

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/5>

УДК 630*233:631*618



РОСТ, СОСТОЯНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУСТАРНИКОВЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ОТВАЛОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Элла И. Трещевская¹, ehl1t@yandex.ru 0000-0003-1454-4095

Елена Н. Тихонова¹, tichonova-9@mail.ru 0000-0002-9039-9822

Инна В. Голядкина¹ , golyadkina@vglu.ru 0000-0002-4532-3810

Светлана В. Трещевская¹, streshchevskaya@mail.ru, 0000-0002-2363-8512

Константин В. Лабоха², labokha@belstu.by 0000-00023-7094-5582

Владислав И. Князев¹, knyazz599@gmail.com 0000-0003-4714-950X

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

²УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13, г. Минск, Республика Беларусь

На отвалах Курской магнитной аномалии (КМА), сложенных различными горными породами и их смесями, с улучшением лесорастительных условий путем землевания и без этого приема, были испытаны различные виды растительности, в том числе пять видов кустарниковых пород: облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), смородина золотая (*Ribes aureum* Pursh.), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), бузина красная (*Sambucus racemosa* L.). Изучались показатели роста, сохранность и продуктивность пород. Одной из первых была испытана смородина золотая, которая оказалась непригодной породой для создания защитных насаждений на отвалах без мероприятий по улучшению их лесорастительных условий. На мело-мергельных смесях и четвертичных суглинках она полностью выпала к возрасту 12-15 лет. Кустарники, используемые при лесной рекультивации на двухкомпонентных техноземах, характеризуются различной сохранностью. К возрасту 43 лет наибольшая сохранность, равная 50.5 %, отмечена у облепихи крушиновой. Она также имеет самые высокие показатели роста. При выборе кустарниковых пород для лесной рекультивации необходимо учитывать их биологическую продуктивность, которая увеличивает концентрацию в субстратах питательных элементов и улучшает их физические свойства. Облепиха в 9-летнем возрасте имеет большую фитомассу (2368 г), самую большую массу листы (396 г) и общий запас фитомассы (143.9 ц/га) в насаждении. Авторы рекомендуют использовать кустарниковые породы для закладки предварительных культур на начальном этапе рекультивации или вводить их в сложные по составу насаждения в количестве не более 50 %. Учитывая почвоулучшающую роль кустарниковых пород, целесообразно будет последнее введение более долговечных древесных пород.

Ключевые слова: биологическая рекультивация, техногенно нарушенные земли, кустарниковые породы, карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), биологическая продуктивность.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Рост, состояние и продуктивность кустарниковых пород в условиях отвалов железорудных месторождений / Э. И. Трещевская, Е. Н. Тихонова, И. В. Голядкина, С. В. Трещевская, К. В. Лабоха., В. И. Князев // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 60–76. – Библиогр.: с. 71–75 (28 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/5>.



Поступила 02.06.2022. Пересмотрена 26.11.2022. Принята 07.12.2022. Опубликована онлайн 26.12.2022.


Article


GROWTH, STATE AND PRODUCTIVITY OF PERENNIAL SHRUBS ON DUMPS OF IRON-ORE MINE


Ella I. Treschevskaya¹, ehllt@yandex.ru  0000-0003-1454-4095

Elena N. Tikhonova¹, tichonova-9@mail.ru  0000-0002-9039-9822

Inna V. Golyadkina¹ , golyadkina@vgtu.ru  0000-0002-4532-3810

Svetlana V. Treschevskaya¹, streshchevskaya@mail.ru  0000-0002-2363-8512

Konstantin V. Laboha², labokha@belstu.by  0000-00023-7094-5582

Vladislav I. Knyazev¹, knyazz599@gmail.com  0000-0003-4714-950X

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

²Belarussian State Technological University, 13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Belarus

Abstract

Technogenically disturbed land is an integral part of landscapes in open-pit mining. Forest reclamation increases the area of greenery, which in turn improves the environment. Various types of vegetation were tested on the Kursk magnetic anomaly (KMA) dumps of various overburden rocks and their mixtures, with and without the improvement of the forest conditions. Including them five species of perennial shrubs: sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.), siberian peashrub (*Caragana arborescens* Lam.), golden currant (*Ribes aureum* Pursh.), tatarian honeysuckle (*Lonicera tatarica* L.) and red elderberry (*Sambucus racemosa* L.). The indicators of growth, preservation and productivity of this species were studied according to generally accepted methods. One of the first to be tested was the golden currant, which turned out to be unsuitable for co-building protective stands on the dumps without measures to improve their forest conditions. On the chalk and marl mixtures and quaternary clay loam, it fell out completely by the age of 12-15 years. The main method of improving plant growth conditions in post-technogenic areas is applying of fertile layer of topsoil. The shrubs used in forest reclamation on such so-called "two-component techno-soil" are characterized by different preservation. By age 43, the greatest safety, equal to 50.5%, is recorded in the sea buckthorn. It also has the highest growth rates. The selection of shrubs for forest reclamation must take into account their biological productivity, which increases the concentration of nutrients and improves their physical properties. The sea buckthorn at age 9 has a large biomass (2368 g), the heaviest leaf mass (396 g) and a total biomass reserve in the plant (143.9 centner per ha). It is concluded that due to the short-lived nature of the shrubs, it is advisable use them to create preliminary soil-improving plantings at the first stage of reclamation with the subsequent introduction of more valuable tree species or introduce them into complex plantings in the amount of not more than 50%.

Keywords: *biological reclamation, post-technogenic areas, perennial shrubs, siberian peashrub (Caragana arborescens Lam.), biomass*

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

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

For citation: Treschevskaya E. I., Tikhonova E. N., Golyadkina I. V., Treschevskaya S. V., Laboha K. V., Knyazev V. I. (2022) Growth, state and productivity of perennial shrubs on dumps of iron-ore mine. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 12, No. 4 (48), pp. 60-76 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/5>.

Received 02.06.2022. *Revised* 26.11.2022. *Accepted* 07.12.2022. *Published online* 26.12.2022.

Введение

Курская магнитная аномалия (КМА), располагаясь на территории Белгородской, Курской и Орловской областей Центрального федерального округа России, является самым значимым железорудным бассейном мира. Ее запасы исчисляются объемом примерно 200 млрд тонн.

Открытый способ добычи полезных ископаемых, несмотря на его производственную и экономическую эффективность, требует отчуждения больших площадей плодородных земель. Площадь нарушенных земель за более чем 100-летний период эксплуатации месторождения составила около 40 тыс. га.

В условиях современного глобального потепления территории, утратившие свой почвенно-растительный покров, являются источником антропогенного выброса CO₂ [25]. Кроме того, ущерб, нанесенный открытой добычей полезных ископаемых, отражается на таких важных экосистемных функциях, как производство продовольствия, сохранение биоразнообразия, регулирование качества воздуха, воды и почв [21, 27, 28].

Для того чтобы минимизировать ущерб, нанесенный окружающей среде, необходимо проведение специальных мероприятий. Многолетние научные исследования в нашей стране и за рубежом подтверждают перспективность биологической рекультивации [18, 26].

