Оригинальная статья

Original Paper

УДК 630.232 © Е.А. Моршнев✉[1], О.С. Сафронова[1], И.Н. Евсеева[1], Н.А. Остапова[1], Н.А. Петрова[2], 2025

[1] НИИАП Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, 655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия
[2] Разрез «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия», 655162, г. Черногорск, Россия
✉ e-mail:aleks233@yandex.ru

UDC 630.232 © E.A. Morshnev✉[1], O.S. Safronova[1], I.N. Evseeva[1], N.A. Ostapova[1], N.A. Petrova[2], 2025

[1] Scientific-Research Institute of Agrarian Problems of Khakassia – Branch of the FIC KNC SB RAS, Zelenoe Village, 655132, Republic of Khakassia, Russian Federation
[2] «SUEK-Khakassia» LLC, Chernogorsk, 655162, Russian Federation
✉ e-mail:aleks233@yandex.ru

Секвестрация углерода десятилетними насаждениями *Ulmus pumila L.* на породных отвалах угольного разреза «Черногорский» в аридных условиях Хакасии

Carbon sequestration by decade-old plantings of *Ulmus pumila L.* on the waste dumps of the "Chernogorsky" coal mine in the arid conditions of Khakassia

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-10-107-110

В статье представлены данные о накоплении общей фитомассы и углерода, аккумулированного десятилетними насаждениями вяза приземистого, посаженными по очаговой технологии рекультивации на отвалах, образованных железнодорожной отсыпкой. Оценка депонирования углерода вязом приземистым по данной технологии рекультивации проводилась впервые в регионе. Установлено, что десятилетние насаждения связывают в среднем 2,72 т/га углерода.

***Ключевые слова**: нарушенные земли, изменение климата, депонирование углерода, запас древесины, Ulmus pumila, фитомасса, угледобыча, железнодорожный отвал, биологическая рекультивация, лесоразведение.*

Для цитирования: Секвестрация углерода десятилетними насаждениями Ulmus pumila L. на породных отвалах угольного разреза «Черногорский» в аридных условиях Хакасии / Е.А. Моршнев, О.С. Сафронова, И.Н. Евсеева и др. // Уголь. 2025;(10):107-110. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-107-110.

Abstract

The article presents data on the accumulation of total phytomass and carbon accumulated by ten-year-old plantations of Ulmus pumila, planted

МОРШНЕВ Е.А.
Младший научный сотрудник,
НИИАП Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН,
655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия,
e-mail:aleks233@yandex.ru

САФРОНОВА О.С.
Младший научный сотрудник,
НИИАП Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН,
655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия,
e-mail:aleks233@yandex.ru

ЕВСЕЕВА И.Н.
Младший научный сотрудник,
НИИАП Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН,
655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия,
e-mail:aleks233@yandex.ru

ОСТАПОВА Н.А.
Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, НИИАП Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, 655132, с. Зеленое, Республика Хакасия, Россия , e-mail: aleks233@yandex.ru

ПЕТРОВА Н.А.
Ведущий горный инженер-эколог, разрез «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия», 655162, г. Черногорск, Россия, e-mail: petrovana@suek.ru

using a patch technology of reclamation on dumps formed by railway embankments. The assessment of carbon deposition by the Siberian elm using this reclamation technology was conducted for the first time in the region. It was found that ten-year-old plantations sequester an average of 2.72 tons of carbon per hectare.

Keywords
Disturbed lands, climate change, carbon sequestration, timber stock, Ulmus pumila, phytomass, coal mining, railway embankment, biological reclamation, afforestation.
For citation
Morshnev E.A., Safronova O.S., Evseeva I.N., Ostapova N.A., Petrova N.A. Carbon sequestration by decade-old plantings of Ulmus pumila L. on the waste dumps of the "Chernogorsky" coal mine in the arid conditions of Khakassia. *Ugol'*. 2025;(10):107-110. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-107-110.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая концентрация CO_2 в атмосфере планеты – одна из актуальных глобальных экологических проблем, не решенная до сих пор [1]. Ее рост вызывает последовательные изменения оптических свойств атмосферы в инфракрасной области радиационного баланса Земли и, наконец, неравнозначные по географическим регионам глобальные трансформации климата [2]. По мере повышения средних глобальных температур над большей частью поверхности суши в перспективе будут чаще наблюдаться экстремально высокие и реже – экстремально низкие температуры. Вследствие происходящих изменений климата многие наземные виды изменят свои географические ареалы, сезонную активность, численность и взаимодействие с другими видами [3].

