

Научная статья

УДК 631.48 (470.13-924.82)  
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.11

## Почвенное органическое вещество и запасы углерода в почвах техногенных ландшафтов средней тайги европейского северо-востока России

**Ирина Александровна Лиханова<sup>1</sup>**

кандидат биологических наук

**Елена Геннадьевна Кузнецова<sup>2</sup>**

кандидат биологических наук

**Юрий Владимирович Холопов<sup>3</sup>**

кандидат биологических наук

**Светлана Валентиновна Денева<sup>4</sup>**

кандидат биологических наук

**Елена Морисовна Лаптева<sup>5</sup>**

кандидат биологических наук

**Аннотация.** Обследованы почвы, развитые на разных субстратах (флювиогляциальные пески и супеси, моренные суглинки и древнеаллювиальные пески), которые формируются в ходе восстановления лесных экосистем на посттехногенных территориях в среднетаежной подзоне европейского северо-востока России (Республика Коми). Объектами исследования стали карьеры по добыче полезных ископаемых (строительного песка) и контрольные участки в окрестностях карьеров. Установлено, что процесс почвообразования функционально связан с формированием растительного покрова. Выявлены особенности накопления почвенного органического вещества в почвах в ходе искусственного и естественного лесовосстановления. Показано, что в средней тайге темпы биогенной аккумуляции органического вещества замедлены. В автоморфных условиях скорость накопления  $C_{орг}$  в почве песчаного карьера достигала 0,07, песчано-супесчаного – 0,30, суглинистого – 0,61 т/га/год. К концу второго десятилетия в верхнем 20-сантиметровом слое почв на песчано-супесчаном субстрате аккумулируется до 5,4 т/га органического углерода, на суглинистом – 10,9 т/га, к концу четвертого десятилетия в песчаной почве – до 3,5 т/га. Запасы  $C_{орг}$  в формирующихся почвах в 2–5 раза ниже по сравнению с подзолистыми почвами на контрольных участках.

**Ключевые слова:** средняя тайга, лесовосстановление, первичное почвообразование, почвенный углерод.

**Для цитирования:** Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Холопов Ю.В., Денева С.В., Лаптева Е.М. Почвенное органическое вещество и запасы углерода в почвах техногенных ландшафтов средней тайги европейского северо-востока России. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 125–134. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.11

<sup>1</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, научный сотрудник (г. Сыктывкар, Российская Федерация), likhanova@ib.komisc.ru

<sup>2</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник (г. Сыктывкар, Российская Федерация), kuznecova@ib.komisc.ru

<sup>3</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, научный сотрудник (г. Сыктывкар, Российская Федерация), vegalyn@mail.ru

<sup>4</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, научный сотрудник (г. Сыктывкар, Российская Федерация), denewa@rambler.ru

<sup>5</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, заведующая отделом почвоведения, руководитель группы биологии почв и проблем природовосстановления, научный сотрудник (г. Сыктывкар, Российская Федерация), lapteva@ib.komisc.ru

Original article

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.11

## Soil Organic Matter and Carbon Stocks in Soils of Technogenic Landscapes in the Middle Taiga Subzone of the European North-East of Russia

**Irina A. Likhanova**<sup>1</sup>

*Candidate of Biological Sciences*

**Elena G. Kuznetsova**<sup>2</sup>

*Candidate of Biological Sciences*

**Yuri V. Kholopov**<sup>3</sup>

*Candidate of Biological Sciences*

**Svetlana V. Deneva**<sup>4</sup>

*Candidate of Biological Sciences*

**Elena M. Lapteva**<sup>5</sup>

*Candidate of Biological Sciences*

**Abstract.** The article deals with the soils being formed during the restoration of forest ecosystems on post-technogenic territories in the middle taiga subzone of the European North-East of Russia (Komi Republic). The targets of research were quarries for the extraction of minerals (construction sand) and background areas in the vicinity of quarries. The work describes soils developed on different materials (fluvioglacial sands and sandy loams, moraine loams and ancient alluvial sands). The soil formation process is functionally related to the vegetation cover formation process. The study discovered the principles of soil organic matter accumulation during artificial and natural reforestation. In the middle taiga zone, the biogenic accumulation rates of organic matter are slow. Under automorphic conditions, the accumulation rate of Corg. in sand reached 0.07, in sand-sandy loam – 0.30, and in loam – 0.61 t/ha/year. By the end of the second restoration decade, the upper 20-cm soil layer accumulates 5.4 t organic carbon/ha in sand-sandy loam and 10.9 t organic carbon/ha in loam. The sandy soil accumulates 3.5 t organic carbon/ha by the end of the fourth restoration decade. The content of Corg. in young soils is by 2–5 times less than that in background podzolic soils.

