

УДК 630.182.21 © В.И. Уфимцев¹, Д.А. Соколов², О.М. Легощина¹, 2025 UDC 630.182.21 © V.I. Ufimtsev¹, D.A. Sokolov², O.M. Legoshchina¹, 2025¹ Кузбасский ботанический сад ФИЦ УУХ СО РАН, 650065, г. Кемерово, Россия² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия

✉ e-mail: uwy2079@gmail.com

¹ Kuzbass Botanical Garden of Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the SB RAS, Kemerovo, 650065, Russian Federation² Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

✉ e-mail: uwy2079@gmail.com

Депонирование углерода в надземной фитомассе древостоев на отвалах Горловского антрацитового месторождения*

Carbon seposition in the above ground phytomass of forest stands on dampes of the Gorlovsky anthracite field

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-4-108-113>**УФИМЦЕВ В.И.**

Доктор биол. наук,
главный научный сотрудник
Кузбасского ботанического сада
ФИЦ УУХ СО РАН,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: uwy2079@gmail.com

**СОКОЛОВ Д.А.**

Доктор биол. наук,
заведующий лабораторией
рекультивации почв
Института почвоведения
и агрохимии СО РАН,
630090, г. Новосибирск, Россия,
e-mail: sokolovdenis@mail.ru

**ЛЕГОЩИНА О.М.**

Канд. биол. наук, научный сотрудник
Кузбасского ботанического сада
ФИЦ УУХ СО РАН,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: arabena@inbox.ru

Лесные экосистемы умеренного пояса выступают основными стоками атмосферного углерода. Наиболее высокой способностью поглощения углекислого газа обладают молодые насаждения быстрорастущих лиственных и хвойных деревьев первой величины. В этой связи насаждения, возникающие на техногенных ландшафтах – отвалах вскрышных пород угольной промышленности – могут рассматриваться как «углеродные фермы» – участки с положительным балансом углерода, превышающие по темпам секвестрации углерода окружающие естественные массивы с технически спелыми древостоями. В пределах Новосибирской области наиболее значительная площадь техногенных ландшафтов, на которых формирование экосистем происходит «с нуля», представлена на отвалах Горловского антрацитового месторождения. Здесь формируются, произрастают преимущественно лиственные насаждения, характеризующиеся разнородностью породного состава, возраста и густоты. Исследования продуктивности насаждений показывают высокие темпы накопления углерода, что позволяет их считать

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00116 «Органическое вещество почв техногенных ландшафтов антрацитовых месторождений Сибири: накопление и трансформация».

перспективными прототипами для разработки моделей «карбоновых ферм».

Ключевые слова: угольные месторождения, отвалы вскрышных пород, лесные насаждения, секвестрация углерода, «карбоновые фермы», фитомасса, техногенные почвы, органическое вещество.

Для цитирования: Уфимцев В.И., Соколов Д.А., Легощина О.М. Депонирование углерода в надземной фитомассе древостоев на отвалах Горловского антрацитового месторождения // Уголь. 2025;(4):108-113. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-4-108-113.

Abstract

Temperate forest ecosystems are the main sinks of atmospheric carbon. Young stands of fast-growing deciduous and coniferous trees of the first magnitude have the highest capacity to absorb carbon dioxide. In this regard, stands arising on technogenic landscapes – waste rock dumps of the coal industry – can be considered as “carbon farms” – areas with a positive carbon balance, exceeding the rates of carbon sequestration of the surrounding natural massifs with technically mature stands. Within the Novosibirsk Region, the most significant area of technogenic landscapes, where ecosystems are being formed “from scratch”, is represented by the dumps of the Gorlovskoye anthracite deposit. Here, predominantly deciduous stands are formed, characterized by heterogeneity of species composition, age and density. Studies of the productivity of the stands show high rates of carbon accumulation, which allows them to be considered promising prototypes for the development of “carbon farm” models.

Keywords

Coal deposits, waste rock dumps, forest plantations, carbon sequestration, “carbon farms”, phytomass, technogenic soils, organic matter.