Для территорий юга Сибири, расположенных в межгорных котловинах и имеющих специфический характер циркуляции воздушных масс, обусловливающих аридность климата, региональные последствия глобальной трансформации климата более ощутимы [4]. Данное обстоятельство усиливается при интенсификации антропогенной деятельности, в частности горной промышленности. Согласно отраслевой статистики, с 2008 по 2023 г. добыча угля на всех угольных разрезах в Хакасии увеличилась в 2,8 раза, с 10 до 28,2 млн т в год. Площадь нарушенных территорий при этом выросла сообразно добыче. При этом вследствие изменений климата идет изменение роли лесных массивов. На глобальном уровне они из поглотителей преобразуются в эмитенты парниковых газов. Исходя из этих фактов, возникает необходимость увеличения депонирующей способности территорий, ранее не занятых лесными насаждениями, где производится лесоразведение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Участок с проведенной биологической рекультивацией расположен на внешнем отвале угольного разреза «Черногорский», сформированном железнодорожным способом. Работы по рекультивации производились путем создания агрофитоценоза в засушливых условиях степной зоны Хакасии, что по патенту RU 2343286 C1 предусматривает занятие 1/5 отрабатываемой площади посадками древесно-кустарниковых видов, устойчивых к аридному климату. Выбранные виды обладают широкой экологической амплитудой и способны эффективно секвестрировать углекислый газ, что оказывает положительное влияние на углеродный баланс в пределах разреза. В качестве материала для исследования использовались десятилетние насаждения вяза приземистого, созданные

в процессе работ по биологической рекультивации нарушенных земель. В наблюдаемый период в насаждениях вяза наблюдалась инвазия инорайонного вредителя из группы жуков-листоедов – *Ambrostoma quadriimpressum* Motschulsky с массовым объеданием листьев. По этой причине не был произведен учет листовой массы вяза, отчужденной в результате жизнедеятельности фитофагов (*рис. 1, 2*).

Для исследований по депонированию углерода насаждениями вяза приземистого, ввиду особенностей габитуса кроны этого вида на нарушенных землях, использовался метод средней модели. Были заложены три повторности размером 25×25 м. При определении запаса древесины были произведены замеры диаметра стволов, высота каждого дерева с последующим расчетом и выявлением средних показателей. Для определения запаса древесины на опыте объем ствола среднего модельного дерева умножался на число деревьев на повторности, при этом конечное значение запаса древесины выражалось в кубических метрах. Объем среднего модельного дерева находили по ксилометрическому способу [5]. Для определения фитомассы древостоя использовался конверсионный способ, расчет произведен по формуле:

$$M = K \times V,$$

где K – это конверсионный коэффициент для основных лесообразователей по группам возраста и экорегионам; V – объем древесины в кубометрах.

Основу для вычисления общей фитомассы и связанного в ней углерода как на повторности, так и на гектар насаждений получили при расчете запаса стволовой древесины. При оценке запасов фитомассы и общего депонированного углерода не учитывалась подземная часть дерева из-за высокой каменистости субстрата на отвалах вскрышных пород.

В *табл. 1* приведены средние таксационные показатели сосновых культур и средние запасы стволовой древесины на пробах насаждений вяза приземистого.

Из анализа данных, полученных при вычислении объема среднего модельного дерева, следует, что в исследованных насаждениях вяза приземистого запас стволовой древесины модельного дерева составляет 19515,91 см^3 (*см. табл. 1*). Полученные значения запасов стволовой древесины явились основой для расчета суммарной фитомассы и депонированного углерода на повторности.

Для определения запаса древесины на повторности объем ствола среднего модельного дерева умножается на число деревьев на повторности, при этом идет конвертация с

Рис. 1. Насаждения Ulmus pumila на участке железнодорожного отвала

Fig. 1. The Ulmus pumila growing stocks on a railway dump site

Рис. 2. Насаждения Ulmus pumila на участке железнодорожного отвала, вид сверху (фото 2023 г.)

Fig. 2. The Ulmus pumila growing stocks on a railway dump site, top view (photo made in 2023)

сантиметров в метры. В *табл. 2* представлены данные по расчету общей фитомассы и депонированного углерода десятилетними насаждениями вяза приземистого на техногенных отвалах разреза «Черногорский».

Данные *табл. 2* показывают, что средний запас стволовой части модельного дерева составил 0,019 м^3, средний запас древесины ствола на пробе – 0,56 м^3. С помощью конверсии производится перевод значений запаса фитомассы в запасы углерода. В среднем, в полученной фитомассе вяза приземистого накапливается 5,55 т/га фитомассы, в которой аккумулируется 2,72 т/га углерода.

Таблица 1

Таксационные показатели средней модели ствола *Ulmus pumila*, 2024 г.