**Key words:** middle taiga, forest restoration, primary soil formation, soil carbon

**For citation:** Likhanova I., Kuznetsova E., Kholopov Y., Deneva S., Lapteva E. Soil Organic Matter and Carbon Stocks in Soils of Technogenic Landscapes in the Middle Taiga Subzone of the European North-East of Russia. – Text : electronic // Forestry information. 2022. № 3. P. 125–134. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.11

<sup>1</sup> Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Researcher (Syktyvkar, Russian Federation), likhanova@ib.komisc.ru

<sup>2</sup> Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Senior Researcher (Syktyvkar, Russian Federation), kuznecova@ib.komisc.ru

<sup>3</sup> Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Researcher (Syktyvkar, Russian Federation), vegalyn@mail.ru

<sup>4</sup> Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Researcher (Syktyvkar, Russian Federation), denewa@rambler.ru

<sup>5</sup> Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Soil Science, Head of the Group of Soil Biology and Problems of Natural Regeneration, Researcher (Syktyvkar, Russian Federation), lapteva@ib.komisc.ru

**Д**обыча полезных ископаемых в таежной зоне сопровождается деградацией лесных экосистем с образованием техногенных ландшафтов. В посттехногенных экосистемах восстановление почвенно-растительного покрова происходит либо в процессе самозарастания, либо после проведения рекультивации.

Выявление закономерностей почвообразования на начальных стадиях лесовосстановления привлекает внимание многих исследователей [1–7]. Установлено, что достаточно быстрое формирование молодых почв происходит не только после рекультивационных мероприятий, но и при самовосстановлении растительного покрова на техногенных пустошах. Большинство отечественных авторов указывают, что ведущими процессами первичного почвообразования являются биогенная аккумуляция веществ и трансформация органического вещества. Именно эти процессы наиболее четко проявляются на ранних стадиях развития почв, а их характеристики авторы предлагают в качестве показателей интенсивности почвообразования [6, 7]. Особенности почвенного органического вещества на разных этапах сукцессии во многом определяются видовым составом растительного сообщества. На это указывают как отечественные [1, 5], так и зарубежные авторы [8–10]. Оценка запасов углерода в ходе восстановления природных экосистем на нарушенных территориях приобретает особую актуальность в связи с проблемой глобального изменения климата.

Цель исследования – оценка скорости формирования почвенного органического вещества и запасов углерода в почвах в ходе лесовосстановления на карьерах после добычи полезных ископаемых (строительного песка) в подзоне средней тайги.

Ранее нами рассмотрена динамика формирования растительности и почв на посттехногенных территориях северо-востока европейской части России (Республика Коми). Подробная характеристика объектов представлена в ряде публикаций [11–13]. В настоящей работе приведены результаты сравнительного изучения органического вещества молодых почв, формирующихся

на техногенных субстратах различного гранулометрического состава.

## Объекты и методы исследования

Исследования проводили на территории среднетаежной подзоны европейского северо-востока России (Республика Коми). Объектами исследований стали 3 карьера по добыче полезных ископаемых (строительного песка) после их отработки. Почвы карьеров формируются на субстратах разного гранулометрического состава: флювиогляциальные пески и супеси, моренные суглинки и древнеаллювиальные пески. В качестве контрольных в окрестностях карьеров выбраны участки с ненарушенным почвенно-растительным покровом.

На территории двух карьеров – «Даса» (субстрат супесчано-песчаный) и «Важель-Ю» (суглинистый), расположенных в 4–5 км от Сыктывкара, около 20 лет назад была проведена биологическая рекультивация с использованием 2-летних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Посадку лесных культур проводили без внесения удобрений и посева трав. Площадь карьера «Даса» – 5,8 га, «Важель-Ю» – 5 га. Густота посадки на карьере «Даса» – 4 тыс. шт./га, на карьере «Важель-Ю» – 5 тыс. шт./га. Ширина междурядий – 2,5–3,0 м. Почвы на контрольных участках: вблизи карьера «Даса» в сосняке бруснично-зеленомошном – подзол иллювиально-гумусово-железистый, вблизи карьера «Важель-Ю» в ельнике травяно-чернично-зеленомошном – подзолистая грубогумусовая потечногумусовая.