Acknowledgements

The research was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 23-24-00116 “Organic matter in soils of man-made landscapes of anthracite deposits in Siberia: accumulation and transformation”.

For citation

Ufimtsev V.I., Sokolov D.A., Legoshchina O.M. Carbon sequestration in the above ground phytomass of forest stands on dumps of the Gorlovsky anthracite field. *Ugol*. 2025;(4):108-113. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-4-108-113.

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность древесных насаждений – важнейшая характеристика соответствия экологических условий биологии вида. Вместе с тем продуктивность, связанная с нарастанием стволовой и нестволовой фитомассы древостоев за единицу времени, характеризует способность древесных видов к накоплению и аккумуляции депонированного атмосферного углерода. Известно, что максимальной величиной годового углерододепонирования в расчете на лесопокрытую площадь – 4,2-7,2 т/га – обладают лесные насаждения в период II и III класса возраста, после чего ежегодные объемы депонирования углерода

значительно сокращаются [1, 2]. Спелые и перестойные леса, преобладающие на значительных площадях в Российской Федерации, обладают сниженной текущей углерододепонирующей способностью и близким к нулевому или даже отрицательному углеродным балансам [3, 4]. В связи с этим велика роль лесных экосистем, формирующихся на техногенных субстратах и обладающих параметрами продуктивности, соизмеримыми с продуктивностью высокобонитетных лесов в естественных условиях [5]. Насаждения, произрастающие на отвалах, могут рассматриваться в качестве «карбоновых ферм», которые могут внести существенный вклад в снижение углеродного следа индустриально развитых регионов [6].

На участках отвалов с успешным лесовозобновлением основными параметрами, характеризующими углеродонакопление, являются фитомасса стволовой и нестволовой частей, как отдельных деревьев, так и древостоя в целом, а в структуре нестволовой части – доля листвы, выполняющей функции фотосинтеза, доля живых ветвей, обеспечивающих его активность и долголетие, и доля отмерших ветвей на дереве – сучьев, обуславливающих переход функций углеродопоглощения и накопления фитомассы в вышележащие ярусы живых ветвей [7, 8].

Цель данной работы – определить массу углерода, депонированного в надземной фитомассе разнородных и разнотипных древостоев, формирующихся на участках самозарастания отвалов Горловского антрацитового месторождения. Результаты данной работы позволят, во-первых, определить наиболее продуктивные техногенные лесные экосистемы с точки зрения секвестрации атмосферного углерода, во-вторых, послужат основой для моделирования соответствующих условий по типу субстрата, породному составу насаждений и схемам посадки, на участках лесной рекультивации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследований – древесные насаждения, произрастающие на неспланированных участках Нагорного отвала Горловского антрацитового месторождения, расположенного в Искитимском районе Новосибирской области. Территория района исследований относится к области степной и лугово-степной растительности на плакорах и склонах южных и юго-западных экспозиций, мелколиственных березовых, березово-осиновых и осиновых травяных лесов на склонах северных и восточных экспозиций [9].

Ранее проведенные исследования показали высокое содержание крупнообломочных фракций (частиц > 1 мм) от 56,2 до 80,0%. В то же время содержание физической глины (частиц < 0,01 мм) остается на крайне низком уровне – в среднем 6,5%. Исключение составляют участки отсыпки рыхлых осадочных пород, где содержание тонкодисперсных фракций достигает 59,9% при отсутствии скелетности. В целом же более высокая доля крупнообломочной части с низким содержанием физической глины характерна для почв склоновых и участков с бугристым рельефом. Содержание общего азота в слое 0-20 см эмбриоземов не превышает 0,25% при средних и медианных 0,14%, что

говорит о дефиците в почвах этого элемента и о слабой освоенности субстрата биологическими процессами, рН водной суспензии исследуемых эмбриоземов находится в области нейтральных и слабощелочных значений. Другим свойством эмбриоземов, находящимся в непосредственной зависимости от рельефа, является их плотность. В силу высокой каменистости эти почвы обладают более высокой плотностью (1,2-1,9 г/см³) по сравнению естественными фоновыми почвами. Максимальные ее значения 1,8-1,9 г/см³ отмечаются на спланированных горизонтальных участках, минимальные – на участках с пересеченным рельефом и в местах отсыпки глин – 1,2-1,5 г/см³ [10].

