

Научная статья

УДК 630\*232 : 630\*174.755 : 504.61

doi:10.34655/bgsha.2022.69.4.018

## СОСТОЯНИЕ И РОСТ 20-ЛЕТНИХ КУЛЬТУР ЕЛИ В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДНЕУРАЛЬСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА

Геннадий Григорьевич Терехов<sup>1</sup>, Елена Михайловна Андреева<sup>2</sup>,  
Светлана Карленовна Стеценко<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия,

Автор, ответственный за переписку: Геннадий Григорьевич Терехов,  
terekhov\_g\_g@mail.ru

**Аннотация.** Цель исследований – изучить устойчивость искусственных насаждений основных лесобразующих пород в зоне активного воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ). С использованием общепринятых методик в лесоведении изучены производственные 20-летние культуры ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в непосредственной близости от СУМЗ. Кроме ели на участке посажены сосна, кедр и береза. Для сравнения проведены исследования вне зоны загрязнения (контроль) в одно-возрастных культурах ели сибирской на секции без рубок ухода. Оба участка заложены в верхней трети макросклонов западной экспозиции на вырубках в типе леса ельник-сосняк ягодниковый. Материалы исследования показали, что в зоне техногенного воздействия отпад культур сосны, кедра и березы значителен (более 90 % от исходной густоты). Сохранность ели сибирской в конце первого класса возраста – 52 %, сухих деревьев очень мало, текущая густота деревьев довольно высокая (6,9 тыс. шт./га). Межвидовая конкуренция отсутствует, но внутривидовая, особенно в рядах, очень сильно выражена. Влияние выбросов СУМЗ негативно отразилось, прежде всего, на морфометрических показателях ели в культурах: средняя высота деревьев, диаметр ствола, протяженность живой кроны по стволу и ее проекция были значительно меньше, чем в контроле. Периодические 5-летние приросты центрального побега ели, по сравнению с контролем, начиная с первых лет после посадки, имели наименьший прирост, а к 20-летнему возрасту культур различие достигло почти 2-кратной величины. Максимальный возраст хвои на стволе в загрязненных условиях – 3 года, на ветвях – до 6 лет, в контроле, соответственно – по 8 лет. Сделано заключение о возможности использования ели сибирской для посадки на территории, прилегающей к источнику загрязнения.

**Ключевые слова:** техногенное загрязнение, культуры ели, приживаемость, состояние, рост.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН. (№ АААА-А17-117072810009-8)

## STATE AND GROWTH OF 20-YEAR-OLD SPRUCE CULTURES IN THE ZONE OF ACTIVE IMPACT OF THE SREDNEURALSKY COPPER SMELTER

Gennadii G. Terekhov<sup>1</sup>, Elena M. Andreeva<sup>2</sup>, Svetlana K. Stetsenko<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Botanical Garden, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Corresponding author: G.G. Terekhov, terekhov\_g\_g@mail.ru

**Abstract.** *The purpose of the research is to study the vitality of artificial stands of the main forest-forming species in the zone of the Sredneuralsky copper smelter activity. The 20-year-old Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) production cultures in the area of the Sredneuralsky copper smelter (SUMZ) were studied. Besides the spruce, on the site pine, cedar and birch are planted. The total area of the plot is 1.5 hectares. For comparison, studies of even-aged stands of Siberian spruce (without improvement cutting) were performed outside the polluted area (control). Both plots are located in the upper third of macroslopes of western exposure in clearings in the forest type of spruce-pine forest with berries. According to the obtained results, in the zone of technogenic impact, the mortality in pine, cedar and birch cultures is significant (more than 90% of the original density). The safety of Siberian spruce at the end of the first age class is 52%, the density of trees is quite high (6.9 thousand pieces/ha). There is no competition between species, but intraspecific competition is quite strong, especially in rows. Chemical emissions of the Sredneuralsky copper smelter had a negative impact on the growth rates of Siberian spruce: the average height of trees, trunk diameter, the length of the living crown along the trunk and its projection were significantly less than in the control. Periodic 5-year elongation of the central shoot of spruce, in comparison with the control, starting from the first years after planting, had the smallest increase. By the age of 20 years, the difference reached almost a 2-fold value. The maximum age of needles on the trunk in polluted conditions is 3 years, on the branches - up to 6 years, in the control 8 years, respectively.*

*It was concluded it is possible to use Siberian spruce for planting in the impact zone.*

**Keywords:** technogenic pollution, spruce cultures, survival ability, state, growth

**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of the State task of the Botanical Garden of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No AAAA-A17-117072810009-8).