Открытая добыча природных ископаемых широко распространена во всем мире. При этом происходит коренная трансформация исходных ландшафтов и возникают сложные техногенные комплексы, основным элементом которых являются отвалы. Отвалы требуют быстрого восстановления в связи с интенсивными процессами эрозии и дефляции, происходящими на них.

Проведение на отвалах лесной рекультивации повышает площадь зеленых насаждений, что, в свою очередь, улучшает состояние окружающей среды. Предпочтение лесной рекультивации, как наиболее дешевому и эффективному способу восстановления нарушенных ландшафтов, отдают многие отечественные ученые. Так, Андроханов В. А. и Уфимцев В.И. считают, что активное вовлечение нарушенных земель в биологический кругооборот

путем создания на них высокопродуктивных лесных насаждений, выступающих в качестве долготелетнего аккумулятора углерода, может рассматриваться как наиболее эффективный способ депонирования углерода на территории Кузбасса [15]. Голлеусов П.В. отмечает, что наиболее востребованным в лесостепной зоне является лесное направление ренатурирования посттехногенных экосистем, обеспечивающее более эффективную компенсацию антропогенной эмиссии CO₂ [3]. Ученые Курской ГСХА также считают, что в основе организации территории при формировании рекультивированных ландшафтов Центрального Черноземья должна стать мозаичность (чередование агроценозов, лесов, и т.д.), при этом на лесные насаждения должно приходиться не менее 50 % [12].

Дмитракова А. Я. и Абакумов Е. В. исследуя восстановление почвенно-растительного покрова на участках рекультивации, подчеркивают значительную роль лесного опада в формировании гумуса почв, а также наибольшие отличия морфогенетических характеристик профилей в процессе уменьшения доли травянистой растительности и увеличения древесной [4].

Американские авторы также обращают внимание на перспективность использования лесной рекультивации, особенно для лесных зон [22, 24]. Pietrzykowski M. в своей работе (2019) делает вывод, что в условиях Центральной и Восточной Европы именно лесные сукцессии на нарушенных землях позволяют создать устойчивые в долгосрочной перспективе экосистемы [19].

Костина Е.Э. и др. отмечают, что для развития более высокопроизводительных биоценозов в ходе лесной рекультивации необходимы дополнительные мероприятия по улучшению свойств исходных минеральных субстратов [7]. Помимо органических мелиорантов и минеральных удобрений возможно применение поверхностного рекультивационного гумусового слоя или лесной подстилки [23]. Лиханова И.А. и Ковалева В.А. предлагают на нарушенных землях легкого гранулометрического состава в комплексе с лесной рекультивацией посев трав [8].

Многие авторы рекомендуют создавать из кустарниковых пород, в том числе азотфиксирую-

ших, предварительные мелиоративные насаждения или вводить их в состав более сложных насаждений [2, 5, 20]. Однако в перечисленной литературе отсутствуют данные долговременного мониторинга кустарниковых насаждений в условиях отвалов железорудных месторождений. В этой связи исследования в данном направлении не теряют своей актуальности. Выявление особенностей роста и развития кустарниковых пород на нарушенных землях позволяет оптимизировать процесс формирования рекультивационных насаждений с целью повышения их устойчивости, долговечности, продуктивности и стабилизации, выполняемых ими экосистемных функций.

Цель исследования – учет биологической продуктивности и прогноз долговечности кустарниковых пород на различных субстратах техногенных поверхностных образований КМА. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: оценка основных биометрических показателей, приживаемости сохранности кустарниковых пород за 43-летний период наблюдения. В качестве интегральной характеристики биологической продуктивности, рассматривалось количество фитомассы, продуцируемой различными видами кустарниковых насаждений и накопление химических элементов в различных фракциях фитомассы.

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

Исследовательские работы проводились на территории одного из основных импактных районов КМА – железорудного месторождения г. Губкина и г. Старый Оскол Белгородской области. Геоморфологически территория исследования относится к юго-западной части Русской равнины.

Основным элементом техногенного ландшафта являются отвалы, сформированные различными способами в разные годы и сложенные горными породами, неоднородными по гранулометрическому и химическому составам.

Формирование гидроотвала Березовый лог началось в 1965 г. гидронамывом. Географические координаты гидроотвала 51°14'53"с.ш. 37°35'21" в.д. Он сложен песком с небольшим содержанием мела. Высота отвала составляет 40–46 м, крутизна отко-

сов – до 30°. Для улучшения лесорастительных условий на поверхность отвала в 1976 г. был нанесен гумусовый рекультивационный слой мощностью от 30 до 80 см и более. Облесение отвала началось в 1972 г., но большая часть насаждений создана в 1976–1977 годах.

Железнодорожный отвал (отвал рыхлой вскрыши) формируется до настоящего времени, начиная с 1958 года. Географические координаты железнодорожного отвала – 51°17'26"с.ш. 37°41'46" в.д. Юго-западный его откос, где весной 1972 г. были заложены лесные культуры, состоит из песчано-меловой смеси с включением фосфоритов, сланцев, мергеля и пр. Высота отвала достигает 90 м, крутизна откосов – 35–40°.

Конвейерные отвалы формировались конусообразными отвалообразователями и представлены грядами конусообразной формы высотой 50–70 м с крутизной откосов 40–50°. Они сложены четвертичными суглинками и мело-мергельными смесями. Географические координаты конвейерного отвала – 51°14'20"с.ш. 37°42'31" в.д.

С 1972 года учеными Воронежского Лесотехнического Института на отвалах КМА были испытаны различные виды растительности, в том числе пять видов кустарниковых пород, обладающие почвоукрепляющими и почвоулучшающими свойствами в т.ч. облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), смородина золотая (*Ribes aureum* Pursh.), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), бузина красная (*Sambucus racemosa* L.) [13]. Из них создавали чистые насаждения или вводили в состав насаждений из более ценных пород [14].

Объект исследования – чистые кустарниковые насаждения, заложенные в период с 1972 по 1977 гг. на выровненных платообразных участках отвалов различного генезиса.

Посадка саженцев смородины золотой производилась вручную, под меч Колесова, на отвалах, сложенных разными горными породами и их смесями. Размещение посадочных мест 2,0 x 0,5 м (10 тыс. шт/га). Облепиха крушиновая, карагана древовидная, жимолость татарская, бузина красная высаживались на двухкомпонентных техноземах гид-

роотвала Березовый лог вручную, под меч Колесова. Размещение посадочных мест 2,0 x 0,5 м.

Для изучения роста, состояния и продуктивности кустарниковых насаждений использовались постоянные учетные площадки размером 50×50 м, в 1976, 1977, 1985, 1986, 2017 гг.

Сбор данных

Закладка пробных площадей и работы по измерению высоты и диаметра ствола выполнялись по общепринятым методикам с учетом современных требований таксации и лесоводства.