В ходе маршрутного обследования отвалов было выделено семь модельных участков, соответствующих параметрам лесопокрытой площади, на которых было заложено семь пробных площадей (ПП), ранжированных по породному составу, сомкнутости крон, типу почвы, экспозиции склонов, которые в целом отражают весь спектр лесорастительных условий на отвале (рис. 1).

Закладка пробных площадей проводилась в различающихся местообитаниях по элементам рельефа, породному составу и сомкнутости крон древостоев. Биологическая продуктивность древостоев определялась путем измерения надземной фитомассы древостоя по фракциям.



Рис. 1. Расположение пробных площадей
Fig. 1. Location of the test plots

В условиях участков рекультивации наиболее приемлемым методом определения фитомассы является способ среднего дерева, который позволяет получить относительно точные сведения при минимальном количестве отчуждаемых деревьев [11, 12]. Таким образом, зная массу листьев и веток, площадь поперечного сечения среднего модельного дерева на высоте 1,3 м, число деревьев каждой ступени толщины и запасы стволовой древесины, можно определить, хотя бы в первом приближении, массу деревьев на пробной площади и, соответственно, величину надземной биомассы (M_0), т/га.

Определение запасов углерода проводилось путем умножения величины абсолютно сухой фитомассы всех фракций древесины на коэффициент 0,5. Универсальный коэффициент пересчета, равный 0,5, принимается вне зависимости от видовой принадлежности или фракций древесных растений, в том числе и зеленых частей, поскольку основные лесобразователи умеренного пояса имеют достаточно близкое к этой величине содержание углерода [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что древесные насаждения, произрастающие на отвалах Горловского антрацитового карьера, возникли в результате естественного заноса семян с сопредельных ненарушенных лесных массивов, характеризуются выраженной разнородностью и различным породным составом. По возрастному состоянию насаждения ПП5 относятся к I классу возраста (12 лет – молодняк), ПП6 – к III классу возраста (40 лет – средневозрастные), всех остальных пробных площадей – ко II классу возраста (стадия жердняка – 22-28 лет) (табл. 1).

На каменистых субстратах отвалов, сложенных из техногенных элювиев песчаников, алевролитов и аргиллитов, расположенных на хорошо дренируемых поверхностях 1-го и 2-го ярусов (ПП1, ПП4, ПП6, ПП7), доминирующей древесной породой выступает береза повислая (*Betula pendula* L.). Густота древостоев варьирует более чем в 6 раз – от 1076 до 6419 экз./га. В то же время сомкнутость крон древостоев, в частности с преобладанием березы повислой, различается незначительно – от 60% (средне-сомкнутые насаждения) до 100% (высокосомкнутые насаждения).

Таблица 1

Общая характеристика древостоев на модельных участках

General characteristics of the forest crop in the model plots

ПП	Густота древостоя, шт./га	Сомкнутость крон, %	Породный состав*	Расчетные параметры модельного дерева			Сумма площадей сечений (1,3 м), м ²
				Возраст, лет	Высота, м	Диаметр (1,3м), см	
ПП1	2144	90	9Б1Т+С	22	15	10,5	16,3
ПП2	1728	70	9Т1Б+И	28	16	12,85	14,5
ПП3	1251	40	6Ос3Б1С	25	12	10	9,4
ПП4	591	60	9Б1Ос+С+Т	20	12	12,4	8,8
ПП5	6419	100	10Ос+С+И	12	9	6,85	31,4
ПП6	6311	90	9Б1Ос+С+И	25	18	10,2	40,9
ПП7	2694	95	10Б+Ос+Т	25	11	7,4	15,6

*Примечание: Б – береза повислая, Ос – осина, Т – тополь черный, С – сосна обыкновенная, И – ива козья.

