

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/5>

УДК 630*182.21



Формирование растительности на рекультивированном карьере по добыче глины в условиях Средне-Уральского таежного района (на примере карьера в черте города Екатеринбург)

Регина А. Осипенко¹, osipenkora@m.usfeu.ru <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>

Алексей Е. Осипенко¹✉, osipenkoae@m.usfeu.ru <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

Наталья М. Ушакова², ushakova-18@list.ru <https://orcid.org/0009-0007-2960-3699>

Андрей С. Новожилов¹, novozhilov-nnsaa@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0008-7147-1180>

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация

²ООО «Тура-лес», ул. Лесная, 3, г. Верхняя Тура, 624320, Российская Федерация

Изучение растительности на нарушенных землях необходимо для решения экологических проблем и скорейшего восстановления природного потенциала таких территорий. Приведена таксационная характеристика 15-30-летних смешанных древостоев естественного и искусственного происхождения, произрастающих на рекультивированном глиняном карьере. Определен видовой состав, проективное покрытие и надземная фитомасса в абсолютно сухом виде живого напочвенного покрова. Полевые данные собраны при помощи общепринятых методов: пробных площадей и учетных площадок. Зафиксировано 39 видов живого напочвенного покрова, которые отнесены к 13 семействам и 5 ценотипам. Представлены данные о долевом распределении видов и надземной фитомассы травянистой растительности по ценотипам, а также о соотношении проективного покрытия и надземной фитомассы живого напочвенного покрова. Степень общности флористического состава исследуемых сообществ травянистых растений, определявшаяся при помощи коэффициента Жаккара, малая (от 0,24 до 0,57). В условиях района исследований на рекультивированных карьерах по добыче глины возможно сформировать высокопродуктивные смешанные насаждения с преобладанием хвойных пород. На исследуемых участках в живом напочвенном покрове доминируют виды из семейств бобовые (*Fabaceae*), Мятликовые (*Poaceae*) и Астровые (*Asteraceae*). Доминантами по проективному покрытию на исследуемых участках являются: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), полевица собачья (*Agrostis canina* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), чина луговая (*Lathyrus pratensis* L.), бор развесистый (*Milium effusum* L.), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara* L.), горошек лесной (*Vicia sylvatica* L.) Под пологом исследуемых древостоев преобладают растения лугового и лесолугового ценотипов. Последнее является признаком того, что лесная среда на исследуемых участках не сформировалась. Во время биологического этапа рекультивации карьеров по добыче глины в условиях Средне-Уральского таежного района рекомендуется осуществлять посев наиболее распространенных в пределах изученного карьера травянистых растений из семейств бобовые (*Fabaceae*) и мятликовые (*Poaceae*).

Ключевые слова: рекультивация, карьер по добыче глины, живой напочвенный покров, древостой, видовой состав, фитомасса, проективное покрытие, ценотип

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Для цитирования: Формирование растительности на рекультивированном карьере по добыче глины в условиях Средне-Уральского таежного района (на примере карьера в черте города Екатеринбург) / Р. А. Осипенко, А. Е. Осипенко, Н. М. Ушакова, А. С. Новожилов // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 70–87. – Библиогр.: с. 83–87 (29 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/5>.


Поступила 26.04.2024. *Пересмотрена* 13.05.2024. *Принята* 14.05.2024. *Опубликована онлайн* 17.06.2024.


Article

Formation of vegetation at a reclaimed clay quarry in the Middle Ural taiga forest area (on the example of a quarry in Yekaterinburg)

Regina A. Osipenko¹, osipenkora@m.usfeu.ru  <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>

Aleksey E. Osipenko¹ , osipenkoae@m.usfeu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

Natalia M. Ushakova², ushakova-18@list.ru  <https://orcid.org/0009-0007-2960-3699>

Andrey S. Novozhilov¹, novozhilov-nnsaa@yandex.ru  <https://orcid.org/0009-0008-7147-1180>

¹Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

²LLC "Tura-Les", Lesnaya str., 3, Verkhnyaya Tura, 624320, Russian Federation

Abstract

The study of vegetation on disturbed lands is necessary to solve environmental problems and to restore the natural potential of such areas as soon as possible. The paper presents a taxation characterization of 15-30-year-old mixed stands of natural and artificial origin growing in a reclaimed clay quarry. Species composition, projective cover and aboveground phytomass in absolutely dry form of living ground cover were determined. Field data were collected using common methods: sample plots and survey plots. 39 species of living ground cover were recorded, which were classified into 13 families and 5 cenotypes. The data on the proportion distribution of species and aboveground phytomass of living ground cover by cenotypes, as well as on the ratio of projective cover and aboveground phytomass of living ground cover are presented. The degree of floristic composition commonality of the studied communities of herbaceous plants, determined by the Jaccard coefficient, is small (from 0.24 to 0.57). It was established that in the conditions of the research area at the reclaimed clay quarries, it is possible to form highly productive mixed plantations with predominance of coniferous species. At the study plots, the living ground cover is dominated by species from the families of legumes (*Fabaceae*), bluegrasses (*Poaceae*), and Asteraceae (*Asteraceae*). The dominant species in terms of projective cover at different plots are the following: red clover (*Trifolium pratense* L.), common dandelion (*Taraxacum officinale* Wigg.), tufted vetch (*Vicia cracca* L.), velvety bentgrass (*Agrostis canina* L.), smooth meadow-grass (*Poa pratensis* L.), meadow vetchling (*Lathyrus pratensis* L.), wood millet (*Milium effusum* L.), coltsfoot (*Tussilago farfara* L.), and wood vetch (*Vicia sylvatica* L.). Plants of meadow and forest-meadow cenotypes predominate under the canopy of the studied stands. The latter is an indication that the forest environment has not been formed in the study plots. During the biological stage of clay quarry reclamation in the conditions of the Middle Ural Taiga forest area, it is recommended to sow herbaceous plants from the families of legumes (*Fabaceae*) and bluegrass (*Poaceae*), which are the most widespread within the studied quarry.

Keywords: *reclamation, clay quarry, living ground cover, stand, species composition, phytomass, projective cover, cenotype*

Funding: this research received no external funding.

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Osipenko R. A., Osipenko A. E., Ushakova N. M., Novozhilov A. S. (2024). Formation of vegetation at a reclaimed clay quarry in the Middle Ural taiga forest area (on the example of a quarry in Yekaterinburg). *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 70-87 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/5>.

Received 26.04.2024. *Revised* 13.05.2024. *Accepted* 14.05.2024. *Published online* 17.06.2024.

Введение

Сао W. и др. (2020) [1], Vidal-Macua J.J. и др. (2020) [2], Hendrychova M. И др. (2020) [3] отмечают, что рост площади антропогенно нарушенных земель является одной из важнейших экологических проблем. Поэтому эффективное восстановление фитоценозов на нарушенных землях, как отмечают Aronson J. и др. (2020) [4], Vlasenko M.V. и др. (2022) [5], Осипенко А.Е. и др. (2022) [6], с каждым годом становится все более актуальной задачей. Одним из наиболее распространенных направлений рекультивации является лесохозяйственное. По данным ученых Benetkova P. и др. (2020) [7], Turrión D и др. (2021) [8], Hernandez-Santin L. и др. (2024) [9] данное направление рекультивации способствует восстановлению продуктивности почвы, сохранению биоразнообразия и водных ресурсов, а также позволяет ускорить возврат нарушенных земель в хозяйственный оборот.

Финансовая сторона вопроса является немаловажным фактором при рекультивации земель отмечают Young R.E. и др. (2022) [10], Морозов А.Е. и др. (2023) [11]. Минимизация затрат может быть обеспечена путем рационального использования природного потенциала определенного вида нарушенных земель с учетом особенностей климатических и лесорастительных условий территории [12, 13] отмечают Осипенко Р.А. и др. (2020) [12], Moccillo L. и др. (2023) [13].

