotation. The article discusses the work carried out by Federal State Budgetary Institution «Roslesinforg» on the creation of a national network of test sites for monitoring carbon pools in terrestrial ecosystems of Russia within the framework of the most important innovative project of national importance «Unified national monitoring system of climatically active substances».

Keywords: monitoring system of climatically active substances, test site, samples of soils and above-ground cover, forest-forming species, test ranges

С 2022 года ФГБУ «Рослесинфорг» осуществляются работы по изучению наземных экосистем в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), направленного на экологическую (низкоуглеродную) трансформацию отраслей российской экономики, адаптацию экономики и населения страны к изменениям климата, а также защиту российских подходов на международных площадках [1]. В процессе выполнения работ осуществляется наземная оценка характеристик лесов на сети тестовых полигонов (ТП). ТП представляет собой квадрат со стороной 2 км на 2 км, размещаемый в горизонтальном

положении на местности. Заданный размер ТП (400 га или 4 км²) выбран для валидации результатов обработки спутниковых данных среднего пространственного разрешения. Например, в случае использования данных MODIS с пространственным разрешением 250 м/пкс на одном ТП размещается 64 пикселя (8x8 пикселей).

Размещение ТП на местности производится с учетом применяемой стратификации. Схема стратификации разработана Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН) на основе интеграции наземных данных, в т.ч. данных государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) различного пространственного разрешения и математического моделирования, для учета и прогнозирования по потокам парниковых газов и бюджету углерода в наземных экосистемах РФ [2].

Для пространственного учета факторов формирования пулов углерода и выделения однородных районов их действия создана единая схема стратификации наземных экосистем РФ, в основе которой лежат следующие тематические карты:

- карта экорегионов [3];
- карта типов наземной растительности РФ [4];
- карты надземного и подземного растительного пула углерода [5];
- карты почвенного пула углерода в 30 см слое [6].

ТП размещаются в основных (характерных) типах наземных экосистемах, в частности, основных типах лесных экосистем. Размещение ТП основано на распределении характерных типов растительности в пределах регулярной сети ячеек размером 1x1 градус. Каждая ячейка привязывается к пересекаемому ей экорегиону с определением преобладающих типов растительности в нем и в ячейке соответственно.

Для определения местоположения центра ТП в пределах каждой из ячеек производится оценка распределения углерода для каждого из типов наземной растительности, с формированием границ зон с локальными значениями среднего запаса и доли почвенного запаса близким к глобальным.

Критериями наилучшего местоположения центров ТП выступают:

- минимальное отклонение от глобального коэффициента вариации общего запаса углерода;
- минимальная удаленность от ближайшего населенного пункта (по прямой не ближе 3 км) и доступность для закладки ТП;
- наличие в ТП, закладываемых в здоровых насаждениях, минимум одной постоянной пробной площади ГИЛ.

Минимальное число ТП для лесных экосистем рассчитано ЦЭПЛ РАН для всей территории РФ при средней ошибке определения запаса углерода 5,2% [2].

На рисунке 1 приведено размещение сети тестовых полигонов экстенсивного уровня.