**Введение.** Промышленная (антропогенная) деятельность, создающая концентрацию токсичных веществ в окружающей среде, негативно отражается на растительности, включая древесную. Длительное воздействие техногенных поллютантов на лесные экосистемы снижает их общую продуктивность [1, 2] и стабильность самовосстановительного потенциала, приводит к потере и часто гибели лесов, в результате продуцирующий почвенный покров земельных территорий становится загрязненным на длительный период и представляют экологическую угрозу окружающей среде (загрязнение воздуха при испарениях, а водоемов при стоках) [3].

Проблема экологии лесов широко стала обсуждаться со второй половины XX века, особенно в Уральском регионе, где

металлургия и смежные с ней отрасли на протяжении многих веков создают очаги сильного загрязнения окружающей среды. Ученые и практики лесоводы стали обращать большее внимание на необходимость борьбы с промышленным загрязнением земель лесного фонда, то есть проведение сельскохозяйственной и лесной рекультивации, основанной на применении биологических, как наиболее дешевых и экологически безопасных средств – травянистые растения, древесные и кустарниковые виды. При этом биологическая рекультивация компенсирует многие недостатки технической рекультивации и в большинстве случаев оказывает гораздо более оптимальное воздействие на природные процессы [4, 5].

В промышленных узлах Свердловской области, в том числе в Ревдинско-Перво-

уральском, длительное (более 80 лет) загрязнение поллютантами от нескольких предприятий создает угрозу острой экологической проблемы. Согласно Всемирной стратегии охраны природы, цивилизационные достижения не могут компенсировать губительного опустошения Земли, уничтожения растений и животных, ухудшения среды обитания человека [6]. По вопросам биологической рекультивации нарушенных земель на Урале проведены многократные региональные конференции с международным участием (Екатеринбург, 1996, 2002, 2007, 2012, 2017, 2022).

В соответствии с частью 4 статьи 61 Лесного кодекса Российской Федерации<sup>1</sup> вырубленные, погибшие, поврежденные леса подлежат воспроизводству. На основании этого Правительство Российской Федерации подготовило Проект Постановления<sup>2</sup> «Об утверждении особенностей рекультивации земель, на которых расположены леса ....».

Для сохранения средостабилизирующих функций лесной растительности в условиях техногенного загрязнения как воздушного бассейна, так и почвенного покрова лесохозяйственное производство в содружестве с учеными длительное время занимается биологической рекультивацией – созданием искусственных насаждений [7, 8, 9], поэтому необходимо обобщение этого опыта.

**Цель исследований** – изучить устойчивость искусственных насаждений основных лесобразующих пород в зоне активного воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ).

**Программа и методика исследования.** Исследования проведены на двух участках 20-летних культур ели сибирской в одном и том же типе леса – ельник-сосняк ягодниковый. Характеристика их приведена в таблице 1. Посадку лесных культур проводили согласно Проекту лесных культур, в зоне загрязнения ее густота была больше.

**Таблица 1** – Характеристика участков 20-летних культур ели сибирской

Характеристика	Производственный участок в зоне влияния СУМЗ	Опытно-производственный участок (контроль)
Расположение	Кв. 4 Ревдинского лесничества одноименного лесхоза (ныне Билимбаевское лесничество) с посадкой ели, сосны, кедра и березы	Кв. 55 Починковского лесничества Билимбаевского лесхоза (ныне Невьянское лесничество), посадка только ели.
Удаленность от источника выбросов	Менее 0,5 км	Более 25 км
Расположение участков в рельефе	Верхняя часть макросклонов западной экспозиции	
Посадочный материал	4-летние сеянцы из местного питомника	4-летние сеянцы из местного питомника
Размещение сеянцев	В ряду 0,4 м, между рядами – 1,9 м, исходная густота – 13,2 тыс. шт./га	В ряду 0,8 м, между рядами 2,9 м, исход. густ. – 4,3 тыс.шт./га
Площадь, га	1,5	4,9
Дополнение культур	Не проводили	Не проводили
Кратность агротехнического ухода	Не требовалось, рубки ухода отсутствовали	Дважды, рубки ухода отсутствовали
Изреживание ели в рядах	Отсутствует	Отсутствует

<sup>1</sup> Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 года. № 201-ФЗ. М., 2006. 112 с.