Третий карьер «Язель» (песчаный) находится в 35 км от Сыктывкара на боровой террасе р. Вычегды, сложенной мощными древнеаллювиальными песками. Здесь в пятом десятилетии сукцессии в процессе самозарастания в дренированных условиях сформировался молодой сосняк лишайниковый. Площадь карьера – 8 га. Почва контрольного участка – подзол иллювиально-железистый под сосняком лишайниковым.

Физико-химические исследования выполняли в экоаналитической лаборатории и отделе

почвоведения Института биологии Коми научно-го центра УрО РАН. Показатель pH водной (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) суспензии определяли потенциометрически (ГОСТ 26423–85). Содержание общего азота (N<sub>общ.</sub>) оценивали методом газовой хроматографии с применением CHNS-O анализатора EA 1110 (Carlo Erba, Италия). Содержание органического углерода (C<sub>орг.</sub>) в образцах почв устанавливали методом окисления бихроматом калия по Тюрину с фотометрическим окончанием [14]. Расчет запасов углерода (Q) в отдельных горизонтах (слоях) проводили с учетом плотности почв (г/см<sup>3</sup>), мощности и содержания в них углерода. Общие запасы углерода вычисляли суммированием: Q<sub>s</sub> = Q<sub>1</sub> + Q<sub>2</sub> + ... + Q<sub>n</sub>, где n – количество горизонтов (слоев).

Для диагностики и идентификации почв использовали принципы классификации почв России [15].

## Результаты и обсуждение

Посадка сосен на территории карьеров «Даса» и «Важель-Ю» обусловила ускоренное формирование древостоя, параметры которого на карьерах значимо не различались. К концу второго десятилетия (на 18-й год) высота сосны достигала 5–7 м при густоте 2,3–2,9 тыс. шт./га, сомкнутость крон – 0,4–0,5 (табл. 1). В мелком подросте песчано-супесчаного карьера преобладала сосна, суглинистого – береза и ель.

На территории песчано-супесчаного карьера «Даса» на 18-й год сукцессии в живом напочвенном покрове присутствуют пионерные лишайники (*Cladonia gracilis* ssp. *turbinata*, *C. mitis*, *C. subulata*, *C. verticillata* и др.) и мхи (*Ceratodon purpureus*, *Pohlia nutans*, *Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum*). Травяно-кустарничковый ярус развит слабо (проективное покрытие – 20%), наиболее обильны *Agrostis tenuis*, *Calamagrostis epigejos*, *Chamaenerion angustifolium*, *Hieracium umbellatum*. Формирование лесной среды за счет роста лесных культур обуславливает внедрение сосудистых растений (*Antennaria dioica*, *Orthilia secunda*, *Pyrola chlorantha*, *P. media*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*) и мхов (*Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*), характерных для сосняков зеленомошных. Около 80% поверхности почвы покрыто сосновой хвоей. В профиле почвы под кроной сосны под подстилкой Wao выделяется гумусово-слаборазвитый органоминеральный подгоризонт с признаками оподзоливания. Минеральная часть преобразована незначительно. Строение профиля: Wao(0–2)–W1e(2–3)–W2e(3–5)–C<sup>1</sup>ca(5–10)–C<sup>2</sup>ca,g(10–55 см). Почва: псаммозем гумусовый грубогумусированный оподзоленный остаточ-но-карбонатный глееватый.

На суглинистом карьере «Важель-Ю» на 18-й год сукцессии растительность междурадий представлена в основном травянистыми растениями. С формированием древостоя уменьшается роль

**Таблица 1.** ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ КАРЬЕРОВ И КОНТРОЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Участок	ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВОСТОЯ				ПРОЕКТИВНОЕ ПОКРЫТИЕ ЯРУСА, %		
	СОСТАВ	СОМКНУТОСТЬ КРОН	ГУСТОТА, ТЫС. ШТ./ГА	ВЫСОТА, М	ДИАМЕТР, СМ	ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВЫЙ	МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВЫЙ
<b>Контрольные участки в окрестностях карьеров</b>							
Даса (контроль)	10С	0,6	0,9	22	20	30	95
Важель-Ю (контроль)	6ЕЗП10с	0,6	0,8	22	22	60	40
Язель (контроль)	10С	0,5	1,4	12	12	5	70
<b>Участки на территории карьеров</b>							
Даса (карьер)	10С	0,4	2,9	5	6	20	40
Важель-Ю (карьер)	10С	0,5	2,3	7	8	85	10
Язель (карьер)	10С	<0,1	0,55	3	5	1	80