Taxational indicators for the average *Ulmus pumila* trunk model, 2024

Учетная площадь, № п/п	Длина ствола, см	Диаметр основания, см	Диаметр вершины, см	Объем ствола, см^3
1	465	7,7	0,5	30867,56
2	358	6,3	0,4	15884,37
3	372	5,4	0,2	11795,80
Средняя	398,3	5,7	0,36	19515,91

Таблица 2

Депонирование углерода в насаждениях *Ulmus pumila* (стволовая часть)

Carbon sequestration in the *Ulmus pumila* growing stocks (the trunk section)

Возраст	Запас модельного дерева, м³	Запас древесины на пробе, м³	Фитомасса, т/га	Углерод, т/га
10	0,031	0,86	8,48	4,16
	0,016	0,56	5,44	2,72
	0,012	0,28	2,72	1,28
Среднее	0,019	0,56	5,55	2,72

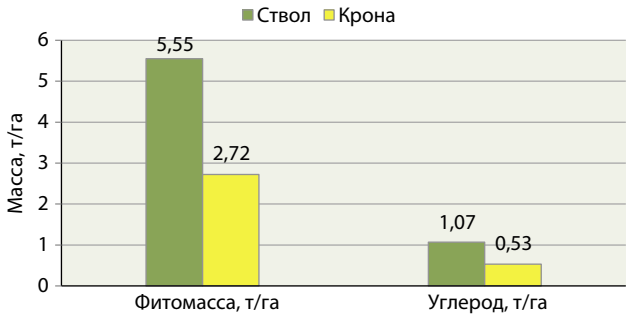

Рис. 3. Фитомасса и депонированный углерод отдельных частей дерева в насаждениях Ulmus pumila

Fig. 3. Phytomass and stored carbon of selected tree parts in the Ulmus pumila growing stocks

На *рис. 3* представлены данные по фитомассе и депонированному углероду отдельных частей десятилетних насаждений вяза приземистого.

При росте древостоя запас древесины в стволовой части и кроне дифференцирован с преобладанием по массовой доле ствола. Анализируя полученные значения запасов фитомассы и углерода, видно, что в структуре отдельных частей дерева запас стволовой части преобладает (5,55 т/ га и 2,72 т/га) над запасом кроны (1,07 т/га и 0,53 т/ га) (*см. рис. 3*). Стволовая часть дерева занимает более 2/3 от общей фитомассы, что делает ее более крупным депо хранения связанного углерода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мероприятия по биологической рекультивации на разрезе «Черногорский» проводятся согласно экологической стратегии компании, что снижает эмиссию углерода на местном уровне с обеспечением экосистемных услуг в данной локации.

Результаты проведенных исследований дают понимание процессов депонирования углерода в данной антропогенной агроэкосистеме и позволяют оценить в моменте их количественные характеристики. За десятилетний период роста насаждений вяза приземистого объем связанного углерода составил 2,72 т/га, с преобладанием в удельной массе дерева стволовой части.

Список литературы • References

1. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.
2. Борзенкова И.И., Будыко М.И. Антропогенные изменения климата. Л.: Гидрометеоиздат,1987. 405 с.
3. Изменение климата / Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Женева: МГЭИК, 2014. 163 с.
4. Чижикова Н.М. Особенности климата Усть-абаканского района Хакасской автономной области. Региональные географические исследования. Новосибирск. Новосибирский государственный педагогический университет, 1978. С. 25-31.
5. Анучин Н.П. Лесная таксация М.: Лесная промышленность, 1977. 512 с.

Authors Information

Morshnev E.A. – Junior Researcher, NIIAP of Khakassia – Branch of the FIC KNC SB RAS, Zelenoe Village, 655132, Republic of Khakassia, Russian Federation, e-mail: morshnev86@mail.ru

Safronova O.S. – Junior Researcher fellow, NIIAP of Khakassia – Branch of the FIC KNC SB RAS, Zelenoe Village, 655132, Republic of Khakassia, Russian Federation, e-mail: olya_egoshina@mail.ru

Evseeva I.N. – Junior Researcher, NIIAP of Khakassia – Branch of the FIC KNC SB RAS, Zelenoe Village, 655132, Republic of Khakassia, Russian Federation, e-mail: evseeirina@yandex.ru

Ostapova N.A. – PhD (Engineering), Senior Researcher, NIIAP of Khakassia – Branch of the FIC KNC SB RAS, Zelenoe Village, 655132, Republic of Khakassia, Russian Federation, e-mail: niterlin@yandex.ru

Petrova N.A. – Leading Mining Engineer and Environmentalist, Chernogorsky Section, SUEK-Khakassia, Chernogorsk, 655162, Russian Federation, e-mail: PetrovaNA@suek.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 5.08.2025
Поступила после рецензирования: 18.09.2025
Принята к публикации: 29.09.2025

Paper info

Received August 5, 2025
Reviewed September 18, 2025
Accepted September 29, 2025