По мнению Rodríguez-Uña A. и др. (2020) [14], Dixon K.W. и др. (2023) [15], Копытов А.И. и др. (2024) [16] природоподобные технологии в ближайшем будущем должны стать основным инструментом восстановления экосистем на нарушенных землях. Однако выявление природных закономерностей формирования растительных сообществ осложняется тем, что на данный процесс влияет большое количество факторов (вид нарушенных земель, площадь и интенсивность негативного воздействия,

климатические условия, микро- и мезорельеф, биологические особенности растительности, взаимоотношения между различными организмами и т.д.).

Научные публикации Li Y. и др. (2024) [17], Gastauer M. и др. (2024) [18] подтверждают, что для разработки гармоничной и рациональной системы восстановления фитоценозов необходимо критически оценить имеющийся положительный и отрицательный опыт. При этом наибольшее внимание следует уделить травянистым растениям, так как живой напочвенный покров быстрее, по сравнению с древесными растениями, изменяется под воздействием изменившихся лесорастительных условий. По данным Бачуриной А.В. и др. (2020) [19], Chibrik T.S. и др. (2022) [20] травянистая растительность быстрее древесно-кустарниковой закрепляет поверхность нарушенных земель, но при этом она менее устойчива, особенно на склонах техногенных территорий. При этом травянистая растительность на первом этапе формирования лесного фитоценоза может составлять значительную конкуренцию древесной растительности, как отмечает Трещевская Э.И. и др. (2023) [21].

Цель исследования – изучение древесной и травянистой растительности на дне рекультивированного карьера по добыче глины.

Материалы и методы

Объект и предмет исследований

Объектом исследования являются естественные и искусственные древостои и живой напочвенный покров (за исключением мхов и лишайников), сформировавшиеся на дне рекультивированного карьера по добыче глины. Предметом исследования являются таксационная характеристика древостоев, видовой состав, фитомасса и проективное покрытие травянистой растительности.

Сбор данных

Исследования проводились в июле 2022 года на территории рекультивированного глиняного карьера, расположенного в черте города Екатеринбург, на ул. Коммунистической. В соответствии с актуальным лесорастительным районированием район исследований относится к Средне-Уральскому таежному району⁵.

В ходе исследования применялся метод пробных площадей (ПП) и метод учетных площадок (УП) [22]. ПП охватывали участки с однородной растительностью и условиями мезо- и микрорельефа. УП закладывались на ПП по двум диагональным ходовым линиям, через равное расстояние. Всего было заложено шесть ПП прямоугольной формы. Координаты GPS и описание исследуемых древостоев представлено в табл. 1. Спутниковый снимок карьера (от 2022 года) с указанием границ

карьерной выемки и пробных площадей представлен на рис. 1.

На ПП осуществлялся сплошной пересчет деревьев по диаметру и замер 20-25 высот деревьев каждого элемента леса. Средняя высота определялась графическим способом по кривой высот. Средний диаметр древостоя - через среднюю площадь сечения стволов. Средний возраст древесных пород - по мутовкам и при помощи возрастного бурава (для лиственных пород), при этом для элементов леса естественного происхождения средний возраст устанавливался с градацией в 5 лет. Запас древостоя находился расчетным путем по таблицам объемов стволов [23]. Для определения классов бонитета использовались таблицы для древостоев замедленного, умеренного, ускоренного и быстрого роста [24].

Таблица 1

Местонахождение и описание объектов исследования

Table 1

Location and description of research objects

№ ПП No SP	Координаты GPS, с.ш. / в.д. GPS Coordinates, N / E	Происхождение Origin	Год посадки Year of Planting	Средний шаг посадки, м Average Plant Spacing, m	Между- рядья, м Row Spacing, m	Густота посадки, тыс. шт./га Planting Density, ths. pcs/ha
1	56°55.302' 060°34.53'	Естественное Natural	-	-	-	-
2	56°55.366' 060°34.52'	Естественное Natural	-	-	-	-
3	56°55.363' 060°34.46'	Искусственное Artificial	2006	0,75	3,4	3,9
4	50°55.441' 060°34.544'	Искусственное Artificial	1996	0,66	2,35	4,0
5	56°55.378' 060°34.677'	Искусственное Artificial	1996	1,14	2,5	2,6
6	56°55.277' 060°34.52'	Естественное Natural	-	-	-	-

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

⁵ Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (ред. от 02.08.2023) «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.09.2014 N

34186) // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 24.02.2024)



Рисунок 1. Границы карьерной выемки и пробных площадей

Figure 1. Boundaries of the pit excavation and sample plots

Источник: собственная композиция автора; Google Карты

Source: author's composition; Google Maps

Для изучения живого напочвенного покрова (ЖНП) было заложено 120 УП размером $0,25 \text{ м}^2$ (по 20 шт. на каждой ПП). При исследовании ЖНП, определялось видовое название, проективное покрытие каждого вида, надземная фитомасса в сыром и абсолютно сухом виде. Проективное покрытие определялось визуально по каждому виду. Затем растения на УП срезались на уровне поверхности почвы, укладывались в пакеты, маркировались биркой. В лабораторных условиях образцы разбирались по видам, взвешивались в сыром виде, высушивались при температуре 105°C и взвешивались повторно в абсолютно сухом состоянии. Всего было обработано более 400 навесок травянистых растений. Все виды травянистой растительности распределялись по ценотипам – лесной, лесолуговой, луговой, синантропный, прибрежный

Насаждения на ПП 1, 2, 6 имели естественное происхождение, а насаждения на ПП 3, 4, 5 – искусственное. На участках искусственного происхождения были созданы смешанные лесные культуры. Для посадки культур использовались трехлетние сеянцы ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачевы (*Larix sukaczewii* Dylis). Посадка осуществлялась в 1997 и 2007 году, вручную под меч Колесова, в отвал борозды.

Анализ данных

Математическая и статистическая обработка данных осуществлялась в программах MS Excel-2013 и Statistica-8. Степень общности ЖНП, произрастающего на исследуемых ПП, определялась при помощи коэффициента Жаккара [22].

Природопользование

Результаты

Таксационная характеристика древостоев, произрастающих на дне рекультивированного карьера, представлена в табл. 2. Все исследуемые древо-

стои являются высокопродуктивными (I-II класс бонитета) и имеют средний возраст от 15 до 30 лет. Относительная полнота насаждений варьирует в пределах от 0,36 (ПП 6) до 0,94 (ПП 1).

Таблица 2

Таксационная характеристика древостоев

Table 2

Taxation characteristics of stands

№ ПП No SP	Состав древостоя Stand composition	Элемент леса Element of the forest	Средние Average			Густота, шт./Га Density, pcs/ha	Относительная полнота Relative density	Абсолютная полнота, м ² /га Absolute density, m ² /ha	Запас древостоя, м ³ /га Stand stock, m ³ /ha	Класс бонитета Quality Class
			Возраст, лет Age, year	Высота, м Height, m	Диаметр, см Diameter, cm					
1	9С1Ос+Б	С	30	10,1	7,1	6336	0,85	24,9	151	II
		Ос	30	11,0	8,5	310	0,06	1,7	10	
		Б	30	7,9	4,3	597	0,03	0,9	4	
2	8С2Б	С	10	4,0	4,2	2556	0,30	3,5	11	I
		Б	10	4,3	3,4	744	0,09	0,7	2	
3	7Е2С1Б	Е	18	5,3	5,3	2702	0,44	6,0	20	I
		С	18	6,4	7,2	300	0,07	1,2	5	
		Б	20	6,8	4,9	403	0,06	8	4	
4	7С2Е1Б+Л+Ос	С	28	10,0	9,1	1624	0,44	10,6	59	II
		Е	28	9,3	7,0	590	0,11	2,3	12	
		Б	25	10,3	5,4	393	0,06	0,9	5	
		Ос	25	11,5	6,3	162	0,02	0,5	3	
		Л	25	8,0	5,4	26	0,01	0,1	1	
5	5С5Л+Б	С	28	9,4	8,2	2323	0,44	12,2	71	II
		Л	28	10,9	11,2	1052	0,34	10,4	67	
		Б	25	9,3	4,5	94	0,01	0,1	1	
6	7Ив1Кл1Чр1С+Е+Ос+Т+В	Ив	15	6,1	4,7	2019	0,2	3,5	22	II
		Кл	15	5,9	3,8	619	0,06	0,7	2	
		Чр	15	6,5	4,6	244	0,03	0,4	2	
		С	15	6,3	8,5	63	0,02	0,4	2	
		Е	15	2	4	181	0,03	0,2	1	
		Ос	15	7,8	4,8	81	0,01	0,1	1	
		Т	15	6,9	6,3	69	0,01	0,2	1	
		В	15	2,5	1,4	19	0,00	0,0	0	