луговых, лугово-сорных видов (*Dactylis glomerata*, *Equisetum arvense*, *Lathyrus pratensis*, *Leucanthemum vulgare*, *Poa pratensis*); усиливается – опушечного и лесного разнотравья (*Aegopodium podagraria*, *Calamagrostis arundinacea*, *Chamaenerion angustifolium*, *Equisetum sylvaticum*, *Hieracium altipes*, *Pyrola rotundifolia*, *Rubus saxatilis*, *Vicia sylvatica*) и лесных мхов (*Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*). Под травостоем (в междурядье) подстилка представлена остатками трав, в меньшей мере мхов и хвоей разной степени разложения. Под кроной сосны травостой изрежен, поверхность покрыта хвоей сосны, что обусловило появление грубогумусированного подгоризонта Wao. Под подстилкой формируется органоминеральный подгоризонт с признаками элювиирования (наличие осветленных минеральных зерен). Ниже минеральная часть профиля дифференцирована слабо. Строение профиля: Wao(0–1,5)–W1el(1,5–2)–W2el(2–4)–C<sup>=</sup>ca(4–10)–C<sup>=</sup>ca,g(10–40 см). Почва: пелозем гумусовый грубогумусированный элювиированный остаточно-карбонатный глееватый.

На песчаном субстрате карьера «Язель» с первых лет процесса самовосстановления началось внедрение сосны (*Pinus sylvestris*), и в пятом десятилетии сукцессии здесь в автоморфных условиях сформировался сосняк лишайниковый. Высота сосны – 2–3 м при сомкнутости крон <0,1 и густоте насаждений 0,5–0,6 тыс. шт./га. В живом напочвенном покрове преобладает кустистый лишайник *Cladonia mitis*, характерны пятна накипного лишайника *Trapeliopsis granulosa*. В ходе сукцессии изменение субстрата в основном наблюдается в верхних 0–10(12) см в связи с постепенным обособлением горизонта лесной подстилки и гумусово-слаборазвитого слоя. Подстилку мощностью до нескольких миллиметров образует опад из хвои, листьев, отмерших остатков лишайников. Под подстилкой выделяется органоминеральный подгоризонт: в верхней части темно-серый за счет окрашивания гумусом, в нижней – белесоватый. Ниже, в минеральной части профиля, изменения незначительны. Строение профиля:

W1(0–0,2)–W2(0,2–2)–We(2–10)–C<sup>·</sup>·(10–40)–C<sup>·</sup>·g(40–70 см). Почва: псаммозем гумусовый оподзоленный глееватый.

Почвообразующие породы на карьерах «Даса» и «Важель-Ю» обогащены CaCO<sub>3</sub> (вскипание при обработке 10 %-м раствором HCl), реакция среды – слабощелочная (рН<sub>H<sub>2</sub>O</sub> – 8) в связи с присутствием карбонатов (2–3 %). В подзолистых почвах, представленных в окрестностях Сыктывкара, карбонаты обычно встречаются с глубины 140–170 см [16]. Во втором десятилетии сукцессии значения рН водных вытяжек из почв уменьшаются в верхних горизонтах, однако подкисление по сравнению с почвами контрольных участков охватывает только верхнюю 10-сантиметровую толщу новообразованных почв. Более высокая кислотность отмечена в горизонте W – 5,9–6,9 («Даса»); 6,6–7,0 («Важель-Ю»). На территории карьера «Язель» почвы кислые по всему профилю: рН от 5,1 в горизонте We до 5,8 в горизонте C. Почвы контрольных участков вблизи всех трех карьеров характеризуются кислой реакцией, что свойственно подзолистым почвам в окрестностях Сыктывкара [16].

Содержание органического углерода и азота в исходном субстрате карьеров низкое, отношение C<sub>орг.</sub>/N<sub>общ.</sub> составляет 8–11 (табл. 2). В почвах карьеров в соответствии с дифференциацией горизонтов W на грубогумусовую и гумусо-аккумулятивную части количества C<sub>орг.</sub> и N<sub>общ.</sub> в них приближаются к таковым в органогенных горизонтах почв контрольных участков, но еще не достигают их значений. Вниз по профилю отношение C<sub>орг.</sub>/N<sub>общ.</sub> во всех почвах закономерно уменьшается.