Содержание чистого углерода в надземной фитомассе древостоев

The net carbon content in the aboveground phytomass of the forest crop

ПП	Преобладающая древесная порода	Возраст, лет	Масса чистого углерода по фракциям, кг/га				
			Сухие ветви	Стволы	Живые ветви	Листья	Всего
ПП1	Береза повислая	22	1417,5	44618,1	6379,4	3999,7	56414,7
ПП2	Тополь черный	28	0,0	23495,5	2558,5	3056,5	29110,5
ПП3	Осина	25	0,0	15352,1	7648,6	1645,3	24646,0
ПП4	Береза повислая	20	1225,4	12804,7	1432,6	4034,2	19497,0
ПП5	Осина	12	366,6	32174,4	36777,3	18365,9	87684,1
ПП6	Береза повислая	40	4092,3	260911,7	36341,6	16456,3	317801,9
ПП7	Береза повислая	25	313,4	20596,7	18987,7	7295,4	47193,2

На глинистых субстратах (ПП5), а также бессточных горизонтальных участках (ПП3) преобладающей древесной породой является осина (*Populus tremula* L.). Густота насаждений осины варьирует от 1251 до 6419 экз./га – в 5 раз, однако диапазон сомкнутости осинников более значительный – от 40% (малосомкнутые насаждения) до 100%, чем березняков, что подтверждает более высокие требования осины к условиям произрастания и характеризует осину как второстепенного эдификатора лесных экосистем на участках самозараствания отвалов. Другие древесные виды в древостоях присутствуют единично, в частности сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), которая выполняет функции ассектатора сообществ. Несущественное присутствие сосны объясняется в первую очередь спорадическим распространением сосны в растительном окружении отвалов.

На пониженных формах мезорельефа, каньонообразных участках, в значительной степени защищенных от прямой инсоляции, вследствие чего обладающих мезоморфным водным режимом (ПП2), занимающих, однако, незначительные площади относительно всей площади отвала, формируются насаждения тополя черного (*Populus nigra* L.) с примесью березы и ивы козьей (*Salix caprea* L.).

Величина абсолютных запасов надземной фитомассы древостоев в пересчете на чистый углерод варьирует в диапазоне от 19 до 317 т/га – между минимальным (ПП4) и максимальным (ПП6) значениями различия более чем в 16 раз (табл. 2). Резкое преобладание по этому показателю ПП6 обусловлено прежде всего более старшим возрастом насаждений – 40 лет и наивысшей густотой среди березняков – 6311 экз./га. По общему углеродонакоплению выделяется высокополнотный молодой осинник (ПП5), где, несмотря на малый возраст – 12 лет, в надземной фитомассе древостоя накоплено свыше 87 т/га углерода – больше, чем в березняках более старших возрастов, за исключением ПП6, также за счет повышенной густоты – 6419 экз./га, возникшей при естественном лесовозобновлении.

В березовых насаждениях величина углеродонакопления с очень высокой теснотой связи (0,994) находится в линейной зависимости от густоты древостоев до их максимальных значений (рис. 2).

Не подтверждается и снижение темпов накопления фитомассы с возрастом после смыкания крон при предельной густоте насаждений, произрастающих на отвалах,

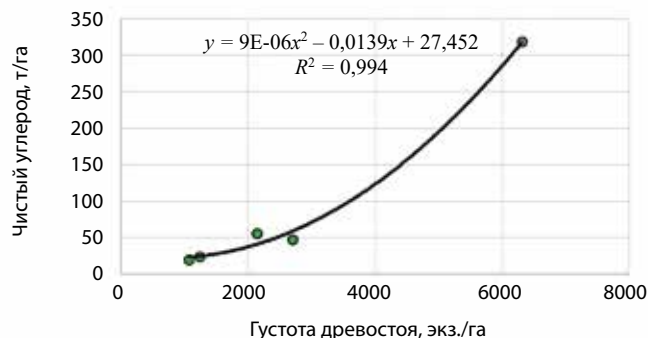


Рис. 2. Накопление чистого углерода в надземной фитомассе березовых древостоев в зависимости от густоты (шт./га), т/га