Приживаемость кустарников в молодом возрасте определяли, как соотношение фактического количества в тыс.шт/га к числу изначально высаженных в тыс.шт/га. Сохранность кустарников определяли, как соотношение числа изначально высаженных семян к числу сохранившихся на момент наблюдения. Средний прирост (среднегодичное изменение) по высоте определялся как отношение высоты к возрасту кустарника или средний возраст насаждения.

Для определения биомассы кустарниковых пород использовались рекомендации Родина Л.Е., Ремезова Н.П. и Базелевич Н.И. [1]. Для изучения корневых систем – Калинина М.И. [11].

Определение химических элементов в растениях было произведено в Государственном центре агрохимической службы «Воронежский» по следующим международным стандартам: фосфор (P) ISO 6491:1998 «Корма для животных. Определение содержания фосфора. Спектрометрический метод»; кальций (Ca), магний (Mg) и калий (K) ИСО 27085:2009 «Корма для животных. Определение кальция, магния, калия методом ICP-AES»; азот (N) ISO 5983-2:2009 «Корма для животных. Определение содержания азота. Метод с использованием блока для озоления и перегонки с водяным паром».

Определение содержания таких элементов, как кремний (Si^{2+}), железо (Fe^{3+}) и алюминий (Al^{3+}) в различных фракциях фитомассы проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра марки ААС 703 «Perkin Elmer» (США) в отделе физико-химических исследований НИИ незаразных болезней животных (г. Воронеж).

Анализ данных

Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием стандартного пакета MicrosoftOffice Excel 2016. В таблицах привели такие статистические параметры, как среднее арифметическое и стандартное отклонение ($M \pm s$). Для оценки значимости различий средних значений использован t-критерий Стьюдента. При расчете критерия учитывались диапазон значений (min, max) и объем выборки (n). Оценка существенности различий проводилась по наименьшей существенной разности (НСР).

Результаты и обсуждение

Коллектив ученых лесотехнического университета, начиная с 1972 года, начал проводить масштабные производственные испытания малотребовательных древесных и кустарниковых пород на нарушенных землях КМА.

Одной из первых кустарниковых культур, испытанных на отвалах без предварительного улучшения лесорастительных условий, была смородина золотая. Это нетребовательная к почвенным условиям порода, может произрастать на почвах разного гранулометрического состава и широкого диапазона кислотности. Светолюбива, но мирится с затенением. Отличается быстрым ростом. Корни поверхностные, мало разветвленные. Пыле-, дымо- и газостойчива. Переносит бедные, довольно сухие условия, засухоустойчива, поэтому пригодна для выращивания в экстремальных условиях нарушенных земель.

Посадка саженцев смородины золотой производилась вручную, под меч Колесова, на отвалах рыхлой вскрыши и конвейерном отвале. Размещением посадочных мест 2,0 x 0,5 м (10 тыс. шт/га). Характеристика насаждений приводится в табл. 1.

На отвалах рыхлой вскрыши смородина характеризуется лучшими показателями приживаемости, сохранности и роста. Это связано, в первую очередь, с почвенно-гидрологическими условиями данного типа отвалов. Они являются благоприятными и характеризуются более высоким содержанием физической глины, которая не вымывается из песчано-меловой смеси. Однако и на этом отвале

Природопользование

после 17 лет сохранность начала резко снижаться, и к возрасту 20 лет смородина полностью выпала.

Четвертичные суглинки, хоть и отличаются большим запасом питательных элементов (гумус – 0,68 %, легкогидролизуемый азот – 4,0, фосфор – 18,5, калий – 160 мг/кг), но характеризуются плохими водно-физическими свойствами, как и мело-

мергельные смеси. Их твердость равна 29 и 28 кг/см², влажность завядания – 12,8 и 8,0 % соответственно[9]. На этих отвалах смородина, имея низкую сохранность в возрасте 11 лет, полностью выпала к 15 годам.

Таблица 1

Характеристика насаждений смородины золотой на отвалах КМА

Table 1

Characteristics of *Ribes aureum* Pursh. plantations on KMA

Вид отвала Type of dump	Состав техногенных субстратов Initial substrates composition	Возраст насаждения, лет Age, years	Приживаемость / Сохранность, % Survival rate / Preservation, %	Средняя высота, м Average height, m	Средний прирост по высоте, см Average increase in height, cm	Средний диаметр *, см Average diameter, cm
Отвалрых- лоидных Friable overburden rock dump	Песчано-меловая смесь Sand and chalk mixture	17	$\frac{74,6}{43,5}$	1,89±0,03	10,2±0,09	$\frac{1,62±0,02}{0,40±0,01}$
Конвейерный отвал Conveyor dump	Четвертичный суглинок Quaternary clay loam	11	$\frac{32,1}{18,0}$	1,06±0,02	9,2±0,09	$\frac{1,21±0,01}{-}$
	Мело-мергельная смесь Chalk and marl mixture	11	$\frac{46,7}{7,8}$	1,48±0,02	13,1±0,1	$\frac{1,17±0,01}{-}$

*- числитель указывает средний диаметр на высоте 0,1 м; знаменатель – на высоте 1,3 м | the numerator indicates the average diameter at 0,1 m; the denominator - at 1,3 m

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

По данным Киштанова Б.В., смородина золотая достаточно адаптирована к аридным почвенно-климатическим условиям и без ухода может расти даже на нецелесообразных площадях, где деревья рано погибают[6]. Как показали наши исследования, смородина оказалась непригодной породой для создания защитных насаждений на субстратах КМА без мероприятий по их предварительному улучшению.

С другими кустарниковыми породами эксперименты не проводились, и их высаживали на

двухкомпонентных техноземах гидроотвала Березовый лог, которые создавались путем нанесения на песок с небольшим содержанием мела плодородного слоя мощностью 30-40 см. Кустарники, так же, как и древесные породы, защищают отвалы от эрозии и дефляции благодаря разветвленной корневой системе и подстилке, которую они создают на поверхности откосов. Приживаемость и рост кустарниковых пород зависят от многих экологических факторов, среди которых лимитирующим является количество влаги. Так, Пигорев И.Я. подчеркивает,

что атмосферные осадки являются основным видом увлажнения вскрышных пород, которые в зависимости от равномерности выпадения, могут увлажнять слой породы до 140-150 см [10].

В связи с этим нами выделено три типа экологических условий: благоприятные – с количеством осадков более 600 мм в год, средние – 500-600 мм и неблагоприятные – менее 500 мм.

Мониторинг за состоянием и ростом таких кустарниковых пород как бузина красная и жимолость татарская показал, что при количестве осадков более 600 мм наблюдается самая высокая приживаемость, достигающая 91,8-100 %. Причем способ посадки (ручная или механизированная) не

влияет на приживаемость. Необходимо отметить, что все испытанные породы были высажены сеянцами с открытой корневой системой. Якимов Н. в своей работе указывает, что одним из способов повысить приживаемость, продуктивность и устойчивость создаваемых лесных культур в трудных лесорастительных условиях является использование посадочного материала с закрытой корневой системой, который выращен в контейнерах ограниченного объема [17].