В верхнем 20-сантиметровом слое почвы карьера «Даса» запасы C<sub>орг.</sub> возросли от 6,2 в первые годы сукцессии до 8,7 (междурядье) и до 10,2 т/га (под кроной сосны) на 18-й год. Тем не менее это в 2,7–3,1 раза ниже по сравнению с запасами C<sub>орг.</sub> в слое 0–20 см в автоморфной почве под сосняком зеленомошным контрольного участка (27,2 т/га). По данным Д.С. Орлова [17], в зональных автоморфных почвах сосновых лесов подзоны средней тайги данный параметр составляет 22 т/га. Скорость накопления C<sub>орг.</sub>

**Таблица 2. СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА И ОТНОШЕНИЕ  $C_{\text{орг.}}/N_{\text{общ}}$  В ПРОФИЛЯХ ПОЧВ КОНТРОЛЬНЫХ УЧАСТКОВ И МОЛОДЫХ ПОЧВ**

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА	ГОРИЗОНТ	$C_{\text{орг.}}$ , %	$N_{\text{общ.}}$ , %	$C_{\text{орг.}}/N_{\text{общ.}}$
<b>Контрольные участки</b>				
Сосняк бруснично-зеленомошный Подзол иллювиально-гумусово-железистый	O 0-5	42,6	1,100	38,7
	Eh 5-6	17,0	0,380	44,7
	E 6-10(18)	0,25	0,022	11,4
	BHF 10(18)-23	0,42	0,036	11,7
	BHF 23-31	0,26	0,023	11,3
	BF 31-38	0,13	0,013	10,0
	B 38-50	0,16	0,012	13,0
Ельник травяно-чернично-зеленомошный Почва подзолистая грубогумусо- вая потечногумусовая	Oao 0-8	35,7	1,630	21,9
	EL 8-16	0,75	0,051	14,7
	BEL 16-27	0,43	0,043	10,0
	BT1 27-48	0,30	0,031	9,7
	BT2 48-74	0,22	0,033	6,7
	BT3 74-100	0,20	0,033	6,06
Сосняк лишайниковый Подзол иллювиально-железистый	O 0-2	36,6	0,864	42,4
	Epir 2-11	0,73	0,024	30,4
	BF 11-30	0,42	0,023	18,0
	Bg 30-52	0,06	0,006	10,0
	BC 52-100	0,03	0,003	10,0
<b>Участки на территории карьеров</b>				
Карьер Даса Псаммозем гумусовый	Wao 0-2	15,20	0,55	27,6
	W1e 2-3	0,67	0,054	12,4
	W2e 3-5	0,18	0,013	13,9
	C <sup>ca</sup> 5-10	0,18	0,019	9,5
	C <sup>ca,g</sup> 10-20	0,10	0,014	7,1
	C <sup>ca,g</sup> 20-28	0,16	0,014	11,4
	C <sup>ca,g</sup> 28-42	0,20	<0,01	–
	C <sup>ca,g</sup> 46-55	0,09	<0,01	–
Карьер Важель-Ю Пелозем гумусовый	Wao 0-1,5	18,0	0,70	25,7
	W1el 1,5-2	5,58	0,310	18,0
	W2el 2-4	1,00	0,076	13,2
	C <sup>ca</sup> 4-10	0,49	0,047	10,4
	C <sup>ca,g</sup> 10-22	0,24	0,029	8,3
	C <sup>ca,g</sup> 22-40	0,22	0,024	9,17
Карьер Язель Псаммозем гумусовый	W1 0-0,2	24,60	0,467	52,7
	W2 0,2-2	0,66	0,023	28,6
	We 2-10	0,12	0,007	17,1
	C <sup>ca</sup> 10-40	0,04	0,002	20,0
	C <sup>ca,g</sup> 40-70	0,03	0,003	10,0

в формирующейся почве варьирует от 0,22 (междурадьё) до 0,30 т/га/год (под кроной сосны). Таким образом, к концу второго десятилетия в 0–20-сантиметровом слое песчано-супесчаных почв аккумулируется 3,9–5,4 т/га органического углерода.

На карьере «Важель-Ю» запасы  $C_{\text{орг.}}$  в верхнем 20-сантиметровом слое почв были выше по сравнению с почвами карьера «Даса». В первые годы сукцессии они составили 9,6, к концу второго

десятилетия – 20,5 (междурадьё) и 16,9 т/га (под кроной сосны). Скорость накопления  $C_{\text{орг.}}$  достигала 0,61 (междурадьё) и 0,40 т/га/год (под кроной сосны). Таким образом, к концу второго десятилетия в слое 0–20 см суглинистых почв аккумулируется 7,3–10,9 т/га органического углерода. Накопление органического вещества на суглинке происходит более активно по сравнению с песчано-супесчаным субстратом в связи с лучшим формированием напочвенного

покрова. В подзолистых почвах еловых лесов окрестностей карьера запасы углерода в слое 0–20 см составляют 36,1 т/га, что выше данных, приведенных К.С. Бобковой и др. [18] для подзолистых почв еловых лесов – 28 т/га. В молодой почве карьера запасы органического углерода примерно в 2 раза ниже, чем в почве контрольного участка.