Fig. 2. Accumulation of net carbon in the aboveground phytomass of the birch forest crop depending on density (pcs./ha), t/ha

в отличие от культур на отвалах Кузбасса, для которых предельной величиной является густота на уровне 2500-3000 экз./га, после которой отмечаются резкое снижение ростовых процессов, угнетение жизненного состояния и снижение величины общей фитомассы древостоев [6]. Здесь, на склонах северных и северо-восточных экспозиций и находящихся под ними террасах деревья не испытывают дефицита в увлажнении за счет перераспределения осадков по поверхности и сохранения влаги в менее плотных почвах.

Соотношение фракций надземной фитомассы по содержанию углерода показывает, что при предельной густоте средневозрастных насаждений доля углерода кроны (в живых ветвях – 11,4%, в листьях – 5,2%) в целом сопоставима с показателями сомкнутых березняков II класса возраста (ПП1 – 11,3% и 7,1% соответственно) или тополевых насаждений (8,9 и 10,6% соответственно), что свидетельствует о сохранении текущей величины углеродонакопления.

Максимальная доля углерода кроны отмечена на ПП5, где 41,9% составляет доля живых ветвей и 21,0% – доля листьев, которые обуславливают высокую величину депонирования углерода молодым осинником. Высокая доля фитомассы живых веток также отмечена в несомкнутом 25-летнем осиново-березовом насаждении (ПП3) – 30,9%, на фоне преобладания доли стволового углерода – 62,6%.

Известно, что запасы углерода, содержащиеся в листовой массе, служат интегральным показателем фотосинтезирующей способности древостоев, обеспечивающей накопление углерода во всех фракциях биомассы [14]. Следовательно, в древостоях, обладающих повышенной фитомассой нестволовых фракций, относительно высокополнотных древостоев более старших возрастов пик накопления углерода еще не достигнут, и по мере взросления насаждений темпы депонирования углерода в надземной фитомассе могут существенно возрасти.

Важнейшим показателем, характеризующим способность насаждений разных возрастов к депонированию углерода, является среднегодовая величина углеродонакопления (рис. 3). Существенно преобладают по этому показателю молодые осинники на ПП5 – 7,3 чистого т/га в год и средневозрастные березовые насаждения на ПП6 – 7,9 т/га в год.

Эти показатели в 1,5-2 раза превышают показатели депонирования сомкнутых сосняков, произрастающих на отвалах вскрышных пород в Кузбассе [6], и могут

быть отнесены к максимально продуктивным лесным биомам Западной Сибири [8]. Сравнение по среднегодовому углеродонакоплению между осинниками и березовыми насаждениями, с одной стороны, и березовыми насаждениями разных возрастов, с другой стороны, свидетельствует, что высокополнотные осинники, формирующиеся на плохо дренируемых, но не переувлажненных участках, уже в раннем возрасте выходят на максимальную величину накопления надземной фитомассы, а сомкнутые березняки – на 15-20 лет позже – в период II класса возраста.

Минимальным ежегодным накоплением углерода характеризуются тополевые насаждения – только 1 т/га в год. Основные таксационные показатели насаждений тополя черного: густота древостоев – 1728 экз./га, сомкнутость крон – 70%, отношение массы стволовой древесины на единицу площади поперечных сечений – 1,6 т/м² – не ниже средних значений березовых древостоев.

Обращает внимание существенно сниженная доля нестволовой части – живых ветвей и листьев – относительно данных показателей в березовых насаждениях – менее 20% в совокупности (рис. 4), что свидетельствует о достижении пика углеродонакопления насаждений при указанной густоте уже в период II класса возраста.

Вероятно, это связано с повышенной требовательностью тополя черного к влаге – его произрастание на отвалах приурочено к специфическим увлажненным местообитаниям, занимающим на отвалах незначительную площадь, в отличие от насаждений березы повислой, насаждения которой в мезоморфных условиях занимают на каменистых субстратах отвалов обширные площади плакоров и террас северных, северо-восточных и восточных экспозиций.