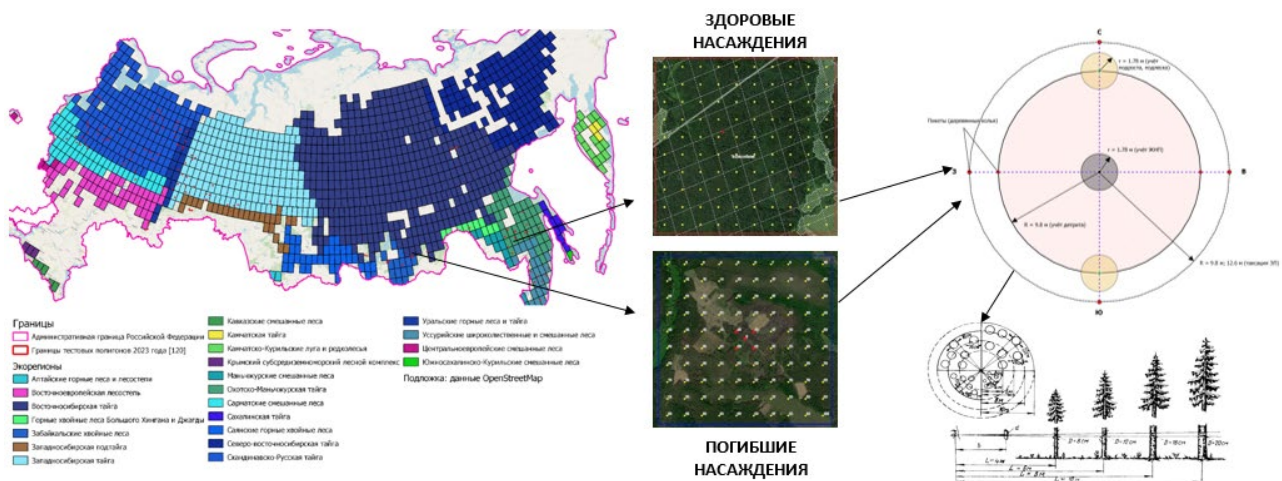


Рис. 1. Размещение сети ТП экстенсивного уровня

За год с момента запуска ВИП ГЗ ФГБУ «Рослесинфорг» сформирована сеть из 120 ТП экстенсивного уровня для сбора базовых данных о лесных экосистемах. Комплексные исследования запасов углерода в лесных растениях и почве проведены в 19 регионах. На каждом ТП специалистами ФГБУ «Рослесинфорг» определены тип и характеристики деревьев, кустарников, сухостоя, валежника древесины, пней и хвороста, а также взято 16 800 образцов трав, лесной подстилки и почвы для лабораторных анализов – в общей сложности более 10 тонн [7].

В процессе полевых работ по наземной оценке характеристик лесов на круговых пробных площадях закладывается 101 круговая площадка, на которых производится описание «живого» напочвенного покрова, подроста и подлеска, описание «мертвой» древесины, таксация насаждений, а также оценка их санитарного состояния. При этом осуществляется сбор данных, позволяющих рассчитать запасы углерода по следующим пулам:

- «живая» биомасса (включая данные о запасах в подросте и подлеске);
- «мертвая» древесина (включая валеж, хворост, пни, сухостой).

Схемы организации полевых работ и круговой пробной площадки приведены на рисунке 2.

В процессе полевых работ по сбору информации о запасах углерода почв и напочвенного покрова осуществляется сбор данных, позволяющих рассчитать запасы углерода по следующим пулам:

- недревесная биомасса (травяно-кустарниковый и мохово-лишайниковые ярусы);
- лесная подстилка;
- органическое вещество почв.

При этом на каждой ТП закладывается 5 почвенных разрезов глубиной до 100 см и 10 прикопок глубиной до 60 см.

Схемы организации полевых работ и отбора образцов приведены на рисунке 3.