В табл. 2 приводятся показатели сохранности и роста кустарниковых пород на гидроотвале Березовый лог в возрасте 42-43 лет.

Таблица 2

Показатели сохранности и роста кустарниковых пород на двухкомпонентных техноземах

Table 2

Indicators of preservation and growth of perennial shrubs on two-component techno-soil

Кустарниковая порода Perennial shrubs	Возраст, лет Age, years	Сохранность, % Preservation, %	Средняя высота, м Average height, m	Средний прирост по высоте, см Average increase in height, cm
Караганадревовидная <i>Caragana arborescens</i> Lam.	42	30,0	3,30±0,02	7,86±0,30
Бузина красная <i>Sambucus racemosa</i> L.	43	15,5	3,50±0,01	8,14±0,29
Жимолость татарская <i>Lonicera tatarica</i> L.	43	24,0	2,80±0,02	6,51±0,32
Облепиха крушиновая <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	43	50,5	5,10±0,01	11,86±0,77
Смородина золотая <i>Ribes aureum</i> Pursh.	42	9,7	1,8±0,01	5,01±0,24

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Защитные насаждения из кустарниковых пород на гидроотвале характеризуются различными показателями сохранности. В первые годы после посадки был отмечен незначительный отпад, а сохранность достигала своих максимальных значений 71-95 %. К возрасту 42-43 лет сохранность стала резко снижаться у смородины, бузины и жимолости. Ее показатель у жимолости составляет 24,0 %, у бузины – 15,5 %, а смородина почти полностью выпала (сохранность – 9,7 %). Снижение сохранности связано не только с гидротермическими условиями, но и с возрастом. Известно, что средняя продолжительность жизни, например, смородины

золотой, даже на зональных почвах, составляет 20 лет. Наибольшей сохранностью, равной 50,5 %, характеризуется облепиха крушиновая, обладающая высокой корнеотпрысковой способностью. На протяжении 43 лет, среди всех испытанных кустарниковых пород, она характеризуется самыми высокими показателями сохранности и роста. К аналогичным выводам приходят Хамарова З.Х. и Алиев И.Н. в техногенных ландшафтах Кабардино-Балкарской республики лучшие показатели среди кустарников отмечены у облепихи крушиновой [16].

Природопользование

При выборе кустарниковых пород для лесной рекультивации, так же, как и древесных, необходимо учитывать их биологическую продуктивность, которая увеличивает концентрацию в субстратах питательных элементов и улучшает их физические свойства. Биологическую продуктивность насаждений можно определить по массе надземной и подземной частей средних модельных растений, которая приводится в табл. 3. Данные, приведенные в таблице, получены в результате собственных исследований.

Анализ приведенных данных показывает, что кустарники по количеству фитомассы отличаются друг от друга. Большой фитомассой обладают облепиха крушиновая (2368 г) и смородина золотая (963 г). С возрастом она будет только увеличиваться. Карагана, бузина и жимолость уступают им. Из таблицы видно, что основную часть фитомассы надземной части дает ствол (если он есть) и ветви. Корневые системы по отношению к общей фитомассе составляют 30-36 %. Они в основном концентрируются в верхнем плодородном слое технозе-

мов. Менее устойчивой по соотношению надземной и подземной частей является смородина золотая.

В техногенных ландшафтах велико значение зелёных ассимилирующих органов растений. Так, кроны защищают верхний слой субстратов от размывания интенсивными атмосферными осадками. Формирующаяся подстилка не только защищает субстрат от эрозии и дефляции, но также способствует накоплению в нем зольных элементов. Чем больше масса зеленых органов, тем быстрее будет идти почвообразовательный процесс. Среди изучаемых кустарников наибольшее мелиорирующее значение имеют облепиха, которая характеризуется самой большой массой листвы (396 г) и карагана (143 г). Полученные данные позволяют рассчитать общий запас фитомассы облепихи и караганы в насаждениях (рис. 1).

Максимальной продуктивностью характеризуется насаждение облепихи. Общий запас фитомассы в нем в два раза превышает запас фитомассы в насаждении караганы.

Таблица 3

Фитомасса 9-летних модельных кустарников на двухкомпонентных техноземах, г

Table 3

Biomass of 9-year-old model shrubs on two-component technosol, g

Компоненты фитомассы (ввоздушно-сухом состоянии) Biomass components (in air-dry state)	Кустарниковые породы Perennial shrubs				
	Облепиха крушиновая <i>Hippophae rhamnoides</i>	Карагана древовидная <i>Caragana arborescens</i>	Бузина красная <i>Sambucus racemosa</i>	Жимолость татарская <i>Lonicera tatarica</i>	Смородина золотая <i>Ribes aureum</i>
Листья Leaves	396	143	106	106	119
Ветви Branches	374	249	226	330	555
Ствол Trunk	880	-	-	-	-
Итого надземная фитомасса Aboveground biomass	1650	392	332	436	674
Корни мелкие Roots small	127	47	7	12	8
Корни крупные Roots big	791	127	147	234	281
Итого подземная фитомасса Underground biomass	918	174	154	246	289
Общая фитомасса Total biomass	2568	566	486	682	963

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

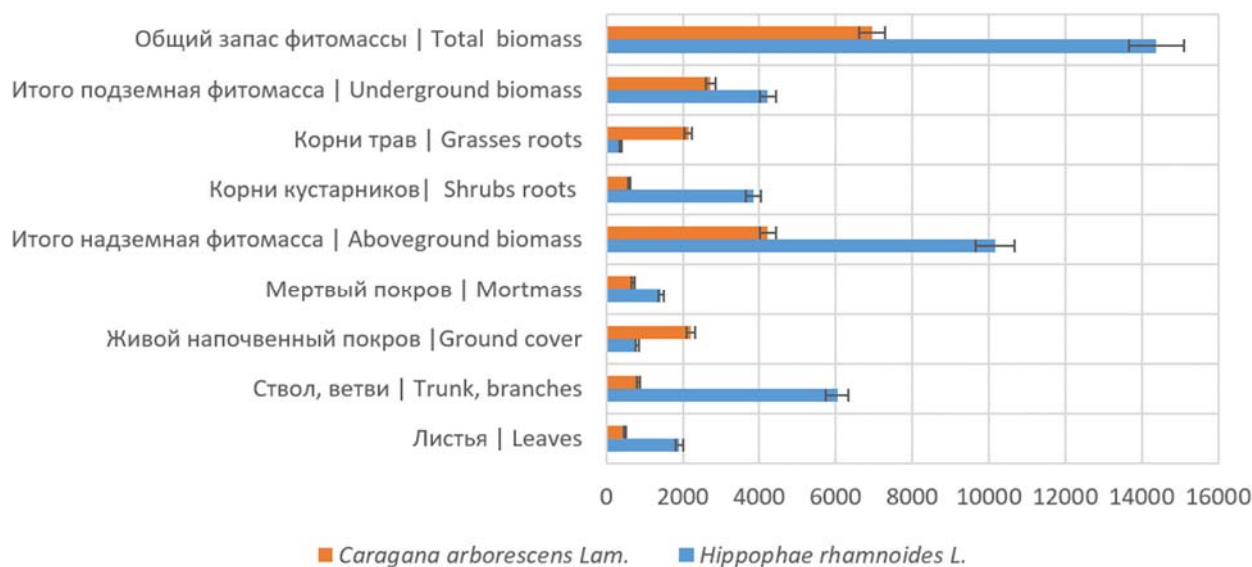


Рис. 1. Общий запас фитомассы в 9-летних насаждениях кустарника на двухкомпонентных техноземах, кгга⁻¹