В пятом десятилетии самовосстановительной сукцессии в 0–20-сантиметровом слое песчаной почвы, формирующейся на древнеаллювиальных отложениях под сосняком лишайниковым (карьер «Язель»), запасы органического углерода составляют 4,5 т/га, что в 5 раз ниже, чем в почве контрольного участка – подзоле иллювиально-железистом, где запасы равны 22,9 т/га. Скорость накопления  $C_{орг}$  составила 0,07 т/га/год, что значительно ниже, чем в почвах карьеров «Даса» и «Важель-Ю». Кварцевый состав почвообразующей породы, дефицит влаги в вегетационный период обуславливают сравнительно медленное формирование и низкую продуктивность растительных сообществ. С этими факторами связана и замедленность процессов почвообразования на древнеаллювиальных отложениях.

Близки к полученным характеристикам данные по скорости накопления  $C_{орг}$  (0,2–0,3 т/га/год) в почвах начальных этапов развития на песчаных карьерах северо-запада России [2] и на промышленных отвалах в таежной зоне Урала [1]. В более благоприятных биоклиматических условиях Польши процесс накопления углерода происходит быстрее: скорость накопления  $C_{орг}$  в почвах, развитых на отвалах и карьерах в районах добычи полезных ископаемых, варьирует в пределах от 0,7 до 5,3 т/га/год [19].

Минеральная часть формирующихся на карьерах почв преобразована незначительно. Во втором десятилетии сукцессии наблюдаются слабовыраженные процессы элювирования и иллювирования (начало оподзоливания), о чем свидетельствуют морфологические признаки (наличие отбеленных кварцевых зерен в нижней части гумусово-аккумулятивного горизонта) и перераспределение фракции физической глины в профиле почв [12]. В почве карьера «Язель» морфологически выражен органо-минеральный горизонт We, нижняя часть которого имеет белесоватый цвет. Е.М. Копцева и Е.В. Абакумов [20] также не отмечают формирования горизонтов в минеральной толще профиля в первые два десятилетия восстановления почв на карьерах в подзоне северной тайги (Республика Коми).

## Выводы

Формирование почвенного органического вещества в процессе первичного почвообразования определяется особенностями видового состава и структуры растительного сообщества. Более быстрые темпы накопления органического углерода в почвах, формирующихся на суглинистых породах, по сравнению с песчано-супесчаными и песчаными связаны с лучшим развитием растительного покрова, обусловленным более высоким содержанием в почвообразующей породе глинистых частиц. По сравнению с подзолистыми почвами контрольных участков запасы углерода в молодых почвах карьеров в 2–5 раза ниже.

*Работа выполнена в рамках темы НИР отдела почвоведения на  
2022–2024 гг. «Криогенез как фактор формирования  
и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского  
Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий,  
глобальных и региональных климатических трендов»,  
регистрационный номер: 122040600023-8*