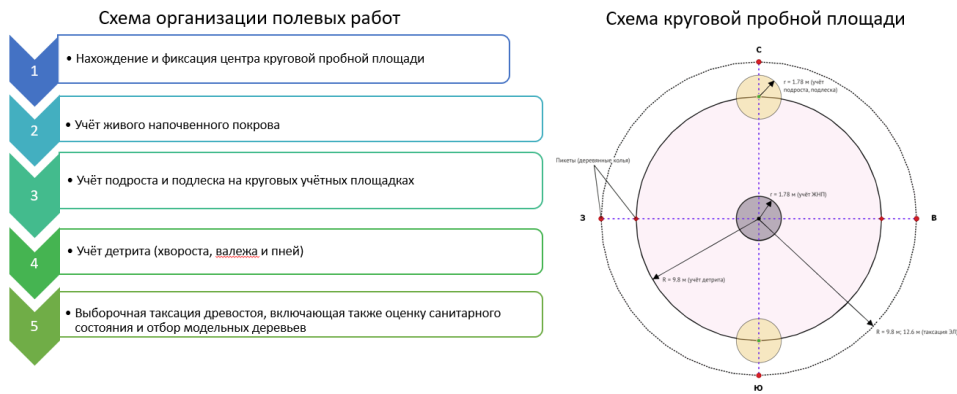


Рис. 2. Наземная оценка характеристик лесов на сети ТП экстенсивного уровня

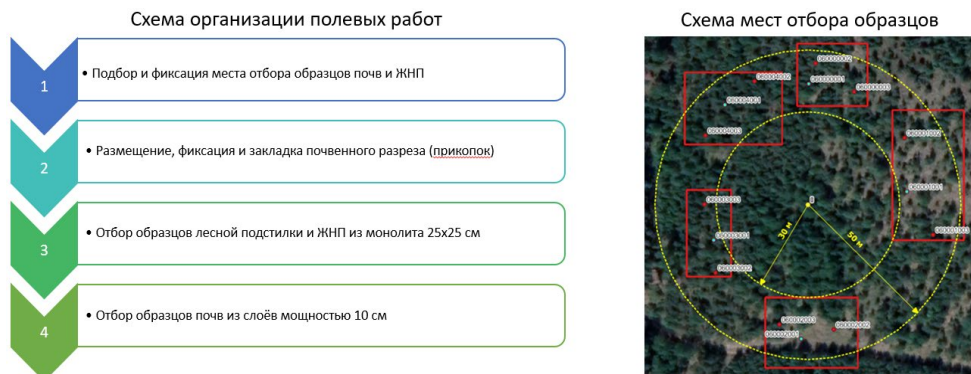


Рис. 3. Сбор информации о запасах углерода почв и напочвенного покрова

Полученная информация позволяет разработать модели машинного обучения для задач классификации и регрессии по данным ДЗЗ различного пространственного разрешения. На рисунках 4-6 приведены результаты использования полевых данных при автоматизированной обработке спутниковых данных. Из наземных наблюдений формируется база данных и спектральные библиотеки основных лесобразующих пород, включающая в более 85 тыс. модельных деревьев.

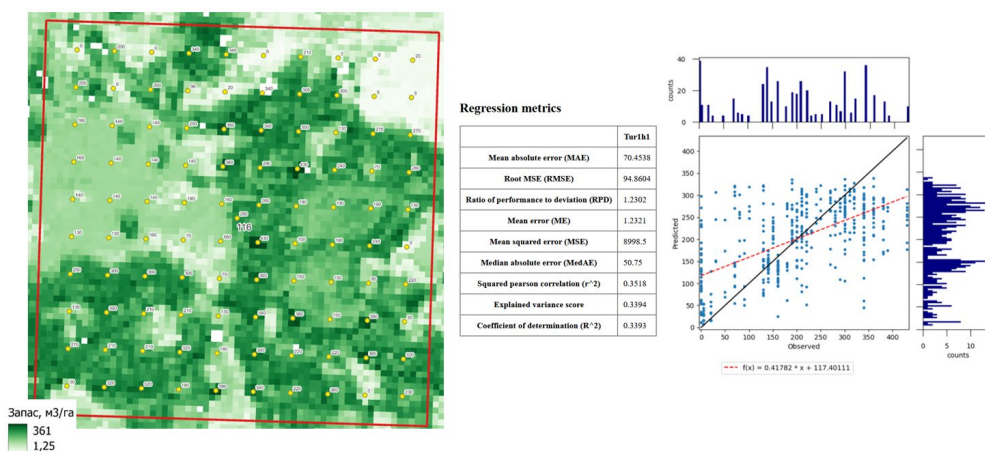


Рис. 4. Создание попиксельной карты запасов древесины методом регрессии (алгоритм «Random Forest»)

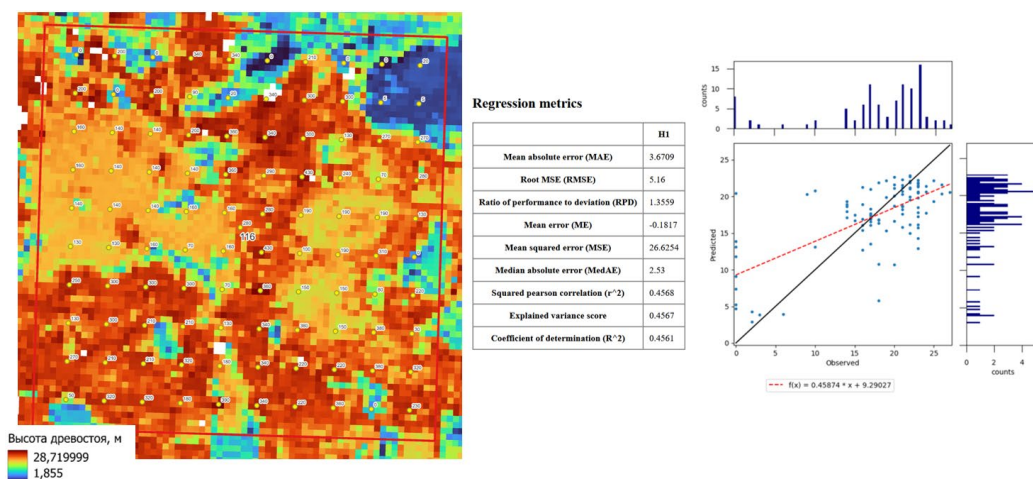


Рис. 5. Создание попиксельной карты высот древесного полога методом регрессии (алгоритм «Random Forest»)