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

На пяти из шести участков преобладают хвойные породы, что можно объяснить усилиями по созданию искусственных насаждений (на ПП 3-5), наличием вокруг карьера стен хвойного леса и относительно небольшой площадью исследуемого карьера (около 15 га)

На ПП 6 преобладают подлесочные виды: ива козья (*Salix caprea* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.). Не смотря на то, что данные виды не являются лесообразующими породами, на начальной стадии формирования лесного фитоценоза подлесочные породы могут быть эдификаторами. По этой причине в табл. 2 таксационная характеристика подлесочных пород для ПП 6 приведена наравне с лесообразующими породами. На других ПП подлесок отсутствовал или произрастал в незначительном количестве, а потому не учитывался.

В табл. 3 приведено распределение надземной фитомассы ЖНП в абсолютно сухом состоянии по видам, ценотипам и пробным площадям. Флористический список ЖНП включает 39 видов из 13 семейств.

Наибольшее количество видов (23 и 24 шт.) и надземная фитомасса травянистых растений (564,55 и 419,87 кг/га) зафиксированы на ПП 4 и 6. Вероятно, это может быть связано с тем, что на данных участках древостои имеют наименьшую густоту и, по визуальной оценке, сомкнутость полога.

В табл. 4 представлено распределение количества видов ЖНП по семействам. Наибольшее количество семейств травянистых растений зафиксировано на ПП 4 и 6 (по 10 шт.), а наименьшее на ПП 2 (4 шт.). Наибольшее количество видов относятся к семействам *Asteraceae*, *Fabaceae* и *Poaceae*. Данные семейства являются типичными на нарушенных землях [25].

Таблица 3

Надземная фитомасса живого напочвенного покрова в абсолютно сухом виде под пологом исследуемых древостоев, кг/га

Table 3

Aboveground phytomass of living ground cover in absolutely dry form under the canopy of the studied stands, kg/ha

Видовое название растения Species Name of Plant	Номер пробной площади Sample Plot Number					
	1	2	3	4	5	6
Лесной ценотип Forest cenotype						
Горошек лесной <i>Vicia sylvatica</i> L.	-	-	15,10	-	12,66	15,71
Грушанка круглолистная <i>Pyrola rotundifolia</i> L.	-	8,35	-	-	-	8,91
Земляника лесная <i>Fragaria vesca</i> L.	-	-	-	-	0,27	2,28
Ландыш майский <i>Convallaria majalis</i> L.	-	-	-	-	-	0,86
Ортилия однобокая <i>Orthilia secunda</i> L.	0,68	4,38	-	0,20	0,17	-
Осока лесная <i>Carex sylvatica</i> Huds	0,01	-	0,01	2,09	-	-
Хвощ лесной <i>Equisetum sylvaticum</i> L.	-	-	-	1,68	-	-
Итого лесной ценотип Total forest cenotype	0,69	12,73	15,11	3,97	13,1	27,76
Лесолуговой ценотип Forest-meadow cenotype						
Бодяк разнолистный <i>Cirsium heterophyllum</i> L.	-	1,55	-	21,74	-	-
Бор развесистый <i>Milium effusum</i> L.	1,54	3,43	2,65	33,76	15,09	7,60
Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i> L. Roth	-	-	0,30	84,38	-	-
Вероника дубравная <i>Veronica chamaedrys</i> L.	-	-	0,08	-	-	7,45
Ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i> L.	-	-	-	-	-	7,38
Золотарник обыкновенный <i>Solidago virgaurea</i> L.	-	-	0,10	-	-	0,18
Клевер люпиновидный <i>Lupinus pentaphyllus</i> Moench	0,46	-	-	-	1,65	-
Лапчатка прямостоячая <i>Potentilla erecta</i> L.	-	-	-	0,07	-	-

Природопользование

Видовое название растения Species Name of Plant	Номер пробной площади Sample Plot Number					
	1	2	3	4	5	6
Манжетка обыкновенная <i>Alchemilla vulgaris</i> L.	-	-	-	-	-	7,62
Морковник обыкновенный <i>Silaum silaus</i> L. Schinz et Thell.	-	-	-	3,19	-	7,30
Подмаренник северный <i>Galium boreale</i> L.	-	-	-	8,57	3,06	4,22
Подорожник ланцетолистный <i>Plantago lanceolata</i> L.	-	-	-	-	0,11	-
Полевица собачья <i>Agrostis canina</i> L.	0,26	32,96	1,82	9,58	17,71	5,41
Ястребинка зонтичная <i>Hieracium umbellatum</i> L.	-	-	9,28	-	0,46	-
Итого лесолуговой ценотип Total forest-meadow cenotype	2,26	37,94	14,23	161,29	38,08	47,16
Луговой ценотип Meadow cenotype						
Горошек мышиный <i>Vicia cracca</i> L.	5,55	0,90	21,28	1,86	0,21	-
Клевер луговой <i>Trifolium pratense</i> L.	18,18	211,73	69,64	262,11	36,78	218,86
Мятлик луговой <i>Poa pratensis</i> L.	0,66	4,27	19,86	-	1,89	7,22
Нивяник обыкновенный <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	-	-	0,24	0,07	0,44	-
Овсяница луговая <i>Festuca pratensis</i> Huds.	-	-	-	31,48	-	3,19
Пастернак посевной <i>Pastinaca sativa</i> L.	-	-	-	-	-	17,84
Тысячелистник обыкновенный <i>Achillea millefolium</i> L.	-	-	-	0,01	-	-
Чина луговая <i>Lathyrus pratensis</i> L.	3,34	13,83	46,06	28,32	0,38	10,67
Итого луговой ценотип Total meadow cenotype	27,73	230,73	157,08	323,85	39,7	257,78
Синантропный ценотип Synanthropic cenotype						
Донник лекарственный <i>Melilotus officinalis</i> L.	-	-	-	1,56	-	1,78
Иван-чай узколистный <i>Chamaenerion angustifolium</i> L.	-	-	1,34	3,05	1,96	13,71
Клевер ползучий <i>Trifolium repens</i> L.	0,02	-	-	-	-	-
Лопух малый <i>Arctium minus</i> Hill Bernh.	-	-	-	-	-	10,66
Мать-и-мачеха обыкновенная <i>Tussilago farfara</i> L.	0,11	-	-	36,62	2,40	36,39
Одуванчик лекарственный <i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	1,13	2,97	5,51	24,69	1,91	16,31
Пижма обыкновенная <i>Tanacetum vulgare</i> L.	-	-	-	3,97	3,92	-
Полынь обыкновенная <i>Artemisia vulgaris</i> L.	-	-	3,35	4,23	0,32	1,04
Итого синантропный ценотип Total synanthropic cenotype	1,26	2,97	10,2	74,12	10,51	79,89
Прибрежный ценотип Coastal cenotype						
Гравилат речной <i>Geum rivale</i> L.	-	-	0,56	-	0,04	7,28
Тростник южный <i>Phragmites australis</i> L.	-	-	-	1,32	-	-
Итого прибрежный ценотип Total coastal cenotype	0	0	0,56	1,32	0,04	7,28
Всего Total	31,94	284,37	197,18	564,55	101,43	419,87