## Список источников

1. Махонина, Г.И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала / Г.И. Махонина. – Екатеринбург : изд-во Урал. ун-та, 2003. – 356 с.
2. Абакумов, Е.В. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на северо-западе Русской равнины / Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина. – Санкт-Петербург : изд-во СПбГУ, 2006. – 208 с.
3. Андроханов, В.А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / В.А. Андроханов, В.М. Курачев. – Новосибирск : изд-во СО РАН, 2010. – 224 с.
4. Morphogenetic Diagnostics of Soil Formation On Tailing Dumps of Coal Quarries in Siberia D.A. Sokolov, V.A. Androkhonov, S.P. Kulizhskii, S.V. Loiko, E.A. Domozhakova // Eurasian Soil Science. – 2015. – Vol. 48. – № 1. – P. 95–105. DOI: 10.1134/S1064229315010159.
5. Формирование лесных экосистем на посттехногенных территориях в таежной зоне / И.Б. Арчегова, Е.Г. Кузнецова, И.А. Лиханова, А.Н. Панюков, Ф.М. Хабибуллина, Ю.А. Виноградова. – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2015. – 140 с.
6. Естественное зарастание и начальные этапы почвообразования на техногенных землях / Н.Г. Федорец, Г.С. Антипина, Н.И. Германова, А.М. Крышень, В.И. Соколов // Экология и география почв Карелии. – Петрозаводск : КНЦ РАН, 1995. – С. 35–54.
7. Андроханов, В.А. Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В.А. Андроханов, С.В. Овсянникова, В.М. Курачев. – Новосибирск : Наука, 2000. – 200 с.
8. Emmer, I.M. Humus form and soil development during a primary succession of monoculture *Pinus sylvestris* forests on poor sandy substrates / I.M. Emmer. – Amsterdam : Annals of Forest Science, 1995. – 135 p.
9. Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age / C.G.F. De Kovel, A.J.E.M. Van Mierlo, Y.J.O. Wilms, F. Berendse // Plant Ecology. – 2000. – Vol. 149(1). – P. 43–50. DOI:10.1023/A:1009898622773.
10. Nierop, K. Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession / K. Nierop, B. Lagen, P. Buurman // Geoderma. – 2001. – Vol. 100. – P. 1–24. DOI:10.1016/S0016-7061(00)00078-1.
11. Likhanova, I.A. Formation of Vegetative Cover in Quarries after Forest Recultivation in the Middle Taiga Subzone of the Komi Republic / I.A. Likhanova, Y.G. Kuznetsova, A.B. Novakovskiy // Contemporary Problems of Ecology. – 2021. – Vol. 14. – № 7. – P. 760–766. DOI: 10.1134/S199542552107012X.
12. Soil Formation In The Quarries After Forest Reclamation In The Middle Taiga Subzone Of The Northeast Of European Russia / I.A. Likhanova, Y.G. Kuznetsova, E.M. Lapteva, S.V. Deneva, B.A. Makeev // Eurasian Soil Science. – 2021. – Vol. 54. – № 4. – P. 631–647. DOI: 10.1134/S1064229321040104.
13. The Effect of Hydromorphism on Soils and Soil Organic Matter during the Primary Succession Processes of Forest Vegetation on Ancient Alluvial Sands of the European North-East of Russia / I.A. Likhanova, S.V. Deneva, Yu.V. Kholopov, E.G. Kuznetsova, O.V. Shakhtarova, E.M. Lapteva // Forests. – 2022. – 13(2): 230. DOI:10.3390/f13020230.
14. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. – Москва : ГЕОС, 2006. – 400 с.
15. Классификация и диагностика почв России / под ред. Г.В. Добровольского. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
16. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Лесная зона (сезонно-промерзающие почвы). – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 1997. – 72 с.
17. Орлов, Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. – Москва : Наука, 1996. – 258 с.
18. Бобкова, К.С. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах / К.С. Бобкова, А.В. Машика, А.В. Смагин. – Санкт-Петербург : Наука, 2014. – 270 с.



19. Pietrzykowski, M. Potential for carbon sequestration in reclaimed mine soil on reforested surface mining areas in Poland / M. Pietrzykowski, W. Krzaklewski // *Natural Science*. – 2010. – Vol. 2. – № 9. – P. 1015–1021. DOI:10.4236/ns.2010.29124.

20. Копцева, Е.М. Первичные сукцессии растительности и почв на карьерах в подзоне северной тайги (на территории Ухтинского и Сосногорского районов Республики Коми) / Е.М. Копцева, Е.В. Абакумов // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3: Биология*. – 2013. – № 1. – С. 28–44.

## References

1. Mahonina, G.I. *Ekologicheskie aspekty pochvoobrazovaniya v tekhnogennykh ekosistemah Urala* / G.I. Mahonina. – Ekaterinburg : izd-vo Ural. un-ta, 2003. – 356 s.

2. Abakumov, E.V. *Pochvoobrazovanie v posttekhnogennykh ekosistemah kar'erov na severo-zapade Russkoj ravniny* / E.V. Abakumov, E.I. Gagarina. – Sankt-Peterburg : izd-vo SPbGU, 2006. – 208 s.

3. Androhanov, V.A. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennykh landshaftov: dinamika i ocenka* / V.A. Androhanov, V.M. Kurachev. – Novosibirsk : izd-vo SO RAN, 2010. – 224 s.

4. Morphogenetic Diagnostics of Soil Formation on Tailing Dumps of Coal Quarries In Siberia D.A. Sokolov, V.A. Androhanov, S.P. Kulizhskii, S.V. Loiko, E.A. Domozhakova // *Eurasian Soil Science*. – 2015. – Vol. 48. – № 1. – R. 95–105. DOI: 10.1134/S1064229315010159.

