

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ

И.С. Семина<sup>1</sup>, В.А. Андроханов<sup>2</sup>, Е.Д. Куляпина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия,  
e-mail: semina.i@mail.ru

<sup>2</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** Представлены результаты обследования рекультивированных участков с использованием отходов углеобогащения и оценки их почвенно-экологического состояния. Для рекультивации нарушенных земель были применены технологии с формированием выровненной подстилающей поверхности и отсыпки корнеобитаемого слоя мощностью 30–50 см с использованием материалов плодородного слоя почвы (ПСП) и потенциально плодородных пород (ППП). В качестве подстилающего субстрата были использованы отходы углеобогащения, представленные в основном смесью крупнообломочного материала вмещающих шахтных пород (песчаников, алевролитов и аргиллитов). Проведенные исследования позволили определить основные агрофизические и агрохимические свойства сформированных искусственных почв с использованием отходов углеобогащения на нарушенных территориях. Установлено, что рекультивированные почвы характеризуются повышенной плотностью, это связано с технологией их формирования: переуплотнение происходит при проведении планировочных работ с помощью тяжелой техники на горнотехническом этапе рекультивации. Показатели значений pH исследованных субстратов варьируют в интервале от 8,00 до 10,00 ед., что свидетельствует о сильнощелочной реакции почвенного раствора. Наибольшие значения pH — от 9,22 до 10,09 — характерны для подстилающих слоев, сложенных углевмещающими породами, оставшимися после обогащения. Содержание органических веществ в корнеобитаемом слое зависит от использованных материалов, а в подстилающем слое — от количества углистых частиц в породах. Результаты оценки почвенно-экологического состояния показали, что восстановление нарушенных земель на участках рекультивации с формированием подстилающей поверхности из материалов углеобогащения и насыпных корнеобитаемых горизонтов позволяет сформировать на рекультивированной поверхности устойчивый растительный покров и экологически безопасно использовать отходы углеобогащения в целях рекультивации.

**Ключевые слова:** нарушенные земли, отходы углеобогащения, рекультивация, почвы, техноземы, почвенно-экологическое состояние, pH, гумус.

**Благодарность:** Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-44-420006.20.

**Для цитирования:** Семина И. С., Андроханов В. А., Куляпина Е. Д. Опыт использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 159–175. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-159-175.

---

## The experience of using coal washing rejects in reclamation of disturbed lands

I.S. Semina<sup>1</sup>, V.A. Androkhanov<sup>2</sup>, E.D. Kulyapina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, e-mail: semina.i@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry,  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

---

**Abstract:** The studies into disturbed land reclamation using rejects of coal washing are presented together with estimation of ecological state of soil. Disturbed land reclamation used flattening of underlying surface and placement of root layer 30–50 cm thick made of rich soil and potentially rich soil. The substrate was coal washing rejects as a mixture of coarse enclosing rocks (sandstone, mud stone and silt stone). The research determined the main agrophysical and agrochemical properties of the artificial soil with coal washing rejects on disturbed lands. Reclaimed soil features higher density due to the soil formation technology: over-compaction occurs in flattening with heavy machines at the stage of geotechnical reclamation. The test substrates have pH in the range from 8.00 to 10.00, which is reflective of a strongly alkaline reaction of soil solution. The highest pH values from 9.22 to 10.09 are typical of underlying layers composed of enclosing rocks after coal preparation. The content of organic matters depends on the used materials in case of the root layer and on the quantity of free carbon in enclosing rocks in case of the substrate layer. The ecological evaluation shows that reclamation of disturbed lands using an underlayer of coal washing rejects and a root layer fill allows formation of stable vegetation cover on post-reclamation site and enables environmentally sound use of coal washing rejects for land reclamation.

**Key words:** disturbed land, coal washing rejects, reclamation, soil, manmade soil, ecological soil state, pH, humus.

**Acknowledgements:** The studies were supported by the Russian Foundation for Basic Research and by the Kemerovo Region, Project No. 20-44-420006\20.

**For citation:** Semina I. S., Androkhanov V. A., Kulyapina E. D. The experience of using coal washing rejects in reclamation of disturbed lands. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(9):159-175. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-159-175.