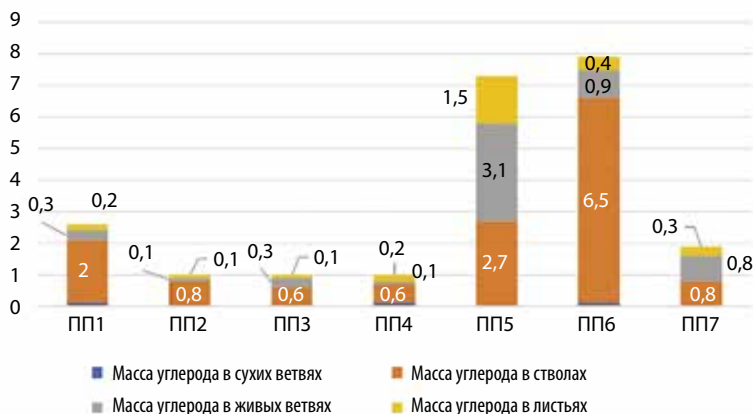


Рис. 3. Среднегодовое накопление чистого углерода в надземной фитомассе древостоев, по фракциям древесины, т/га.
Fig. 3. An average annual accumulation of net carbon in the aboveground phytomass of the forest crop, by wood fractions, t/ha

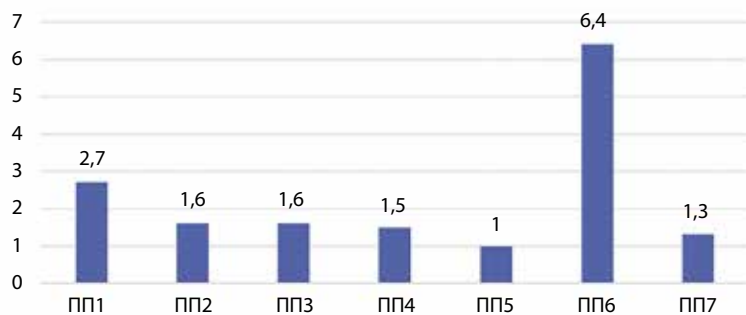


Рис. 4. Соотношение массы чистого углерода в стволовой древесине к единице площади поперечных сечений стволов на высоте груди (1,3 м), т/м²
Fig. 4. The ratio of the net carbon mass in stem wood to the unit area of the stem cross-sections at breast height (1,3 m), t/m²

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Таким образом, сомкнутые березовые насаждения, произрастающие на участках самозарастания Горловского антрацитового месторождения, характеризуются повышенным углеродонакоплением в надземной фитомассе древостоев, достигающим пиковых значений в период II-III классов возраста (около 40 лет) на уровне 2,7-7,9 т/га, сопоставимом с величиной максимального углеродонакопления в естественных березовых молодняках. В березовых насаждениях величина депонирования углерода прямо пропорциональна густоте древостоев – увеличение запасов углерода отмечается до предельной (свыше 6300 экз./га) густоты древостоев – более 300 т/га. Поэтому при создании «карбоновых ферм» на отвалах Новосибирской области береза повислая, безусловно, подходит в качестве главной древесной породы.

В свою очередь сомкнутые осиновые насаждения, формирующиеся в результате естествен-

ного поселения на глинистых субстратах отвалов, а также бессточных горизонтальных поверхностях, выходят на пик углеродонакопления в период I класса возраста за счет повышенной густоты (свыше 6000 экз./га) и максимального развития кроновых фракций фитомассы. Осину можно рекомендовать как сопутствующую древесную породу на субстратах с высоким содержанием фракций физической глины, на бессточных горизонтальных поверхностях, где она обладает лучшими конкурентными свойствами по сравнению с березой повислой.