Figure 1. Biomass reserves in 9-year-old shrub plantationson two-component technosol, kg ha⁻¹

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Наблюдаемые различия между средними значениями в общем запасе фитомассы статистически значимы ($p < 0,05$). Ствол и ветви активно участвуют в обогащении субстратов растительными остатками. С корнеопадом в субстрат поступает в 1,5-2,4 раза меньше органических остатков, но они поступают сразу внутрь субстрата, пополняя запасы в нем минеральных элементов. Доля, приходящаяся на живой напочвенный покров, в насаждении облепихи невелика. Зато в насаждении караганы она в 2,7 раза больше за счет более богатого травянистого покрова под пологом, где больше тепла, света по сравнению с облепиховым насаждением. Травянистые растения является конкурентом для древесных и кустарниковых пород, поэтому их целесообразно вытеснять с помощью бобовых трав, посеянных в междурядьях лесных культур.

На рис. 2 представлен химический состав листьев и мелких корней кустарников. Эти фракции биомассы принимают активное участие в накоплении веществ как на нарушенных, так и на зональных землях. Анализ данных, приведенных на рис. 2, показывает, что наиболее богата минеральными элементами карагана древовидная. Зольный состав кустарников характеризуется разным содер-

жанием минеральных элементов. Так, азотфиксирующие кустарники отличаются максимальным содержанием азота, которое составляет 3,21 и 4,06 % для облепихи и караганы, соответственно. Далее по процентному содержанию идет кальций. Статистически значимые различия средних концентраций химических элементов зафиксированы только для азота, кальция, магния и кремния. По сравнению с кустарниковыми породами травы междурядий отличаются более высокими значениями по калию и кремнию, которые составляют 1,17 % и 0,73 %, соответственно. Но при этом травянистая растительность имеет крайне низкие показатели по зольности и азоту – 0,86 % (данные по травянистой растительности взяты из материалов докторской диссертации Трещевской Э.И., 2013 г).

Исследования показали, что кустарники на гидроотвале накапливают в фитомассе неодинаковое количество химических элементов, которое напрямую зависит от ее общего запаса. В таблице 6 приводится элементный состав разных частей растений в насаждениях облепихи крушиновой и караганы древовидной как пород, обладающих самой большой массой зеленых ассимилирующих органов.

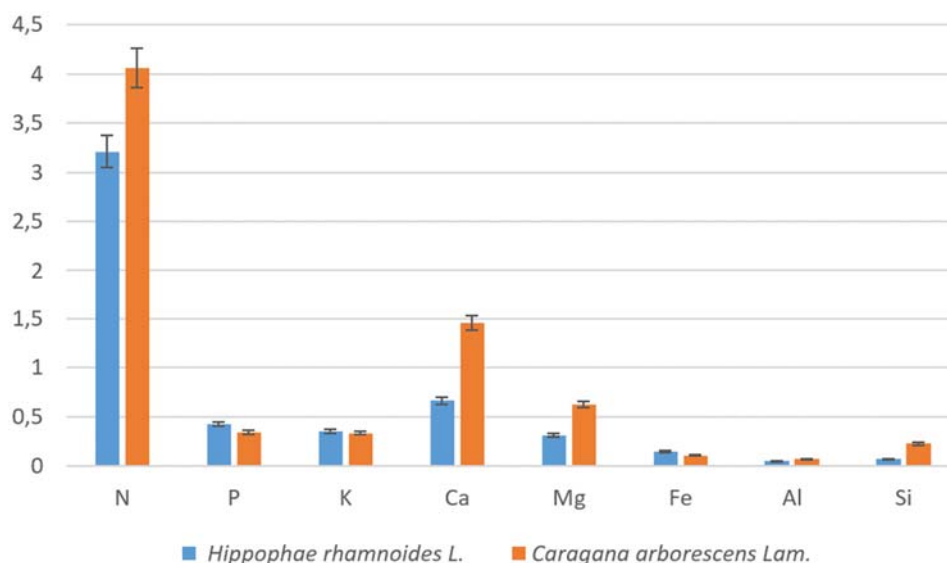


Рис. 2. Химический состав листьев и мелких корней кустарниковых породна двухкомпонентных техноземах, % на сухое вещество

Figure 2. The content of chemical elements in the leaves and small roots of perennial shrubs on two-component technosol, % on dry matter

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Таблица 6

Накопление химических элементов в фитомассе 9-летних насаждений кустарниковых пород, кг га⁻¹

Table 6

Accumulation of chemical elements in 9-year-old shrub plantations, kg ha⁻¹

Компоненты фитомассы Biomass components	Химические элементы Chemical elements								Сумма Sum
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Si	
Облепиха крушиновая <i>Hippophae rhamnoides L.</i>									
Листья Leaves	77,28	12,24	11,10	28,50	15,88	2,48	0,96	1,72	150,16
Ветви Branches	13,42	3,53	3,70	3,01	1,38	0,77	0,17	0,52	26,50
Ствол Trunk	37,30	10,88	5,70	7,77	4,66	4,14	0,52	2,59	73,56
Итого надземная фитомасса, Aboveground biomass	128,0	26,65	20,50	39,28	21,92	7,39	1,65	4,83	250,22
Корни мелкие Roots small	52,29	2,15	1,72	6,19	2,02	2,39	1,04	0,49	68,29
Корни крупные Roots big	38,90	5,19	4,54	9,07	4,21	1,30	0,65	1,94	65,80
Итого подземная фитомасса Underground biomass	91,19	7,34	6,26	15,26	6,23	3,69	1,69	2,43	134,09
Всего Total	219,19	33,99	26,76	54,54	28,15	11,08	3,34	7,26	384,31
Карагана древовидная <i>Caragana arborescens Lam.</i>									
Листья Leaves	29,97	1,83	2,00	19,71	5,13	0,48	0,33	0,59	60,04
Ветви Branches	15,12	2,36	1,42	5,39	1,33	0,74	0,37	0,94	27,64
Итого надземная фитомасса, Aboveground biomass	45,09	4,19	3,42	25,10	6,46	1,22	0,70	1,53	87,68
Корни мелкие Roots small	10,15	0,63	0,81	1,88	0,57	0,34	0,21	0,79	15,38

Природопользование

Компоненты фитомассы Biomass components	Химические элементы Chemical elements								Сумма Sum
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Si	
Клубеньки Root nodules	14,42	0,25	0,27	0,80	0,52	0,21	0,19	0,65	17,31
Корни крупные Roots big	16,56	1,92	1,64	2,74	0,63	0,34	0,24	1,35	25,42
Итого подземная фитомасса Underground biomass	41,13	2,80	2,72	5,42	1,72	0,89	0,64	2,79	58,11
Всего Total	86,22	6,99	6,14	30,52	8,18	2,11	1,34	4,32	145,79

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: ownexperimentaldata

Обращает внимание тот факт, что особенно велики запасы азота и кальция. В насаждении облепихи они равны 219,19 и 54,54 кг/га соответственно, в насаждении караганы они значительно меньше – 86,22 и 30,52 кг/га. Содержание кальция и калия для изучаемых кустарниковых пород сопоставимо с разнотравьем (30,5 и 27,4 кг/га, соответственно). Известно, что аккумуляция, таких важных химических элементов, как азот, кальций, калий и фосфор происходит в многолетних частях растений – ветвях и стволе.