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Распределение количества видов живого напочвенного покрова по семействам

Table 4

Distribution of the number of living ground cover species by families

Семейство	Номер пробной площади					
	1	2	3	4	5	6
Астровые (<i>Asteraceae</i>)	2	2	5	7	6	5
Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	5	3	4	4	5	4
Вересковые (<i>Ericaceae</i>)	1	2	-	1	1	1
Зонтичные (<i>Umbelliferae</i>)	-	-	-	1	-	1
Кипрейные (<i>Onagraceae</i>)	-	-	1	1	1	1
Мареновые (<i>Rubiaceae</i>)	-	-	-	1	1	1
Мятликовые (<i>Poaceae</i>)	3	3	4	5	3	5
Норичниковые (<i>Scrophulariaceae</i>)	-	-	1	-	-	1
Осоковые (<i>Cyperaceae</i>)	1	-	1	1	-	-
Подорожниковые (<i>Plantaginaceae</i>)	-	-	-	-	1	-
Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	-	-	1	1	2	2
Спаржевые (<i>Asparagaceae</i>)	-	-	-	-	-	1
Хвощовые (<i>Equisetaceae</i>)	-	-	-	1	-	-
Всего Total	12	10	17	23	20	22

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Распределение доли видов живого напочвенного покрова по ценотипам представлено на рис. 2.

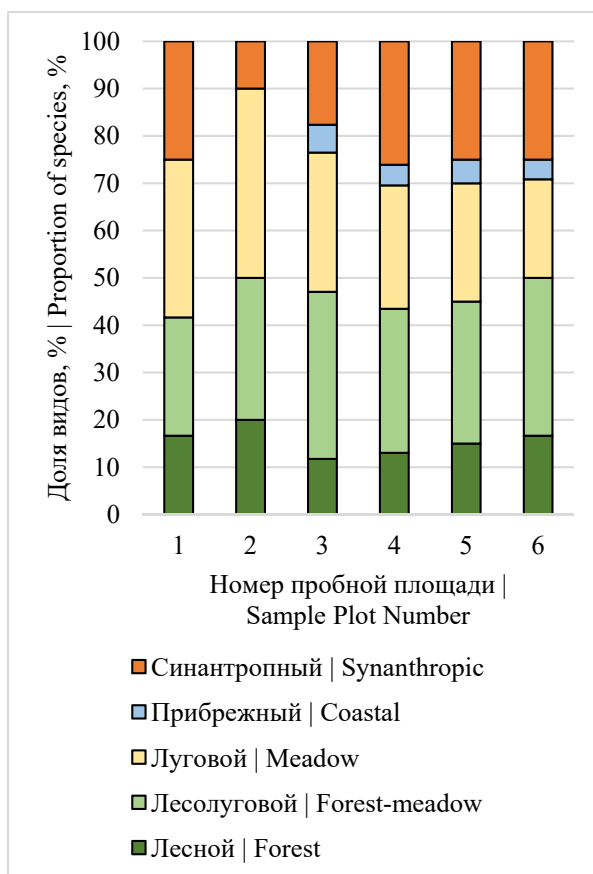


Рисунок 2. Долевое распределение видов живого напочвенного покрова по ценотипам

Figure 2. Proportion distribution of living ground cover species by cenotype

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

На рис. 3 приведено долевое распределение надземной фитомассы ЖНП по ценотипам.

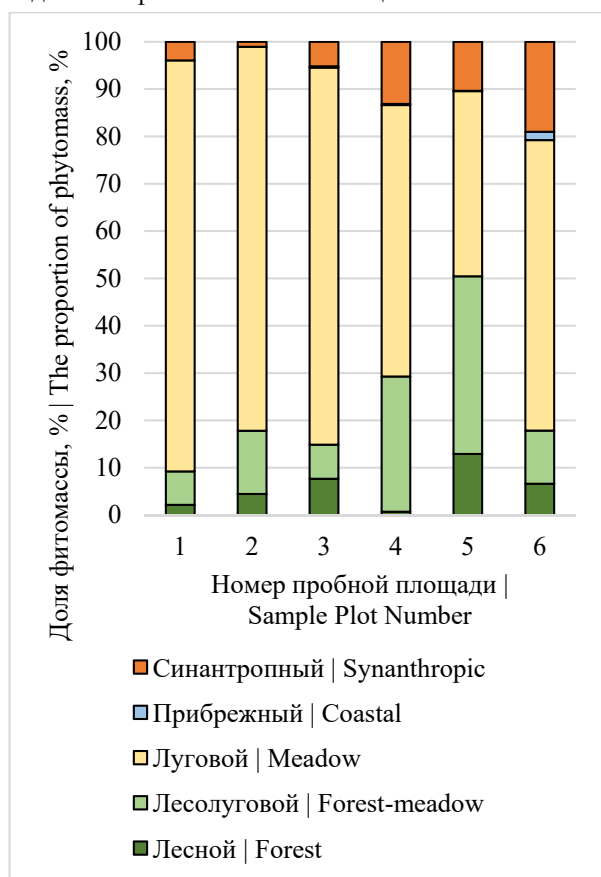


Рисунок 3. Распределение надземной фитомассы живого напочвенного покрова по ценотипам
Figure 3. Distribution of aboveground phytomass of living ground cover by cenotypes

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

На рис. 4 приведены данные о среднем проективном покрытии и фитомассе ЖНП под пологом исследуемых древостоев. Пробные площади на рис. 4 приведены в порядке увеличения густоты древостоев.

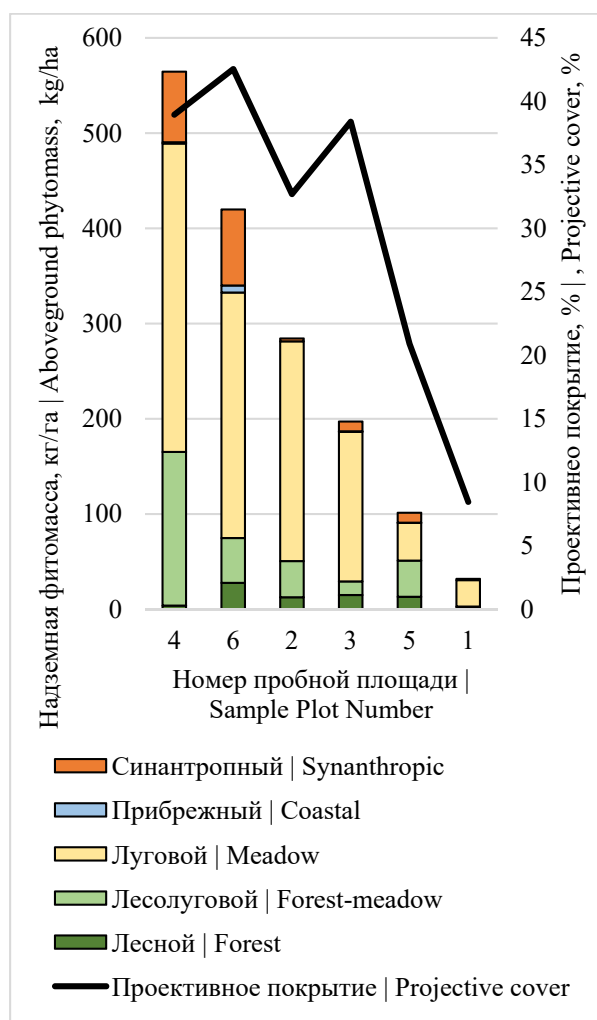


Рисунок 4. Соотношение проективного покрытия и надземной фитомассы живого напочвенного покрова различных ценотипов
Figure 4. Ratio of projective cover and aboveground phytomass of living ground cover by different cenotypes

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

По проективному покрытию на всех участках доминирующим видом является *Trifolium pratense* L. На ПП 3, 4, 6 доминирующим видом также является *Taraxacum officinale* Wigg. Помимо указанных видов к доминирующим можно отнести на ПП 1 – *Vicia cracca* L.; ПП 2 – *Agrostis canina* L.; ПП 3 – *Vicia cracca* L., *Poa pratensis* L., *Lathyrus pratensis* L.; 4 – *Milium effusum* L., *Lathyrus pratensis* L., *Tussilago farfara* L.; ПП 5 – *Agrostis canina* L., *Milium effusum* L., *Vicia sylvatica* L.; ПП 6 – *Tussilago farfara* L.