---

### Введение

Кузнецкий угольный бассейн является одним из крупнейших угледобывающих регионов мира [1]. Объем добычи угля в России за период 2000–2017 гг. увеличился в 1,6 раза, в Кузбассе — в 2,2 раза [2]. В результате функционирования горнодобывающего производства образуются отходы, объемы которых обусловлены масштабами добычи, технологией обработки месторождений и объемов обогащения углей. Во многом количество отходов зависит от горно-геологических условий месторождений и качества углей. Вопрос о размещении и переработке отходов, образующихся в

угледобывающей отрасли, остается актуальным, поскольку из 7 млрд т отходов, ежегодно образующихся в стране, 3 млрд т приходятся на вскрышные породы — отходы горнодобывающей отрасли [2].

Отходами горнодобывающего производства считаются все компоненты, не вошедшие в состав товарного угля, — это горные породы угленосной толщи, вскрышные породы, включения в углях, угольные и угольно-породные шламы и низкосортные угли. Таким образом, при высоком содержании углистых частиц (более 20%), углеотходы можно классифицировать как техногенное минераль-

ное сырье, а их скопления — как техногенные месторождения угольного ряда [3, 4].

При этом согласно нормативной документации промышленные отходы должны складироваться в специальных инженерных сооружениях, которые учитываются как объекты размещения отходов [5].

В современных условиях объемы отходов постоянно возрастают, что приводит к изъятию значительных территорий земельных участков и загрязнению окружающей среды. Особенности отходов, образующихся при добыче угля и его обогащении, являются многокомпонентность и крупнотоннажность. В общей схеме образования и использования отходов угледобывающего производства особое место занимают угледержащие отходы после обогащения, спецификой которых, по мнению многих авторов, является высокий энергетический потенциал и сравнительно небольшая токсичность. В небольших количествах крупнообломочный материал, состоящий из обломков горных пород, не оказывает заметного влияния на окружающую среду, но при большом скоплении становится источником возникновения экологических проблем. Размещение отходов горнодобывающей и перерабатывающей отраслей с большим содержанием угольных частиц в теле отвала, окисление которых происходит с выделением тепла, может приводить к процессам самовозгорания отвалов [6]. Горящие отвалы являются мощными источниками  $\text{CO}_2$ , выбросов кислотных газов, токсичных элементов, органических поллютантов и, соответственно, оказывают влияние на окружающую среду и живые организмы [7, 8]. Многие авторы отмечают, что полевые культуры в повышенных количествах накапливают тяжелые металлы вблизи скопления отходов горнодобывающих

предприятий [9, 10]. Концентрация многих из них приближается к ПДК, а по отдельным элементам даже превосходит [11]. Накоплен большой научный опыт по комплексной оценке токсичности промышленных отходов. Во многих случаях концентрация валовых форм токсичных элементов в отходах горнодобывающей промышленности (ванадия, меди, свинца, никеля, кадмия, цинка и марганца) не превышает нормируемые показатели для основных типов почв, свойственные природно-климатической зоне. Однако может фиксироваться максимальное содержание подвижных форм элементов для меди, никеля, цинка, свинца и марганца [12–14].

Наиболее изученным направлением использования отходов угледобывающей и перерабатывающей отрасли как в России, так и за рубежом является переработка их в строительные материалы, керамические изделия. В основном данные отходы применяются при получении кирпича, материала для закладки выработанного пространства шахт, комплексной добавки при получении цемента, производстве топливных брикетов и стеновых, теплоизоляционных и вяжущих материалов [15–17].

Достаточно апробированным направлением является изготовление на основе отходов углеобогащения водоугольного топлива (ВУТ), водоугольных суспензий или кавитационного водоугольного топлива (КаВУТ). Оно основано на создании жидкого топлива, углеродосодержащим компонентом которого являются угольные шламы, образующиеся при обогащении, гидродобыче углей, или измельченные до крупности 0–100 мкм угольные частицы [18]. Результаты проведенных экспериментальных исследований и опытно-промышленных испытаний по возможности получения и сжигания водоугольного топлива на основе отходов углеобогащения (угольных шла-

мов и кеков фильтров-прессов) показали возможность использования такого топлива в системе теплоснабжения промышленных помещений. Также применение технологии приготовления и сжигания суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) позволяет существенно уменьшить техногенную нагрузку накопленных отходов углеобогащения на окружающую среду [19, 20]. К сожалению, необходимо отметить, что пока все разработанные технологии переработки отходов углеобогащения не получили широкого распространения в России в связи с технологической сложностью, малой потребностью в продуктах переработки и низкой рентабельностью процесса.