<sup>2</sup> Проект Постановления Правительства Российской Федерации от 21.11.2016 г. «Об утверждении особенностей рекультивации земель, на которых расположены леса и которые подверглись загрязнению и иному негативному воздействию, мер по сохранению лесных насаждений, лесных почв, среды обитания объектов животного мира, других природных объектов в лесах». Утвержден Председателем Правительства РФ Медведевым Д.А. 30 декабря 2016.

Культуры ели сибирской (*Picea obovata* Led.) в зоне загрязнения изучены методом временных пробных площадей<sup>3</sup>, которые закладывали после обследования всего участка в местах с максимальной сохранностью деревьев не менее чем в трех рядах подряд; вне зоны загрязнения – на секции без рубок ухода (контроль) опытно-производственного участка. Сохранность и состояние культур ели сибирской оценены на весь участок, а рост (морфометрические показатели) – на пробных площадях согласно методическим указаниям<sup>4</sup>. Полученные данные обработаны статистическими методами с использованием Т-критерия Стьюдента.

**Результаты исследований.** Работниками Ревдинского лесхоза в 70-90 гг. XX века неоднократно проводились посадки лесных культур в разных местах техногенно нарушенных земель СУМЗом, где в газообразных выбросах преобладает (более 90 %) сернистый ангидрит [6]. На посадке чаще использовали сосну обыкновенную и в меньших объемах ель сибирскую, сосну сибирскую кедровую (кедр сибирский), березу повислую. Результаты показали, что большинство участков культур основных лесообразующих пород, созданных в этих условиях, списаны как погибшие.

На обследованном нами производственном участке в зоне загрязнения созданы культуры сосны, ели, кедра и березы. Все лесообразующие породы были расположены полосами, каждая порода занимала подряд 2-4 ряда. Состав древостоя для всего участка 8Е1Б1С ед. К. Естественное возобновление деревьев и кустарников отсутствовало. Живой напочвенный покров представлен с преобладанием двудольных видов, проективное покрытие 0,3- 0,8. Эрозионных процессов почвы не обнаружено. На момент обследования на участке сохранились в рядах единичные живые деревья сосны

(около 90 шт./га), березы (60 шт./га) и кедра (чуть более 80 шт./га). При такой сохранности деревьев указанных пород шаг посадки определить невозможно. Состояние их ослабленное (приросты осевого побега имеют небольшие размеры, слабое охвоение ветвей, возраст хвои 1-3 года, у кедра и березы отмечена многоствольность).

Доля сохранившихся деревьев ели в 20-летних культурах при этом оказалась на уровне 52 % (6,9 тыс. шт./га), сухих деревьев высотой 0,7-2,0 м мало. Пропуски из-за отпада деревьев ели в рядах не превышали 1,5 -2,5 м. Наибольший отпад ели произошел в начальный период после посадки, на что повлияли, видимо, абиотические факторы: засуха или выживание при поздних весенних заморозках. Доля 2-ствольных деревьев составила 13 % от общего количества. Крона ели в течение всего дня полностью освещается, межвидовой конкуренции нет, но внутривидовая очень сильно выражена. Кроны деревьев ели в рядах сомкнулись и переплелись, образуя живую изгородь; в междурядьях свободное пространство между кронами ели сокращается.

Состав древостоя на контрольной секции (без рубок ухода) опытно-производственного участка – 3Е4Б1С2Ос ед. Е, где 3Е – культуры, 4Б1С2Ос ед. Е – естественный древостой. По междурядьям культур ели активно возобновились естественным путем деревья лесообразующих пород. Из подлесочных видов много рябины обыкновенной, а также ивы козьей. Текущая густота 20-летних культур ели сибирской – 2,3 тыс. шт./га (доля сохранившихся 53 % от исходной). Культуры ели испытывают как внутривидовые, так и межвидовые конкурентные отношения. Междурядья заполнены деревьями и кустарниками естественного происхождения, кроны их сомкнулись с кронами ели. Вершины многих деревьев сосны, березы и осины превышали культуры ели

<sup>3</sup> ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. 60 с.

<sup>4</sup> Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур (методическое пособие для лесоводов). Л., 1967. 50 с.

сибирской. Прирост верхушечной части стволов ели за последние три года стал заметно уменьшаться. Все деревья ели в культурах в ближайшие 2-3 года окажутся под пологом и будут испытывать еще большее угнетение. Необходима рубка естественного возобновления в междурядьях и изреживание деревьев ели в рядах.