Наибольшая доля видов ЖНП на исследуемых участках отнесена к лесолуговому и луговому ценотипам: от 25,0 до 35,3 % и от 20,8 до 40,0 % соответственно. По доле надземной фитомассы преобладают виды лугового цено типа (64,8 % от общей фитомассы исследуемых участков). Наибольший вклад в фитомассу луговых растений вносят бобовые: *Trifolium pratense* L., *Lathyrus pratensis* L. На долю лесолугового цено типа приходится 18,8 % надземной фитомассы ЖНП. По проективному покрытию также доминируют растения лугового цено типа, покрывающие 50 % площади. На долю лесолуговых видов приходится 22,5 % проективного покрытия ЖНП.

На синантропные виды приходится от 10,0 до 26,1 % видового разнообразия травянистых растений исследуемых участков, а также в 11,2 % надземной фитомассы и 19,3% проективного покрытия ЖНП. Среди синантропных видов наибольшее распространение получили *Taraxacum officinale* Wigg. и *Tussilago farfara* L. Наличие значительной доли синантропных видов объясняется близостью карьера к садовому товариществу, наличием рекреационной нагрузки на рекультивированную часть карьера, а кроме того часть карьерной выемки используется в качестве полигона твердых бытовых отходов, что, вероятнее всего, также способствует распространению синантропов.

Доля лесных видов под пологом исследуемых древостоев варьирует в пределах от 11,8 до 20%. На лесные виды приходится в среднем 4,6 % надземной фитомассы, 7,5 % проективного покрытия ЖНП. Из числа лесных видов наибольшим проективным покрытием обладают *Vicia sylvatica* L. и *Pyrola rotundifolia* L.

Прибрежный цено тип является наименее представленным. На всех ПП зафиксировано всего два вида этого цено типа. По проективному покрытию на виды данного цено типа приходится 0,8 % площади, доля надземной фитомассы в абсолютно сухом виде составляет около 0,6 %. Наличие прибрежных видов на исследуемых участках можно объяснить периодическим подтоплением и застоём влаги в понижениях мезо- и микрорельефа.

На рис. 5 и 6 приведены данные о среднем количестве видов и средней надземной фитомассе ЖНП по цено типам. На графике квадратной точкой

обозначено среднее значение, ящиком – среднее значение при доверительном интервале 0,95, усами – максимальное и минимальное значения выборки. Данные рис. 5 и 6 более наглядно отражают описанные выше закономерности и позволяют получить общее представление о живом напочвенном покрове исследуемого глиняного карьера.

В табл. 5 приведены расчетные значения коэффициента Жаккара. Данные таблицы свидетельствуют о малом флористическом сходстве исследуемых сообществ травянистых растений [22]. Последнее можно объяснить влиянием древесной растительности, которая весьма сильно отличается по своим таксационным показателям.

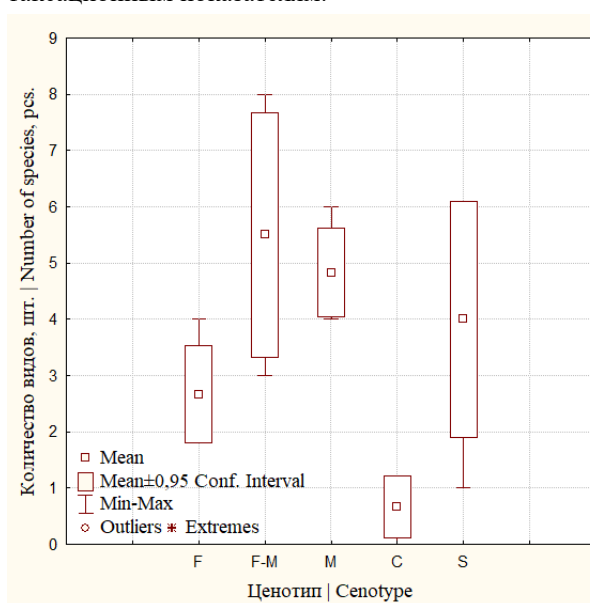


Рисунок 5. Среднее количество видов живого напочвенного покрова по цено типам: F – лесной, F-M – лесолуговой, M – луговой, C – прибрежный, S – синантропный

Figure 5. Average quantity of living ground cover species by cenotypes: F – forest, F-M – forest-meadow, M – meadow, C – coastal, S – synanthropic

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

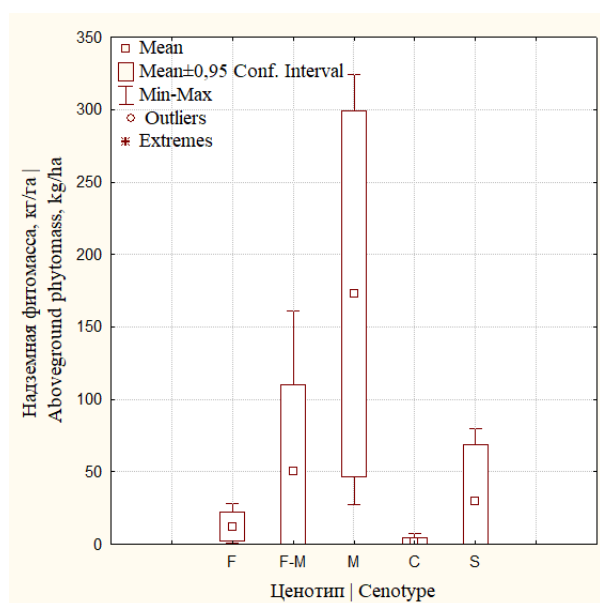


Рисунок 6. Средняя надземная фитомасса живого напочвенного покрова по центотипам: F – лесной, F-M – лесолуговой, M – луговой, C – прибрежный, S – синантропный

Figure 6. Average aboveground phytomass of leaving ground cover by cenotypes: F – forest, F-M – forest-meadow, M – meadow, C – coastal, S – synanthropic

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

Таблица 5

Расчетные значения коэффициента Жаккара для видов ЖНП на исследуемых участках

Table 5

Estimated values of Jaccard coefficient for living ground cover species at the study plots

№ ПП No SP	1	2	3	4	5	6
1	-	0,57	0,38	0,35	0,45	0,24
2	0,57	-	0,35	0,32	0,36	0,26
3	0,38	0,35	-	0,38	0,54	0,41
4	0,35	0,32	0,38	-	0,43	0,34
5	0,45	0,36	0,54	0,43	-	0,42
6	0,24	0,26	0,41	0,34	0,42	-

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Обсуждение

В целом полученные результаты подтверждают результаты наших предыдущих исследований, проведенных на других выработанных карьерах по добыче глин [25]. Однако отличительной чертой фитоценозов, описанных в текущей работе, является их довольно маленькая площадь. Последнее могло стать причиной значительного влияния бокового освещения на растительность. Вероятно, по этой причине виды лугового и лесолугового центотипа так широко распространены даже под пологом 30-летнего древостоя.