Если посмотреть на распределение химических элементов по фракциям биомассы в 9-летних насаждениях караганы древовидной и облепихи крушиновой, обращает внимание, на себя тот факт, что более 35 % от общего запаса биомассы приходится на листья. Значительная часть химических элементов приходится именно на ассимиляционный аппарат кустарниковых пород. Подземная часть биомассы исследуемых кустарников содержит в себе более половины запасов азота от общей биомассы. Важную роль при этом играет фракция мелких корней, четверть которой ежегодно отмирает, обогащая, тем самым, техногенные субстраты азотом. Дмитракова А.Я. и Абакумов Е.В. также полагают, что происхождение общего азота и общего углерода в техноземах носит преимущественно органогенный биогенный характер [4].

Более чем 40-летний мониторинг за ростом и развитием кустарниковых пород, используемых для создания защитных насаждений в условиях отвалов железорудных месторождений, позволяет также сделать ряд рекомендаций. Исследуемые кустарниковые породы, характеризуясь засухоустойчивостью и нетребовательностью к плодородию почв (субстратов), пригодны для биологической рекультивации техногенно нарушенных земель. Тем не менее, применение кустарниковых пород без предварительного улучшения лесорастительных условий не эффективно.

В связи с недолговечностью кустарниковых пород не следует создавать из них чистые насаждения, исключение составляет облепиха, учитывая её высокую корнеотпрысковую способность.

Целесообразно использовать кустарники для создания предварительных почвоулучшающих насаждений на первом этапе рекультивации с последующим введением более ценных древесных пород или вводить их в сложные по составу насаждения в количестве не более 50 %.

Целесообразно использовать кустарники для создания предварительных почвоулучшающих насаждений на первом этапе рекультивации с последующим введением более ценных древесных пород или вводить их в сложные по составу насаждения в количестве не более 50 %.

Выводы

1. Смородина золотая на четвертичных суглинках и мело-мергельных смесях полностью погибает к 15 годам, на песчано-меловых смесях – к 20 годам. Без применения приемов по улучшению лесорастительных условий инициальных субстратов дальнейшие испытания кустарников не проводились.

2. С целью улучшения лесорастительных условий был нанесен гумусовый рекультивационный слой. На сформированных двухкомпонентных техноземах возможно выращивание кустарниковых пород: облепихи крушиновой, караганы древовидной, бузины красной, смородины золотой, жимолости татарской.

3. На двухкомпонентных техноземах среди всех испытанных кустарников лучше зарекомендовала себя облепиха крушиновая. Насаждение обле-

пихи в 43 года имеет самую высокую сохранность (50,5 %) и высоту (5,10 м).

3. Сравнительный анализ биопродуктивности двух наиболее перспективных кустарниковых пород в 9-летнем возрасте, показал, что максимальный запас фитомассы характерен для насаждений облепихи крушиновой и составляет 143,9 ц/га.

5. Среди проанализированных химических элементов в фитомассе облепихи и караганы преобладают азот и кальций. В насаждении облепихи они достигают максимальных значений и составляют 219,19 и 54,54 кг/га соответственно.

Список литературы

1. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. Институт географии РАН. Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука". 1993:293. ISBN 5-02-003731-1. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27226558>

2. Бачурина А. В., Залесов С.В., Толкач О.В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства. Экология и промышленность России. 2020; 6: 67-71. DOI <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>

3. Голеусов П. В. Новообразованные почвы отвала рыхлой вскрыши ОАО "Лебединский ГОК". Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: Материалы VII Международной научной конференции (памяти проф. Петина А.Н.), Белгород, 24-26 октября 2017 года. – Белгород: Издательство «ПОЛИТЕРРА». 2017: 122-125. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32353429>

4. Дмитракова Я. А., Абакумов Е.В. Восстановление почвенно-растительного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов. Почвоведение. 2018; 5:630-640. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050118>

5. Капелькина Л. П., Качубей А.А. Освоение недр Сибири и рекультивация нарушенных земель. Почвы в биосфере: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 10 – 14 сентября 2018 г. Новосибирск: Национальный исследовательский Томский государственный университет. 2018: 321-325. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35522909>

6. Киштанов Б. В. Использование смородины золотой в защитном лесоразведении на территории Республики Калмыкия. Научно-агрономический журнал. 2022; 1(116):5-10. DOI <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.116.1.001>

7. Костина Е.Э., Ахметова Г.В., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Крышень А.М. Формирование растительного покрова при лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в Республике Карелия. Растительные ресурсы. 2022; 3:290-310. DOI <https://doi.org/10.31857/S0033994622030074>

8. Лиханова И. А., Ковалева В.А. Одновременный посев луговых злаков и посадка древесных растений в ходе лесной рекультивации нарушенных земель в северной тайге Республики Коми. Лесоведение. 2018; 6: 444-453. DOI <https://doi.org/10.1134/S0024114818060050>

9. Малинина Т.А., Голядкина И.В., Тихонова Е.Н., Деденко Т.П. Оценка водно-физических свойств техногенных субстратов при биологической рекультивации отвалов КМА. Лесотехнический журнал. 2022; 1(45):44-55. DOI <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/4>

10. Пигорев И. Я., Лежнина А.В. Влагозапасы в породах техногенного ландшафта. Проблемы экологизации сельского хозяйства и пути их решения: материалы национальной научно-практической конференции, Брянск, 09 ноября 2017 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2017:23-25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30530373>.