5. Formirovanie lesnykh ekosistem na posttekhnogennykh territoriyah v taezhnoj zone / I.B. Arhegova, E.G. Kuznetsova, I.A. Lihanova, A.N. Panyukov, F.M. Habibullina, Yu.A. Vinogradova. – Syktyvkar : Komi NC UrO RAN, 2015. – 140 s.

6. Estestvennoe zarastanie i nachal'nye etapy pochvoobrazovaniya na tekhnogennykh zemlyah / N.G. Fedorec, G.S. Antipina, N.I. Germanova, A.M. Kryshen', V.I. Sokolov // *Ekologiya i geografiya pochv Karelii*. – Petrozavodsk : KNC RAN, 1995. – S. 35–54.

7. Androhanov, V.A. *Tekhnozemy: svojstva, rezhimy, funkcionirovanie* / V.A. Androhanov, S.V. Ovsyannikova, V.M. Kurachev. – Novosibirsk : Nauka, 2000. – 200 s.

8. Emmer, I.M. Humus form and soil development during a primary succession of monoculture *Pinus sylvestris* forests on poor sandy substrates / I.M. Emmer. – Amsterdam : *Annals of Forest Science*, 1995. – 135 p.

9. Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age / C.G.F De Kovel, A.J.E.M. Van Mierlo, Y.J.O. Wilms, F. Berendse // *Plant Ecology*. – 2000. – Vol. 149(1). – R. 43–50. DOI:10.1023/A:1009898622773.

10. Nierop, K. Composition of plant tissues and soil organic matter in the first stages of a vegetation succession / K. Nierop, V. Lagen, R. Buurman // *Geoderma*. – 2001. – Vol. 100. – R. 1–24. DOI:10.1016/S0016-7061(00)00078-1.

11. Likhanova, I.A. Formation of Vegetative Cover in Quarries after Forest Recultivation in the Middle Taiga Subzone of the Komi Republic / I.A. Likhanova, Y.G. Kuznetsova, A.V. Novakovskiy // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2021. – Vol. 14. – № 7. – R. 760–766. DOI: 10.1134/S199542552107012X.

12. Soil Formation in The Quarries after Forest Reclamation in the Middle Taiga Subzone of the Northeast of European Russia / I.A. Likhanova, Y.G. Kuznetsova, E.M. Lapteva, S.V. Deneva, V.A. Makeev // *Eurasian Soil Science*. – 2021. – Vol. 54. – № 4. – R. 631–647. DOI: 10.1134/S1064229321040104.

13. The Effect of Hydromorphism on Soils and Soil Organic Matter during the Primary Succession Processes of Forest Vegetation on Ancient Alluvial Sands of the European North-East of Russia / I.A. Likhanova, S.V. Deneva, Yu.V. Kholopov, E.G. Kuznetsova, O.V. Shakhtarova, E.M. Lapteva // *Forests*. – 2022. – 13(2): 230. DOI:10.3390/f13020230.

14. *Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv / pod red. L.A. Vorob'evoy*. – Moskva : GEOS, 2006. – 400 s.

15. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii / pod red. G.V. Dobrovol'skogo*. – Smolensk : Ojkumena, 2004. – 342 s.

16. Putevoditel' nauchnoj pochvennoj ekskursii. Lesnaya zona (sezonno-promerzayushchie pochvy). – Syktyvkar : Komi NC UrO RAN, 1997. – 72 s.
17. Orlov, D.S. Organicheskoe veshchestvo pochv Rossijskoj Federacii / D.S. Orlov, O.N. Biryukova, N.I. Suhanova. – Moskva : Nauka, 1996. – 258 s.
18. Bobkova, K.S. Dinamika sodержaniya ugleroda organicheskogo veshchestva v srednetazhnyh el'nikah na avtomorfnyh pochvah / K.S. Bobkova, A.V. Mashika, A.V. Smagin. – Sankt-Peterburg : Nauka, 2014. – 270 s.
19. Pietrzykowski, M. Potential for carbon sequestration in reclaimed mine soil on reforested surface mining areas in Poland / M. Pietrzykowski, W. Krzaklewski // Natural Science. – 2010. – Vol. 2. – № 9. – R. 1015–1021. DOI:10.4236/ns.2010.29124
20. Kopceva, E.M. Pervichnye sukcesii rastitel'nosti i pochv na kar'erah v podzone severnoj tajgi (na territorii Uhtinskogo i Sosnogorskogo rajonov Respubliki Komi) / E.M. Kopceva, E.V. Abakumov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 3: Biologiya. – 2013. – № 1. – S. 28–44.