В составе ЖНП на всех ПП присутствуют следующие виды: *Milium effusum* L., *Trifolium pratense* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Agrostis canina* L., *Lathyrus pratensis* L.. Также очень распространены (на 5 из 6 ПП): *Vicia cracca* L. и *Poa pratensis* L. Исходя из того, что данные виды были зафиксированы

практически повсеместно на исследуемом рекультивированном карьере, можно считать их, кроме одуванчика лекарственного (по причине его агрессивности), перспективными для посева при биологическом этапе рекультивации, в качестве растений, способных самовоспроизводиться и способствовать улучшению почвы [8]. Однако следует учитывать, что вопрос подбора травянистых видов в каждом конкретном случае требует более детального изучения и масштабных исследований [26, 27]. Указанные виды растений относятся к лесолуговому, луговому и синантропному центотипам, что свидетельствует о том, что лесная среда под пологом исследуемых древостоев еще не сформировалась. Данный факт также подтверждается данными о распределении надземной фитомассы, проективного покрытия и количества видов по центотипам (рис. 2, 3).

Если сравнивать ЖНП на самозрастающих и рекультивированных участках, то существенных различий в данном компоненте насаждений не наблюдается. Количество видов ЖНП на участках самозарастания составляет $14,7 \pm 10,8$ видов, а на участках рекультивированных – $20,0 \pm 5,1$ шт. (при уровне надежности 90 %). t-критерий Стьюдента (2,44, при $p = 0,067$) также не показал достоверных различий. Таким образом, по имеющимся данным нельзя сказать, что под пологом искусственных древостоев произрастает достоверно большее количество видов. Влияние происхождения фитоценозов (естественное или искусственное) на надземную фитомассу ЖНП и доленое участие различных ценотипов также доказать не удалось. По нашим данным характеристики ЖНП в большей степени зависят от возраста, густоты и полноты древостоев, а не от происхождения последних.

Ориентировочно в 2016 году, сразу после окончания разработки, северо-западная часть карьера (примерно 1/3 часть от его общей площади) была отдана под полигон твердых бытовых отходов (ТБО). В 2023 году полигон ТБО был расширен еще и на северо-восточную часть карьера. Однако на этом участке еще в 1997 году были созданы лесные культуры, в том числе исследуемые участки (ПП 4 и 5). На сегодняшний день исследуемые 28-летние фитоценозы искусственного происхождения уничтожены. Описанная ситуация показывает, что у лиц, ответственных за данную территории, не было четкой стратегии дальнейшего использования территории карьера после окончания его разработки. Такое положение вещей нельзя назвать рациональным подходом к природопользованию. Кроме того, решение по созданию полигона ТБО не учитывает мнение местного населения. Общественность негативно относится к размещению свалки в непосредственной близости к их садовым участкам. Неудобство создают периодически происходящие пожары в толще мусора и неприятные запахи. Дополнительной причиной недовольства является тот факт, что выработанная часть карьера (до размещения полигона ТБО и его расширения) была местом отдыха. Точкой притяжения для рекреантов было оз. Сампириш, созданное на дне карьера для отведения излишков воды. Практика использования карьеров в качестве рекреационных зон применяется как в России, так и в зарубежных

странах [28, 29]. Вероятно, при более рациональном подходе, описываемый выработанный карьер мог быть использован в целях улучшения условий жизни местного населения.

Дальнейшие исследования на выработанном глиняном карьере, расположенном на ул. Коммунистической г. Екатеринбургa, могут быть направлены на изучение растительности на полигоне ТБО, так как подобные объекты, по всей видимости, будут и в дальнейшем появляться на территории района исследований. Также необходимо изучить субстрат, на котором произрастают исследуемые фитоценозы, так как его характеристики (в случае значительных различий на разных ПП), могли оказать влияние на результаты исследования.

Выводы

1. Лесорастительные условия на рекультивированных карьерах по добыче глины в условиях Средне-Уральского таежного района позволяют выращивать высокопродуктивные (I-II класс бонитета) смешанные насаждения с преобладанием хвойных пород.

2. Живой напочвенный покров на шести исследуемых участках характеризуется малым флористическим сходством и весьма сильно различается по надземной фитомассе, проективному покрытию и распределению видов по ценотипам, что является следствием значительных различий в таксационных показателях древостоев.

3. На исследуемых участках в живом напочвенном покрове доминируют виды из семейств *Fabaceae*, *Poaceae* и *Asteraceae*, при этом на долю данных семейств приходится 62,4, 18,3 и 11,9 % надземной фитомассы. Наибольшая доля фитомассы (51,1 %) приходится на единственный вид: *Trifolium pratense* L.

4. По количеству видов травянистых растений и проективному покрытию на исследуемых участках преобладают растения лугового и лесолугового ценотипов, что свидетельствует о том, что лесная среда под пологом исследуемых древостоев еще не сформировалась.

5. Влияние происхождения фитоценоза на характеристику живого напочвенного покрова в рамках нашего исследования доказать не удалось.

6. Во время биологического этапа рекультивации карьеров по добыче глины в условиях Средне-

Уральского таежного района до или во время создания лесных культур рекомендуется осуществлять посев следующих травянистых растений: *Trifolium pratense* L., *Lathyrus pratensis* L., *Vicia cracca* L. *Milium effusum* L., *Agrostis canina* L., *Poa pratensis* L.

Данная мера поспособствует накоплению органических веществ в субстрате, что ускорит процесс почвообразования.

Список литературы

1. Cao W., Sofia G., Tarolli P. Geomorphometric characterisation of natural and anthropogenic land covers. *Progress in Earth and Planetary Science*. 2020; 7:2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0314-x>.
2. Vidal-Macua J. J., Nicolau J. M., Vicente E., Heras M. M. Assessing vegetation recovery in reclaimed opencast mines of the Teruel coalfield (Spain) using Landsat time series and boosted regression trees. *Science of The Total Environment*. 2020; 717: 137250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137250>.
3. Hendrychova M., Svobodova K., Kabrna M. Mine reclamation planning and management: Integrating natural habitats into post-mining land use. *Resources Policy*. 2020; 69: 101882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101882>.
4. Aronson J., Goodwin N., Orlando L., Eisenberg C., Cross A.T. A world of possibilities: Six restoration strategies to support the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Restoration Ecology*. 2020; 28: 730–736. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13170>.
5. Vlasenko M.V., Rybashlykova L.P., Turko S.Y. Restoration of Degraded Lands in the Arid Zone of the European Part of Russia by the Method of Phytomelioration. *Agriculture*. 2022; 12 (3): 437. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12030437>.
6. Осипенко А.Е., Башегуров К.А., Корчагин И.Е., Панин И.А., Осипенко Р.А., Щеплягин П.В., Искендерова Е.С., Котова В.С. Характеристика древесной и кустарниковой растительности, произрастающей на Исетском гранитном карьере. *Леса России и хозяйство в них*. 2022; 3 (82): 39-48. DOI: <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.80.43.005>.
7. Benetkova P., Tichy L., Haněl L., Kukla J., Vicentini F., Frouz J, The effect of soil and plant material transplants on vegetation and soil biota during forest restoration in a limestone quarry: A case study. *Ecological Engineering*. 2020; 158: 106039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106039>.
8. Turrion D, Morcillo L, Alloza JA, Vilagrosa A. Innovative Techniques for Landscape Recovery after Clay Mining under Mediterranean Conditions. *Sustainability*. 2021; 13 (6): 3439. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063439>.
9. Hernandez-Santin L., Gagen E.J., Erskine P.D., Setting restorative goals with a regional outlook: Mine-rehabilitation outcomes influence landscape connectivity. *Journal of Environmental Management*. 2024; 357: 120778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120778>.
10. Young R.E., Gann G.D., Walder B., Liu J., Cui W., Newton V., Nelson C.R., Tashe N., Jasper D., Silveira F.A.O., Carrick P.J., Hägglund T., Carlsen S., Dixon K. International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites. *Restoration Ecology*. 2022; 30: e13771. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13771>.
11. Морозов А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В., Розинкина Е.П. Естественное зарастание песчаных карьеров в условиях Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2023; (243): 86-99. DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.243.86-99>.
12. Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., Зарипов Ю.В., Залесов С.В. Формирование естественных фитоценозов на выработанном карьере кирпичной глины как начальный этап дальнейшего лесоразведения. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. ВР Филиппова*. 2020; 3 (60): 111-117. DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.60.3.017>.
13. Morcillo L., Turrión D., Fuentes D., Vilagrosa A. Drone-based assessment of microsite-scale hydrological processes promoted by restoration actions in early post-mining ecological restoration stages. *Journal of Environmental Management*. 2023; 348: 119468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119468>.