11. Прутской А. В. Особенности строения корневых систем сосны обыкновенной и дуба черешчатого в хвойно-широколиственных насаждениях на супесчаной подзолистой почве. Успехи современного естествознания. 2017; 7:47-53. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29771754>
12. Стифеев А.И., Никитина О.В., Нагорная О.В. Основные направления преобразования техноземов в культурные ландшафты. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019; 3:28-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38249929>
13. Трещевская Э.И., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Трещевская С.В., Князев В.И. Карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) как кустарниковая порода при биологической рекультивации техногенных ландшафтов. Лесотехнический журнал. 2021; 3 (43):31-44. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/3>
14. Трещевская Э. И., Тихонова Е.Н., Малинина Т.А., Голядкина И.В. Использование облепихи крушиновой (*Hippophae rhamnoides* L.) для лесной рекультивации техногенных ландшафтов. Лесотехнический журнал. 2018; 3 (31): 108-115 DOI: https://doi.org/10.12737/article_5b97a167eee7e8.90796737
15. Уфимцев В. И., Андроханов В.А. Особенности накопления фитомассы в лесных насаждениях на отвалах Листвянского угольного разреза. Научные известия. 2022; 29:152-157. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49455138>
16. Хамарова З. Х., Алиев И.Н. Основные направления биологической рекультивации техногенных ландшафтов в Кабардино-Балкарии. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016; 5(139): 67-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26177982>
17. Якимов Н. Освоение лесными культурами нарушенных земель республики. Земля Беларуси. 2017;1: 39-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44311897>
18. Festin E.S., Tigabu M., Chileshe M.N. et al. Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. J. For. Res. 2019;30:381-396 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>
19. Pietrzykowski M. Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences. Ecological Engineering. 2019;3:100012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100012>
20. Li X., Lei S., Cheng W. et al. Spatio-temporal dynamics of vegetation in Jungar Banner of China during 2000–2017. J. Arid Land 2019;11:837-854. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0067-9>
21. Liu S., Liu L., Li J., Zhou Q., Ji Y., Lai W., Long C. Spatiotemporal Variability of Human Disturbance Impacts on Ecosystem Services in Mining Areas. Sustainability 2022;14:7547. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137547>
22. Macdonald S, Landhausser S., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D., Quide S. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. New Forests. 2015:703-732. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>
23. McMahan K, Simard S, Grayston S, Anglin L, Lavkulich L. Small-volume additions of forest topsoil improve root symbiont colonization and seedling growth in mine reclamation. Applied Soil Ecology. 2022 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104622>
24. Sarah N. Brown, Rebecca M. Swab. To Establish a Healthy Forest: Restoration of the Forest Herb Layer on a Reclaimed Mine Site," The American Midland Naturalist 2021;186(1):35-50. DOI: <https://doi.org/10.1674/0003-0031-186.1.35>
25. Soriaa R., Rodríguez-Berbela N., Ortega R., Lucas-Borjab M.E., Mirallesa I. Soil amendments from recycled waste differently affect CO₂ soil emissions in restored mining soils under semiarid conditions Journal of Environmental Management. 2021; 294:112894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112894>
26. Wu Z., Li H., Wang Y. Mapping annual land disturbance and reclamation in rare-earth mining disturbance region using temporal trajectory segmentation. Environ Sci Pollut Res 2021; 28:69112-69128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15480-3>

27. Yang W., Mu Y., Zhang W., Wang W., Liu J., Peng J., Liu X., He T. Assessment of Ecological Cumulative Effect due to Mining Disturbance Using Google Earth Engine. *Remote Sens.* 2022;14:4381. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14174381>

28. Wang Z., Lechner A.M., Yang Y., Baumgartl T., Wu J. Mapping the cumulative impacts of long-term mining disturbance and progressive rehabilitation on ecosystem services. *The Science of the total environment.* 2020;717:137214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137214>

References

1. Bazilevich N. I. *Biologicheskaya produktivnost' ekosistem Severnoj Evrazii.* [Biological productivity of ecosystems of Northern Eurasia.]. Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences. Academic scientific-publishing, production-printing and book publishing center of the Russian Academy of Sciences "Publishing "Science". 1993:293. ISBN 5-02-003731-1. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27226558>

2. Bachurina A. V., Zalesov S.V., Tolkach O.V. Effektivnost' lesnoj rekul'tivacii narushennyh zemel' v zone vliyaniya medeplavil'nogo proizvodstva [Efficiency of forest recultivation of disturbed land in the zone of influence of copper smelting]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2020; 6: 67-71. (In Russ.). DOI <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>

3. Goleusov P. V. Novoobrazovannye pochvy otvala ryhloj vskryshi OAO "Lebedinskij GOK". [Newly formed soils left loose in open pit of "Lebedinsky GOK"]. *Problemy prirodnopol'zovaniya i ekologicheskaya situaciya v Evropejskoj Rossii i na sopredel'nyh terri-toriyah: Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (pamyati prof. Petina A.N.), Belgorod, 24-26 oktyabrya 2017 goda.* – Belgorod: Izdatel'stvo «POLITERRA». 2017: 122-125. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32353429>

4. Dmitrakova YA. A., Abakumov E.V. Vosstanovlenie pochvenno-rastitel'nogo pokrova na uchastkah rekul'tivacii Kingiseppskogo mestorozhdeniya fosforitov. [Restoration of land cover at the Kingiseppsky phosphate recovery sites]. *Pochvovedenie = Eur. Soil Sc.* 2018; 5:630-640. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050118>

5. Kapel'kina L. P., Kachubej A.A. Osvoenie neдр Sibiri i rekul'tivaciya narushennyh zemel'. [Development of the Siberian Interior and Restoration of Disturbed Lands]. *Pochvy v bio-sfere: Sbornik materialov Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchen-noj 50-letiyu Instituta pochvovedeniya i agrohimii SO RAN, Novosibirsk, 10 – 14 sentyabrya 2018 g.* Novo-sibirsk: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij gosudarstvennyj universitet. 2018: 321-325. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35522909>

6. Kishtanov B. V. Ispol'zovanie smorodiny zolotoj v zashchitnom lesorazvedenii na territorii Respubliki Kalmykiya. [Use of golden currant in protective forestry in the territory of the Republic of Kalmykia]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal.* 2022; 1(116):5-10. (In Russ.). DOI <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.116.1.001>

7. Kostina E.E., Ahmetova G.V., Pekkoev A.N., Haritonov V.A., Kryshen' A.M. Formirovanie rastitel'nogo pokrova pri lesnoj rekul'tivacii peschano-gravijnogo kar'era v Respublike Kareliya. [Formation of vegetation under forest recultivation of sand and gravel quarry in the Republic of Karelia]. *Rastitel'nye resursy.* 2022; 3:290-310. (In Russ.). DOI <https://doi.org/10.31857/S0033994622030074>

8. Lihanova I. A., Kovaleva V.A. Odnovremennyy posev lugovyh zlakov i posadka drevesnyh rastenij v hode lesnoj rekul'tivacii narushennyh zemel' v severnoj tajge Respubliki Komi. [Simultaneous sowing of grasses and planting of woody plants during forest recultivation of disturbed lands in the northern taiga of the Komi Republic]. *Lesovedenie.* 2018; 6: 444-453. (In Russ.). DOI <https://doi.org/10.1134/S0024114818060050>

9. Malinina T.A., Golyadkina I.V., Tihonova E.N., Dedenko T.P. Ocenka vodno-fizicheskikh svojstv tekhnogennyh substratov pri biologicheskoy rekul'tivacii otvalov KMA. [Assessment of water-physical properties of technogenic substrates during biological recovery of KMA dumps]. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal.* 2022; 1(45):44-55. (In Russ.). DOI <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/4>