В настоящее время накоплен богатый опыт по осуществлению работ, связанных с восстановлением нарушенных земель и растительного покрова на отвалах и хвостохранилищах Урала, Дальнего Востока, Кузбасса, а также за рубежом [21–32]. При этом применяются различные технологии согласно цели рекультивации, учитывающие местные природные условия, специфику техногенных субстратов и технологических процессов разработки месторождений.

Существует достаточно широкий спектр современных технологий утилизации или переработки отходов углеобогащения. Однако это не всегда экономически эффективно, и поэтому отходы углеобогащения складировались в так называемые шламохранилища. Таким образом, для размещения отходов углеобогащения необходимы дополнительные земельные ресурсы, что приводит к увеличению площади нарушенных земель при разработке месторождений полезных ископаемых. Поэтому для ликвидации карьерных выемок и искусственно созданных полостей используются отходы производства, в том числе и отходы углеобогащения. Как отмечалось

ранее, отходы углеобогащения могут оказывать существенное влияние на окружающую среду, в связи с этим является актуальной задачей проведение мониторинга и исследование свойств почв на рекультивированных участках с использованием отходов углеобогащения.

Цель работы: исследование свойств рекультивированных почв, оценка почвенно-экологического состояния рекультивированных участков и перспектив применения отходов углеобогащения в целях рекультивации.

### **Экспериментальная часть**

Для оценки эффективности использования отходов углеобогащения были проведены почвенно-экологические исследования на рекультивированных участках возрастом 3–7 лет, расположенных в пригороде г. Ленинск-Кузнецкий (Кемеровская область). Рекультивация нарушенных земель выполнялась путем засыпки отработанных карьеров бывшего угольного разреза крупнообломочным материалом отходов углеобогащения, планировки поверхности и отсыпки материалов потенциально плодородных пород (ППП) и плодородного слоя почвы (ПСП) на спланированную поверхность. В результате выполненных работ на рекультивированных участках были сформированы искусственные почвы с отсыпанным корнеобитаемым слоем, которые согласно профильно-генетической классификации почв техногенных ландшафтов относятся к техноземам гумусогенным (если материал корнеобитаемого слоя отсыпан ПСП) или к техноземам литогенным (если материал корнеобитаемого слоя отсыпан ППП) [33].

В настоящее время в результате многолетних исследований установлено, что нереккультивированные и рекультивированные почвы техногенных ландшафтов, особенно в первые 20 лет саморазвития, чрезвычайно динамичны.

Структура почвенного покрова на нарушенных территориях, оцениваемая по соотношению площадей, занимаемых тем или иным типом почв, главным образом, эмбриоземов (на нерекультивированных участках), постоянно изменяется. Поэтому изучение процессов восстановления почвенных свойств на начальных стадиях восстановления нарушенных земель и оценка почвенно-экологического состояния очень важны, они позволяют выявить дальнейшие перспективы восстановления нарушенных участков и разработать мероприятия по повышению эффективности рекультивационных работ. Опыт многолетних исследований и применение такого подхода к оценке почвенно-экологического состояния нарушенных территорий позволяет разделить условия почвообразования, складывающиеся на разных участках техногенных ландшафтов, и уровень восстановления нарушенных земель на пять категорий [34, 35]:

- неудовлетворительные, при которых процессы почвообразования отсутствуют, и почвы в течение прагматически приемлемого срока остаются эмбриоземами инициальными;
- удовлетворительные, при которых почвообразовательные процессы идут медленно и в указанное выше время не приводят к образованию эмбриоземов гумусово-аккумулятивных;
- хорошие, при которых эмбриоземы гумусово-аккумулятивные формируются за период в 20 или несколько более лет;
- очень хорошие, при которых эмбриоземы гумусово-аккумулятивные формируются за 10–20 лет;
- отличные, при которых эмбриоземы гумусово-аккумулятивные формируются за период менее 10 лет.