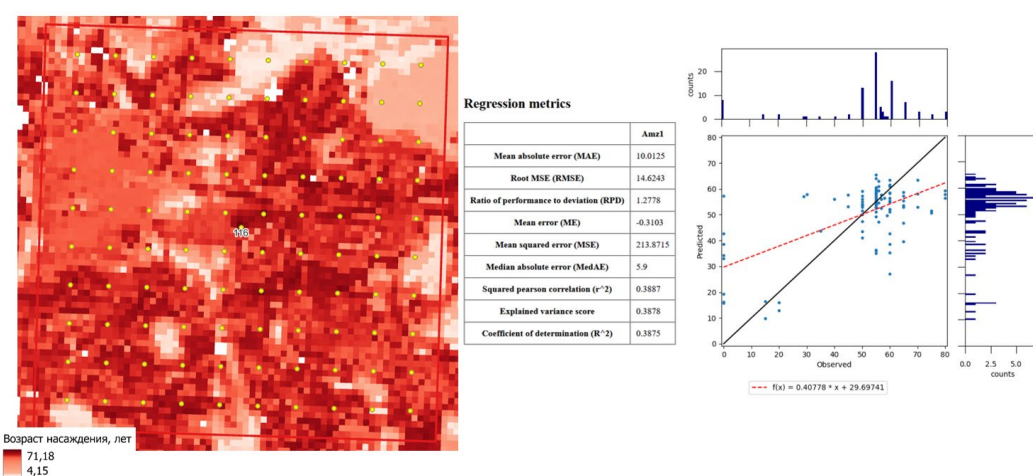


Рис. 6. Создание попиксельной карты возраста насаждений методом регрессии (алгоритм Random Forest)

Таким образом, разработанные на наземных данных модели машинного обучения позволяют с достаточной точностью выделять на снимках среднего пространственного разрешения преобладающие в древесном пологе породы. При моделировании количественных характеристик лесов (например, высоты полога, возраста насаждений, запасов древесины) регрессионные уравнения имеют низкие или средние показатели коэффициента детерминации R². Дальнейшие исследования ФГБУ «Рослесинфорг» будут направлены на улучшение полученных моделей, а также на повышение точности определения количественных и качественных характеристик лесов путем агрегации попиксельных карт в выдела, в т.ч. методами автоматической пространственной сегментации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2022 № 3240-р «Об утверждении важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» и плана мероприятий («дорожной карты») по ре-

ализации первого этапа (2022-2024 гг.) важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405491263/> – Загл. с экрана (дата обращения: 07.05.2024).

2. Проект сети наземных тестовых полигонов для создания единой национальной сети мониторинга климатически активных веществ/ Д.В. Ершов, Е.А. Гаврилюк, Е.С. Подольская, С.В. Князева, Е.Н. Соколова, Н.В. Королева: материалы конференции «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», 15-16 февраля 2023 г., Москва [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ritm-c.ru/wp-content/uploads/2023/04/ritm_2023_0215_ershov.pdf – Загл. с экрана (дата обращения: 07.05.2024).

3. Dinerstein, E. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm // E. Dinerstein et al. / BioScience. – 2017. – Vol. 67. – Issue 6. – P. 534-345.

4. Барталев, С.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS [Текст]// С.А. Барталев, В.А. Егоров, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, И.А. Уваров / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С.285-302.

5. Spawn, S.A, Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010 // Sullivan, C.C., Lark, T.J. et al. / Sci. Data. – 2020. – 7, 112. – P. 453-487.

6. Чернова, О.В. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России [Текст]// О.В. Чернова, О.М. Голозубов, О.И. Алябина, Д.Г. Щепаченко / Почвоведение. – 2021. – №3. – С. 273-286.

7. Год с запуска ВИП-проекта по климату: Рослесинфорг подвел первые итоги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://roslesinfor.ru/news/all/god-s-zapuska-vip-proekta-po-klimatu-roslesinfor-g-podvel-pervye-itogi/> – Загл. с экрана (дата обращения: 07.05.2024).

© В. В. Вечеров, А. А. Макарова, 2024