10. Pigorev I. YA., Lezhnina A.V. Vlagozapasy v porodah tekhnogennogo landshafta. [Water reserves in the rocks of technogenic landscape]. *Problemy ekologizacii sel'skogo hozyajstva i puti ih resheniya: materialy nacional'noj*

nauchno-prakticheskoy konferencii, Bryansk, 09 noyabrya 2017 goda. – Bryansk: Bryanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. 2017:23-25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30530373>

11. Prutskoj A. V. Osobennosti stroeniya kornevyh sistem sosny obyknovnoy i duba chereschatogo v hvojno-shirokolistvennyh nasazhdeniyah na supeschanoy podzolistoj pochve. [The structure of the roots systems of scots pine and pedunculate oak in coniferous-broad-leaved stands on the podzolic soil.] Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017; 7:47-53. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29771754>

12. Stifeev A.I., Nikitina O.V., Nagornaya O.V. Osnovnye napravleniya preobrazovaniya tekhnosimov v kul'tur-nye landshafty. [Main directions for the transformation of technosomes into cultural landscapes]. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019; 3:28-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38249929>

13. Treshchevskaya E.I., Tihonova E.N., Golyadkina I.V., Treshchevskaya S.V., Knyazev V.I. Karagana drevo-vidnaya (*Caragana arborescens* Lam.) kak kustarnikovaya poroda pri biologicheskoy rekul'tivacii tekhnogennyh landshaftov. [*Caragana arborescens* Lam. as a shrub species at biological reclamation of technogenic landscapes]. Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal. 2021; 3 (43):31-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/3>

14. Treshchevskaya E. I., Tihonova E.N., Malinina T.A., Golyadkina I.V. Ispol'zovanie oblepihi krushinovoj (*Hippophae rhamnoides* L.) dlya lesnoj rekul'tivacii tekhnogennyh landshaftov. [The use of *Hippophae rhamnoides* L. for forest reclamation of technogenic landscapes]. Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal. 2018;3 (31): 108-115 (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5b97a167eee7e8.90796737

15. Ufimcev V. I., Androhanov V.A. Osobennosti nakopleniya fitomassy v lesnyh nasazhdeniyah na otvalah Listvyanskogo ugol'nogo razreza. [Peculiarities of phytomass accumulation in forest plantations on the tailings of Listvyanskogo coal section]. Nauchnye izvestiya 2022; 29:152-157. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49455138>

16. Hamarova Z. H., Aliev I.N. Osnovnye napravleniya biologicheskoy rekul'tivacii tekhnogennyh landshaftov v Kabardino-Balkarii. [Main directions of biological reclamation of man-made landscapes in Kabardino-Balkaria]. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; 5(139): 67-7. (In Russ.). URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26177982>

17. YAkimov N. Osvoenie lesnymi kul'turami narushennyh zemel' respublik. [Development of disturbed lands by forest crops.]. Zemlya Belarusi. 2017;1: 39-41. (In Russ.). URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44311897>

18. Festin E.S., Tigabu M., Chileshe M.N. et al. Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. J. For. Res. 2019;30:381-396 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>

19. Pietrzykowski M. Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences. Ecological Engineering. 2019;3:100012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100012>

20. Li X., Lei S., Cheng W. et al. Spatio-temporal dynamics of vegetation in Jungar Banner of China during 2000–2017. J. Arid Land 2019;11:837-854. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0067-9>

21. Liu S., Liu L., Li J., Zhou Q., Ji Y., Lai W., Long C. Spatiotemporal Variability of Human Disturbance Impacts on Ecosystem Services in Mining Areas. Sustainability 2022;14:7547. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137547>

22. Macdonald S, Landhauer S., Skousen J., Franklin J., Frouz J., Hall S., Jacobs D., Quide S. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. New Forests. 2015:703-732. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>

23. McMahan K, Simard S, Grayston S, Anglin L, Lavkulich L. Small-volume additions of forest topsoil improve root symbiont colonization and seedling growth in mine reclamation. Applied Soil Ecology. 2022 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104622>

24. Sarah N. Brown, Rebecca M. Swab. To Establish a Healthy Forest: Restoration of the Forest Herb Layer on a Reclaimed Mine Site," *The American Midland Naturalist* 2021;186(1):35-50. DOI: <https://doi.org/10.1674/0003-0031-186.1.35>

25. Soriaa R., Rodríguez-Berbela N., Ortega R., Lucas-Borjab M.E., Mirallesa I. Soil amendments from recycled waste differently affect CO₂ soil emissions in restored mining soils under semiarid conditions *Journal of Environmental Management*. 2021; 294: 112894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112894>

26. Wu Z., Li H., Wang Y. Mapping annual land disturbance and reclamation in rare-earth mining disturbance region using temporal trajectory segmentation. *Environ Sci Pollut Res* 2021;28:69112-69128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15480-3>

27. Yang W., Mu Y., Zhang W., Wang W., Liu J., Peng J., Liu X., He T. Assessment of Ecological Cumulative Effect due to Mining Disturbance Using Google Earth Engine. *Remote Sens.* 2022;14:4381. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14174381>

28. Wang Z., Lechner A.M., Yang Y., Baumgartl T., Wu J. Mapping the cumulative impacts of long-term mining disturbance and progressive rehabilitation on ecosystem services. *The Science of the total environment*. 2020;717: 137214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137214>

Сведения об авторах

Трещевская Элла Игоревна – доктор с.-х. наук, проф. кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5967-3336>, e-mail: ehl1t@yandex.ru

Тихонова Елена Николаевна – канд. биол. наук, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru

✉ *Голядкина Инна Вячеславовна* – канд. с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: golyadkina@vgtu.ru

Трещевская Светлана Викторовна – канд. с.-х. наук, преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2363-8512>, e-mail: streshchevskaya@mail.ru

Лабоха Константин Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, Минск, Республика Белоруссия, 220006, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7094-5582>, e-mail: labokha@belstu.by

Князев Владислав Игоревич – аспирант кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4714-950X>, e-mail: knyazz599@gmail.com

Information about the authors

Ella I. Treschevskaya – Dr. Sci (Agric.), Professor, Silviculture, Selection and Forest melioration Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1454-4095>, e-mail: ehl1t@yandex.ru

Природопользование

Elena N. Tikhonova – Cand. Sci (Biol.), Head of Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru

✉ *Inna V. Golyadkina* – Cand. Sci (Agric), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: golyadkina@vgtu.ru

Svetlana V. Treshevskaya – Cand. Sci (Agric), Teacher, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2363-8512>, e-mail: streshchevskaya@mail.ru

Konstantin V. Laboha – Cand. Sci (Agric), Associate Professor, Forest Science Department, Belarusian State Technological University, Sverdlova str., 13a, Minsk, Belarusia, 220006, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7094-5582>, e-mail: labokha@belstu.by

Vladislav I. Knyazev – Post-graduate student, Silviculture, Selection and Forest melioration Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4714-950X>, e-mail: knyazzz599@gmail.com

✉- Для контактов/Corresponding author