Максимальный возраст хвои в загрязненных условиях на стволе – 3 года, на ветвях – 4-6 лет, вне зоны загрязнения, соответственно, по 8 лет. Генеративные органы (шишки) на обоих исследуемых объектах отсутствовали.

Таксационные показатели изученных культур ели сибирской на участках приведены в таблице 2, откуда видно, что основные морфометрические показатели деревьев ели – высота и диаметр ствола, среднегодовой прирост высоты ствола на контрольном участке были выше на достоверном уровне. Максимальная высота деревьев ели на контрольном участке от-

мечена 6,1 м, в зоне загрязнения – 4,2 м. Различие по проекции крон между участками отсутствовало. На контрольном участке крона ели оказалась несколько сжатой кронами естественных деревьев сосны, ели, ивы козьей, рябины обыкновенной.

Распределение деревьев ели сибирской в 20-летних культурах по ступеням высот (рис.1) свидетельствует о том, что в условиях загрязнения при полной освещенности кроны деревьев ели и отсутствии конкурентных отношений со стороны естественного возобновления преобладали деревья высотой 0,7-2,7 м, а на контрольной секции опытно-производственного участка – 3,7-5,7 м. В последнем случае, несмотря на длительное затенение кроны ели деревьями естественного возобновления, их высота была почти на 3 м больше, чем на открытом месте. Конечно, здесь следует учитывать эколого-биологические особенности ели – ее теневыносливость в молодом возрасте.

**Таблица 2** – Таксационная характеристика 20-летних культур ели сибирской

Морфометрические показатели	Контрольный участок	Участок в зоне загрязнения	T-критерий Стьюдента ( $t_{0,01}=2.62$ )
Средняя высота (интервал), м	4,0±0,24 (2,4-6,1)	2,3±0,07 (0,6-4,7)	$t_{факт.} = 6,8$ -
Средний диаметр ствола (интервал) мм, на высоте 0,1 м	68,1±4,22 (38-88)	38,1±1,19 (12-68)	$t_{факт.} = 6,842$ -
на высоте 1,3 м	52,8±3,78 (2,8-79)	24,2±1,07 (6-55)	$t_{факт.} = 7,280$ -
Проекция кроны (интервал), м: вдоль ряда	1,6±0,09 (1,2-2,0)	1,4±0,11 (1,0-1,8)	$t_{факт.} = 1,407^*$ -
поперек ряда	1,8±0,18 (1,4-3,2)	1,5±0,13 (1,1-1,9)	$t_{факт.} = 1,351^*$ -
Протяженность кроны (интервал), м	3,6±0,17 (2,2-5,7)	1,6±0,17 (2,2-4,0)	$t_{факт.} = 8,319$ -
Средний прирост высоты ствола, см	19,9±0,79	10,1±0,09	$t_{факт.} = 12,325$

**Примечание.** Данные представлены в виде среднего арифметического со стандартной ошибкой, в скобках указаны интервал между min.-max. значениями показателей;

\* – различия статистически недостоверны между контролем и участком в зоне загрязнения.

Периодические 5-летние приросты высоты ствола деревьев ели, приведенные на рисунке 2, наглядно показывают, что в условиях техногенного загрязнения, начиная с первых лет после посадки, де-

ревья ели имели наименьший прирост центрального побега. К 20-летнему возрасту культур ели различие периодических приростов достигает двукратной величины.