14. Rodríguez-Uña A., Cruz-Alonso V., Rohrer Z., Martínez-Baroja L. Fresh perspectives for classic forest restoration challenges. *Restoration Ecology*. 2020; 28: 12–15. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13093>.
15. Dixon K.W., Campbell T.A. New Gold Standard in Mine Site Restoration to Drive Effective Restoration Outcomes. In: Florentine, S., Gibson-Roy, P., Dixon, K.W., Broadhurst, L. (eds) *Ecological Restoration*. Springer, Cham. 2023; 399–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25412-3_11.
16. Копытов А.И., Новоселов С.В., Куприянов А.Н., Куприянов О.А. Тенденции развития угольной промышленности Кузбасса и перспективы восстановления природных экосистем в аспекте энергетического перехода до 2050 г. *Уголь*. 2024; (3): 87-93. DOI: <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-3-87-93>.
17. Li Y., Wang L., Cao Q., Yang L., Jiang W. Revealing ecological restoration process and disturbances of mineral concentration areas based on multiscale and multisource data. *Applied Geography*. 2024; 162: 103155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103155>.
18. Gastauer M., Pinheiro T., Caldeira C.F., Ramos S.J., Coelho R.R., Fonseca D.S., Tyski L., Cardoso A.L.R., Carvalho Neto C.S., Guimarães L., Sarmento P.S.M. Large-scale forest restoration generates comprehensive biodiversity gains in an Amazonian mining site. *Journal of Cleaner Production*. 2024; 443: 140959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140959>.
19. Бачурина А.В., Залесов С.В., Толкач О.В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства. *Экология и промышленность России*. 2020; 24 (6): 67-71. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>.
20. Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A., Rakov E.A. Influence of recultivation methods on formation of ash dump phytocenosis in taiga zone (Middle Urals). *AIP Conference Proceedings: Proceedings of the International Scientific Conference*. 2022; 2390: 030010. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0069037>.
21. Трещевская Э.И., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Трещевская С.В., Якимов Н.И. Динамика естественного зарастания травянистой растительностью насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при рекультивации гидроотвала Курской магнитной аномалии. *Лесотехнический журнал*. 2023; 13. 3 (51): 117-130. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/9>.
22. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга: учеб. пособие; изд. 3-е, дополненное и переработанное. Екатеринбург: УГЛТУ. 2020: 90. ISBN 978-5-94984-727-5 Режим доступа: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9766> (дата обращения: 24.02.2024).
23. Нагимов З.Я. Лысов Л.А., Коростелев И.Ф., Соколов С.В., Соловьев В.М., Фимушин Б.С., Шевелина И.В., Анчугова Г.В. Нормативно-справочные материалы по таксации лесов Урала: Учебное пособие. Екатеринбург: УГЛТУ. 2002: 160. ISBN 5-230-25721-0. Режим доступа: <https://e.twirpx.link/file/2410257/>
24. Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос. 1992: 495. ISBN 5-10-001344-3. Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/taksac/index.htm>
25. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд. Екатеринбург: УГЛТУ. 2022: 282. ISBN 978-5-94984-834-0.
26. Ortega R., Domene M.A., Soriano M., Sánchez-Marañón M., Asensio C., Miralles I. Improving the fertility of degraded soils from a limestone quarry with organic and inorganic amendments to support vegetation restoration with semiarid Mediterranean plants. *Soil and Tillage Research*. 2020; 204: 104718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104718>.
27. Massante J.C., Castro A.F., Sarmento P.S.M., Silva G.M., Caldeira C.F., Ramos S., Gastauer M. Species selection for optimizing mine land rehabilitation: Integrating functional traits with the minimum set prioritization technique. *Ecological Engineering*. 2023; 194: 107039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107039>.

28. Галдин Р.Е., Алейникова Н.В., Ярмош Т.С. Формирование рекреационных зон путем использования нарушенных городских земель. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021; (12): 73-83. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-12-73-83>.

29. Kurowska E.E., Czerniak A., Bańkowski J. The Rationale for Restoration of Abandoned Quarries in Forests of the Ślęza Massif (Poland) in the Context of Sustainable Tourism and Forest Environment Protection. *Forests*. 2023; 14 (7): 1386. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14071386>.

References

1. Cao W., Sofia G., Tarolli P. Geomorphometric characterisation of natural and anthropogenic land covers. *Progress in Earth and Planetary Science*. 2020; 7:2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0314-x>.

2. Vidal-Macua J.J., Nicolau J.M., Vicente E., Heras M.M. Assessing vegetation recovery in reclaimed opencast mines of the Teruel coalfield (Spain) using Landsat time series and boosted regression trees. *Science of The Total Environment*. 2020; 717: 137250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137250>.

3. Hendrychova M., Svobodova K., Kabrna M. Mine reclamation planning and management: Integrating natural habitats into post-mining land use. *Resources Policy*. 2020; 69: 101882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101882>.

4. Aronson J., Goodwin N., Orlando L., Eisenberg C., Cross A.T. A world of possibilities: Six restoration strategies to support the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Restoration Ecology*. 2020; 28: 730–736. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13170>.

5. Vlasenko M.V., Rybashlykova L.P., Turko S.Y. Restoration of Degraded Lands in the Arid Zone of the European Part of Russia by the Method of Phytomelioration. *Agriculture*. 2022; 12 (3): 437. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12030437>.

6. Osipenko A.E., Bashegurov K.A., Korchagin I.E., Panin I.A., Osipenko R.A., Shcheplyagin P.V., Iskenderova E.S., Kotova V.S. Charakteristika drevesnoj i kustarnikovej rastitel'nosti, proizrastayushchej na Isetskom granitnom kar'ere. [Characteristics of tree and shrub vegetation growing on the Iset granite quarry]. *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih*. [Forests of Russia and economy in them]. 2022; 3 (82): 39-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.80.43.005>.

7. Benetkova P., Tichy L., Haněl L., Kukla J., Vicentini F., Frouz J, The effect of soil and plant material transplants on vegetation and soil biota during forest restoration in a limestone quarry: A case study. *Ecological Engineering*. 2020; 158: 106039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106039>.

8. Turrion D, Morcillo L, Alloza JA, Vilagrosa A. Innovative Techniques for Landscape Recovery after Clay Mining under Mediterranean Conditions. *Sustainability*. 2021; 13 (6): 3439. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063439>.

9. Hernandez-Santin L., Gagen E.J., Erskine P.D., Setting restorative goals with a regional outlook: Mine-rehabilitation outcomes influence landscape connectivity. *Journal of Environmental Management*. 2024; 357: 120778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120778>.

10. Young R.E., Gann G.D., Walder B., Liu J., Cui W., Newton V., Nelson C.R., Tashe N., Jasper D., Silveira F.A.O., Carrick P.J., Hägglund T., Carlsen S., Dixon K. International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites. *Restoration Ecology*. 2022; 30: e13771. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13771>.

11. Morozov A.E., Belov L.A., Bashegurov K.A., Zalesov S.V., Rozinkina E.P. Estestvennoe zarastanie peschanyh kar'erov v usloviyah Zapadno-Sibirskogo severo-taezhnogo ravninnogo lesnogo rajona. [Natural overgrowth of sand quarries in the conditions of the Western Siberian north taiga plain forest region]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehničeskoj akademii*. 2023; (243): 86-99. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.243.86-99>.