В то же время насаждения тополя черного характеризуются сниженным потенциалом углеродонакопления, вероятно, вследствие низкого значения предельной густоты при естественном возобновлении и значительного сокращения доли фотосинтезирующего аппарата относительно массы стволовой древесины. Использование тополя черного при создании «карбоновых ферм» нецелесообразно.

Список литературы • References

1. Стаканов В.Д., Кузьмичев В.В., Грешилова Н.В. Формирование углерододепонирующих древостоев рубками ухода за молодняками // Лесное хозяйство. 2002. № 2. С. 24-25.
Stakanov V.D., Kuzmichev V.V., Greshilova N.V. Formation of carbon-sequestering stands by thinning of young forests. *Lesnoe khozyajstvo*. 2002;(2):24-25. (In Russ.).
2. Харламова А.В. Депонирование углерода искусственными лесными экосистемами терриконов угольных шахт // Безопасность жизнедеятельности. 2020. № 10 (238). С. 38-41.
Kharlamova A.V. Carbon sequestration by artificial forest ecosystems of coal mine waste heaps. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2020;10(238):38-41. (In Russ.).
3. Исаев А.С. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовозобновления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
4. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28.
Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Kraev G.N. Dynamics of the carbon budget of Russian forests over the last two decades. *Lesovedenie*. 2011;(6):16-28. (In Russ.).
5. Манakov Ю.А., Куприянов А.Н., Копытов А.И. Добыча каменного угля в аспекте устойчивого развития региона // Уголь. 2018. № 9. С. 89-94. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-9-89-94.
Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N., Kopytov A.I. Kuzbass coal mining for the region stable development. *Ugol'*. 2018;(9):89-94. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-9-89-94.
6. Уфимцев В.И., Куприянов А.Н. Карбоновые фермы – отвалы угольных предприятий Кузбасса // Уголь. 2021. № 11. С. 56-60. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60.
Ufimtsev V.I., Kupriyanov A.N. Carbon farms-dumps of coal enterprises of Kuzbass. *Ugol'*. 2021;(11):56-60. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-11-56-60.
7. Wallas-Wells D. The Uninhabitable Earth: Life after Warming. New York, USA: Tim Duggan Books, 2019. 320 p.
8. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69-92.
Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Carbon budget of Russian forests. *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2014;(1):69-92. (In Russ.).
9. Атлас Новосибирской области. Федеральная служба геодезии и картографии России; 2-е изд. М.: Роскартография, 2002. 56 с.
10. Соколова Н.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов антрацитовых месторождений // Экология и промышленность России. 2020. Том 24. № 1. С. 62-68.
Sokolova N.A., Gossen I.N., Sokolov D.A. Assessment of the suitability of vegetation indices for identifying the soil-ecological state of the surface of anthracite deposit dumps. *Ekologiya i Promyshlennost' Rossii*. 2020;24(1):62-68. (In Russ.).
11. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
12. Satoo T. A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan, In: D.E. Reichle (ed.). Analysis of temperate forest ecosystems. Ecological Studies, Vol. 1. New York: Springer-Verlag, 1970, p. 55-72.
13. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердски. Красноярск: ТОО «ЭКОС», 1994. 171 с.
14. Вайс А.А. Оценка фитомассы хвой сосны на землях лесного фонда с учетом стандартного распределения и продуктивности отдельного дерева / Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XI Международной научно-практической конференции. Барнаул, 04-05 февраля 2016 г. Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. Кн. 2. С. 320-321.

Authors Information

Ufimtsev V.I. – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of Kuzbass Botanical Garden of Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the SB RAS, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: uwy2079@gmail.com

Sokolov D.A. – Doctor of Biological Sciences, Head of laboratory of Remediation of Soils, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, e-mail: sokolovdenis@mail.ru

Legoshchina O.M. – PhD (Biological), Researcher, Kuzbass Botanical Garden of Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the SB RAS, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: arabena@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.11.2024

Поступила после рецензирования: 28.02.2025

Принята к публикации: 25.03.2025

Paper info

Received November 25, 2024

Reviewed February 28, 2025

Accepted March 25, 2025