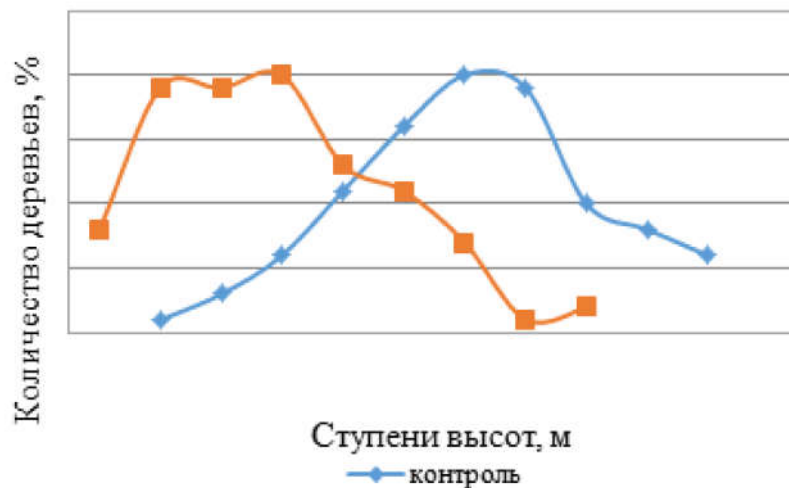


Рисунок 1. Распределение 20-летних культур ели по ступеням высот

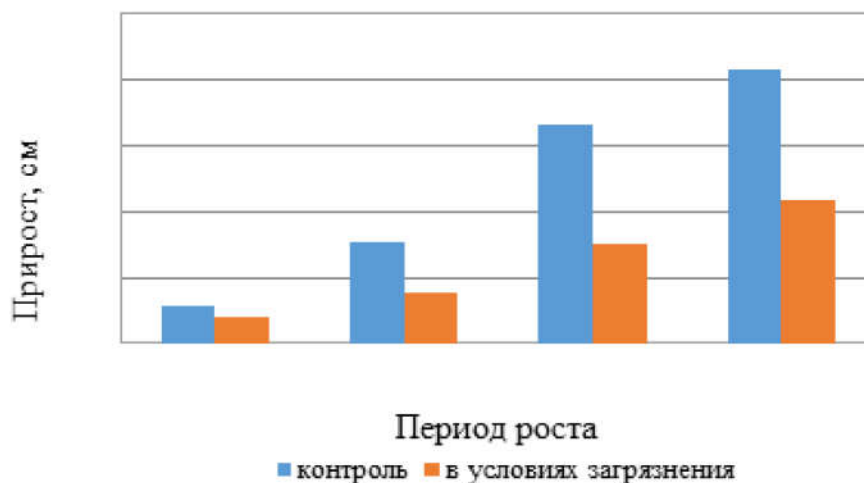


Рисунок 2. Динамика роста 20-летних культур ели по пятилетиям

На исследованных лесокультурных участках срочно необходимы следующие лесохозяйственные мероприятия: в зоне загрязнения – изреживание деревьев ели в рядах; на контрольной секции – интенсивная вырубка естественного возобновления в междурядьях и изреживание ели в рядах.

**Заключение.** Отпад культур сосны, кедра и березы в условиях техногенно нарушенных лесных земель составил более 90 % от исходной густоты. Текущая густота ели сибирской в конце первого класса возраста имеет высокие показатели – 6,9 тыс. шт./га, в результате чего сильно выражена внутривидовая конкуренция.

Влияние выбросов СУМЗа негативно отразилось на морфометрических показателях ели в культурах: средняя высота деревьев, диаметр ствола, протяжен-

ность живой кроны по стволу и ее проекция были значительно меньше, чем в контроле. Периодические 5-летние приросты центрального побега ели, начиная с первых лет после посадки, имели наименьший прирост по сравнению с контролем, а к 20-летнему возрасту культур различие достигло почти 2-кратной величины. Максимальный возраст хвои в загрязненных условиях на стволе деревьев ели – 3 года, на ветвях – до 6 лет, в контроле, соответственно, по 8 лет.

Проведенный анализ состояния насаждений искусственного происхождения основных лесобразующих пород в пределах первого класса возраста в зоне техногенного воздействия Среднеуральского медеплавильного завода доказывает перспективность, прежде всего, ели сибирской.

### Список источников

1. Прирост стволовой древесины сосны обыкновенной, ели сибирской и лиственницы сибирской в условиях промышленного загрязнения / Р.В. Уразгильдин, Г.Р. Полякова, К.З. Аминова, Р.Д. Галиахметов, А.Ю. Кулагин // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2018. Т.123. Вып. 2. С. 45-61. EDN: YXHSAZ
2. Мюльгаузен Д.С., Панкратова Л.А. Влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной на Кольском севере // Вестник СПбГУ. Серия. Геология. География. 2016. Вып. 4. С. 124-133. doi: 10.21638/11701/spbu 07.2016.410. EDN: YFPUGT
3. Stanturf J. Future landscapes: opportunities and challenges New Forests, 2015. 30 p.
4. Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. Экологическая реабилитация ландшафтов, нарушенных при разработке полезных ископаемых в лесостепной зоне (на примере отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза) // Степи Северной Евразии : материалы VIII международного симпозиума. Оренбург : Институт степи УрО РАН, 2018. С. 962–964. EDN: VJLWOX
5. Лавриненко А.Т., Остапова Н.А. Изучение лимитирующих факторов биологической рекультивации на отвалах гребневой формы отсыпки углерододобывающих предприятий Хакасии // Уголь. 2018. № 12. С. 98-100. EDN: VNIMEZ
6. Биологическая продуктивность лесных земель Урала, нарушенных промышленными загрязнениями / В.А. Усольцев, И.Е. Бергман, Е.Л. Воробейчик, В.А. Азаренок, В.И. Крюк, Н.А. Луганский // Биологическая рекультивация нарушенных земель : мат-лы X Всерос. науч. конфер. с междунар. участием. Екатеринбург, 4-7 сентября 2017 г. Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. С. 313-319. EDN: DSMINB
7. Милютин Л.И., Скрипальщикова Л.Н. Проблемы и перспективы техногенного лесоводства // Сибирский лесной журнал. 2020. № 6. С. 81–85. EDN: EVCYBS.
8. Garris W.H., Baldwin S.A., Van Hamme J.D., Gardner W, Fraser L.H. Genomics to assist mine reclamation. A review // *Restoration Ecology*. 2016. Vol. 24. No 2. doi: 10.1111/rec.12322.
9. Restoring forests on surface coal mines