12. Osipenko R.A., Osipenko A.E., Zaripov Yu.V., Zalesov S.V. Formirovanie estestvennyh fitocenzov na vyrabotannom kar'ere kirpichnoj gliny kak nachal'nyj etap dal'nejshego lesorazvedeniya. [Formation of natural phytocenoses on the abandoned pit of brick clay as the initial stage of further forest]. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj*

sel'skokozyajstvennoj akademii im. VR Filippova. [Bulletin of the BSSA named after V. R. Filippov]. 2020; 3 (60); 111-117. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.60.3.017>.

13. Morcillo L., Turrión D., Fuentes D., Vilagrosa A. Drone-based assessment of microsite-scale hydrological processes promoted by restoration actions in early post-mining ecological restoration stages. *Journal of Environmental Management*. 2023; 348: 119468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119468>.

14. Rodríguez-Uña A., Cruz-Alonso V., Rohrer Z., Martínez-Baroja L. Fresh perspectives for classic forest restoration challenges. *Restoration Ecology*. 2020; 28: 12–15. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13093>.

15. Dixon K.W., Campbell T.A. New Gold Standard in Mine Site Restoration to Drive Effective Restoration Outcomes. In: Florentine, S., Gibson-Roy, P., Dixon, K.W., Broadhurst, L. (eds) *Ecological Restoration*. Springer, Cham. 2023; 399–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25412-3_11.

16. Kopytov A.I., Novoselov S.V., Kupriyanov A.N., Kupriyanov O.A. Tendencii razvitiya ugol'noj promyshlennosti Kuzbassa i perspektivy vosstanovleniya prirodnyh ekosistem v aspekte energeticheskogo perekhoda do 2050 g. [Trends in the development of the Kuzbass coal industry and prospects for the restoration of natural ecosystems in the aspect of energy transition until]. *Ugol'*. 2024; (3): 87-93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-3-87-93>.

17. Li Y., Wang L., Cao Q., Yang L., Jiang W. Revealing ecological restoration process and disturbances of mineral concentration areas based on multiscale and multisource data. *Applied Geography*. 2024; 162: 103155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103155>.

18. Gastauer M., Pinheiro T., Caldeira C.F., Ramos S.J., Coelho R.R., Fonseca D.S., Tyski L., Cardoso A.L.R., Carvalho Neto C.S., Guimarães L., Sarmento P.S.M. Large-scale forest restoration generates comprehensive biodiversity gains in an Amazonian mining site. *Journal of Cleaner Production*. 2024; 443: 140959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140959>.

19. Bachurina A.V., Zalesov S.V., Tolkach O.V. Effektivnost' lesnoj rekul'tivacii narushennyh zemel' v zone vliyaniya medeplavil'nogo proizvodstva. [The effectiveness of disturbed lands forest reclamation in the zone of copper-melting works]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. [Ecology and Industry of Russia]. 2020; 24 (6): 67-71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>.

20. Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A., Rakov E.A. Influence of recultivation methods on formation of ash dump phytocenosis in taiga zone (Middle Urals). *AIP Conference Proceedings: Proceedings of the International Scientific Conference*. 2022; 2390: 030010. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0069037>.

21. Treshchevskaya E.I., Tihonova E.N., Golyadkina I.V., Treshchevskaya S.V., YAKimov N.I. Dinamika estestvennogo zarastaniya travyanistoj rastitel'nost'yu nasazhdenij sosny obyknovenoj (*Pinus sylvestris* L.) pri rekul'tivacii gidrootvala Kurskoj magnitnoj anomalii. [Dynamics of grass natural overgrowth in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands during reclamation of hydrodump of the Kursk magnetic anomaly]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal]. 2023; 13. 3 (51): 117-130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/9>.

22. Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Magasumova A.G., Osipenko R.A. Osnovy fitomonitoringa: ucheb. posobie; izd. 3-e, dopolnennoe i pererabotannoe. [Base phytomonitoring: training manual; 3rd edition, expanded and revised]. Ekaterinburg, USFEU Publ. 2020: 90. ISBN 978-5-94984-727-5. (In Russ.). URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9766> (дата обращения: 24.02.2024).

23. Nagimov Z.Ya. Lysov L.A., Korostelev I.F., Sokolov S.V., Solov'ev V.M., Fimushin B.S., Shevelina I.V., Anchugova G.V. Normativno-spravochnye materialy po taksacii lesov Urala: uchebnoe posobie. [Regulatory and reference materials on forest inventory in the Urals: training manual]. Ekaterinburg, USFEU Publ. 2002: 160. ISBN 5-230-25721-0. (In Russ.). URL: <https://e.twirpx.link/file/2410257/>

24. Zagreev V.V., Suhih V.I., SHvidenko A.Z., Gusev H.H., Moshkalev A.G. Obshchesoyuznye normativy dlya taksacii lesov. [All-Union Norms for Forest Taxation]. M.: Kolos. 1992: 495. ISBN 5-10-001344-3. (In Russ.). URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/taksac/index.htm>

25. Zalesov S.V., Zaripov Yu.V., Osipenko R.A. Opyt lesohozyajstvennogo napravleniya rekul'tivacii narushennyh zemel' pri razrabotke mestorozhdenij gliny, hrizotil-asbesta i redkozemel'nyh rud. [Experience in the forestry direction of recultivation of disturbed lands during the development of clay, chrysotile-asbestos and rare earth ores]. Ekaterinburg, USFEU Publ. 2022: 282. ISBN 978-5-94984-834-0. (In Russ.).

26. Ortega R., Domene M.A., Soriano M., Sánchez-Marañón M., Asensio C., Miralles I. Improving the fertility of degraded soils from a limestone quarry with organic and inorganic amendments to support vegetation restoration with semiarid Mediterranean plants. Soil and Tillage Research. 2020; 204: 104718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104718>.

27. Massante J.C., Castro A.F., Sarmiento P.S.M., Silva G.M., Caldeira C.F., Ramos S., Gastauer M. Species selection for optimizing mine land rehabilitation: Integrating functional traits with the minimum set prioritization technique. Ecological Engineering. 2023; 194: 107039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107039>.

28. Galdin R.E., Alejnikova N.V., YArmosh T.S. Formirovanie rekreacionnyh zon putem ispol'zovaniya narushennyh gorodskih zemel'. [Formation of recreational areas by using disturbed urban lands]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. [Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov]. 2021; (12): 73-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-12-73-83>.

29. Kurowska E.E., Czerniak A., Bańkowski J. The Rationale for Restoration of Abandoned Quarries in Forests of the Ślęza Massif (Poland) in the Context of Sustainable Tourism and Forest Environment Protection. Forests. 2023; 14 (7): 1386. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14071386>.

Сведения об авторах

Осипенко Регина Александровна – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>, e-mail: osipenkora@m.usfeu.ru.

✉ *Осипенко Алексей Евгеньевич* – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>, e-mail: osipenkoae@m.usfeu.ru.

Ушакова Наталья Михайловна – инженер лесного хозяйства, ООО «Тура-лес», ул. Лесная, 3, г. Верхняя Тура, Российская Федерация, 624320, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2960-3699>, e-mail: ushakova-18@list.ru.

Новозhilов Андрей Сергеевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620100, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7147-1180>, e-mail: novozhilov-nnsaa@yandex.ru.

Information about the authors

Regina A. Osipenko – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of Department of Forestry, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>, e-mail: osipenkora@m.usfeu.ru.

✉ *Aleksey E. Osipenko* – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of Department of Forestry, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>, e-mail: osipenkoae@m.usfeu.ru.

Natalia M. Ushakova – forestry engineer, LLC "Tura-Les", Lesnaya str., 3, Verkhnyaya Tura, Russian Federation, 624320, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2960-3699>, e-mail: ushakova-18@list.ru.

Andrey S. Novozhilov – master student, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt str., 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7147-1180>, e-mail: novozhilov-nnsaa@yandex.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author