in Appalachia: a regional reforestation approach with global application / C.D. Barton, K. Sena, T. Dolan, P. Angel, C. Zipper // *Spoil to Soil: Mine Site Rehabilitation and Revegetation*. CRC Press, 2017. 391 p.  
doi: 10.1201/9781351247337-12.

### References

1. Urazgildin R.V., Polyakova G.R., Amineva K.Z., Galiahmetov R.D., Kulagin A.Yu. Pine, spruce and larch stem wood increment in industrial pollution conditions. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 2018;123(2):45-61 (In Russ.)
2. Miulgauzen D.S., Pankratova L.A. The influence of aerotechnogenic pollution on scots pine's radial growth in Kola north. *Vestnik of St. Petersburg State Universit. Series 7. Geology. Geography*. 2016;4:124-133 (In Russ.)
3. Stanturf J. Future landscapes: opportunities and challenges New Forests, 2015. 30 p.
4. Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. Environmental rehabilitation of landscapes disturbed by the development of mineral resources in the forest-steppe zone (on the example of the dumps of the Kumertau brown coal mine) // *Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the VIII International Symposium*. Orenburg. 2018. Pp. 962-964 (In Russ.)
5. Lavrinenko A.T., Ostapova N.A. The study of limiting factors of biological reclamation on dumps ridge form filling coal mines Khakassia. *Russian Coal Journal*. 2018;2:98-100 (In Russ.)
6. Usoltsev V.A., Bergman I.E., Vorobeichik E.L., Azarenok V.A., Kryuk V.I., Lugansky N.A. Biological productivity of forest lands of the Urals disturbed by industrial pollution // *Biological recultivation of disturbed lands. Mater. of All-Russian scientific conf. with international participation*. Yekaterinburg, September 4-7, 2017. Yekaterinburg: UGLTU, 2017. Pp. 313-319 (In Russ.)
7. Milyutin L.I., Skripal'schikova L.N. Problems and perspectives of technogenic forestry // *Siberian Journal of Forest Science*. 2020;6:81–85 (In Russ.)
8. Garris W.H., Baldwin S.A., Van Hamme J.D., Gardner W, Fraser L.H. Genomics to assist mine reclamation. A review // *Restoration Ecology*. 2016;24(2). doi:10.1111/rec.12322
9. Barton C.D., Sena K., Dolan T., Angel P., Zipper C. Restoring forests on surface coal mines in Appalachia: a regional reforestation

approach with global application // Spoil to Soil: Mine Site Rehabilitation and Revegetation. CRC Press, 2017. 391 p.  
doi: 10.1201/9781351247337-12.

#### Информация об авторах

**Геннадий Григорьевич Терехов** – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория лесовосстановления, защиты леса и лесопользования;

**Елена Михайловна Андреева** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория лесовосстановления, защиты леса и лесопользования;

**Светлана Карленовна Стеценко** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория лесовосстановления, защиты леса и лесопользования.

#### Information about the authors

**Gennadii G. Terekhov** – Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, Laboratory of reforestation, forest protect and forest management;

**Elena M. Andreeva** – Candidate of Science (Biology), Senior Researcher, Laboratory of reforestation, forest protect and forest management;

**Svetlana K. Stetsenko** – Candidate of Science (Biology), Senior Researcher, Laboratory of reforestation, forest protect and forest management.

Статья поступила в редакцию 21.07.2022; одобрена после рецензирования 25.10.2022; принята к публикации 20.12.2022.

The article was submitted 21.07.2022; approved after reviewing 25.10.2022; accepted for publication 20.12.2022.