При этом можно считать, что если за 20 лет происходит формирование сложного фитоценоза и формируются разви-

тые гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, то самовосстановление нарушенных земель идет нормальными темпами, и рекультивационные мероприятия можно выполнять по сокращенной схеме, поддерживая при необходимости только восстановление растительности и биоразнообразия на нарушенных участках.

Разделение нарушенных земель на данные категории позволяет оценить их состояние и индивидуально для каждого техногенного объекта предложить мероприятия по сокращению негативных последствий от нарушения почв.

В исследованиях агрохимических и агрофизических свойств почв использовались стандартные методы, принятые в почвенно-экологических изысканиях [36, 37].

Для изучения почвенно-экологического состояния участков, рекультивированных с использованием отходов углеобогащения, было проведено полевое почвенное обследование с отбором почвенных и породных образцов, отличающихся особенностями формирования корнеобитаемого слоя: смесь шахтных пород без нанесения ППП и ПСП (эмбриозем инициальный на техногенном элювии — точка 1); с нанесением ППП (технозем недифференцированный литогенный — точка 2); с нанесением ПСП на отсыпанную отходами углеобогащения поверхность (технозем недифференцированный гумусогенный — точка 3); послойное нанесение ППП и ПСП (технозем дифференцированный гумусогенный — точка 6). При этом слой ППП размещается непосредственно на породу и служит своеобразным экраном и переходным горизонтом между ПСП и породой. В качестве контроля был выбран участок с естественной почвой — черноземом выщелоченным (точка 7).

В геоморфологическом отношении участки исследования расположены в

западной части Кемеровской области, в центре Кузнецкой котловины.

Для характеристики агрофизических и агрохимических свойств поверхностных слоев почв и субстратов были отобраны образцы почв и пород с поверхности рекультивированных участков.

Для оценки почвенно-экологического состояния изучаемых техногенных ландшафтов использовалась профильно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов.

### Результаты и обсуждение

Технология формирования рекультивированных почв с использованием отходов углеобогащения предусматривает засыпку карьеров отходами и формирование ровной поверхности для последующей отсыпки корнеобитаемого

почвенного слоя. Отсыпанные отходы выполняют функцию заполнения неровностей и формирование устойчивого основания, на которое отсыпается материал, пригодный для биологической рекультивации. Для формирования выровненной поверхности предусматривается планировка поверхности основания и отсыпанного материала корнеобитаемого слоя. Это приводит к сильному уплотнению как отходов углеобогащения, так и субстрата, использованного для формирования корнеобитаемого слоя (табл. 1).

В результате проведенных исследований было установлено, что плотность подстилающих пород составляет около 2 г/см<sup>3</sup>. Такая плотность присуща некоторым каменистым породам. Следовательно, этот слой водонепроницаем,

Таблица 1

#### Агрофизические свойства почв *Agrophysical properties of soil*

Тип почвы	Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	Порозность, %	Содержание частиц <0,01 мм, %
1. Эмбриозм инициальный (порода)	D	0–10	2,75	1,56	43,27	26,29
2. Технозем литогенный (ППП)	I	0–12	2,78	1,38	50,36	29,65
	II	12–22	2,76	1,42	48,55	17,28
	D	22–30	2,77	2,22	19,86	29,83
3. Технозем гумусогенный недифференцированный (ПСП)	A <sub>d</sub>	0–8	2,66	1,24	53,38	53,56
	A	8–16	2,62	1,28	51,15	48,04
	A	16–25	2,68	1,38	48,51	51,39
	D	25–35	2,77	2,06	25,63	37,73
6. Технозем гумусогенный дифференцированный (ПСП+ППП)	A <sub>d</sub>	0–8	2,55	1,2	52,94	58,33
	A	8–25	2,61	1,34	48,66	55,45
	III	25–35	2,7	1,39	48,52	54,65
	D	35–50	2,72	2,03	25,37	28,27
7. Чернозем выщелоченный	A	6–33	2,64	1,18	55,30	45,75
	AB	33–44	2,67	1,34	49,81	50,64
	B	44–60	2,71	1,42	47,60	47,20



и вода может сбрасываться в нижние слои только по трещинам между камнями. Высокая плотность обусловлена каменностью данного материала и сильным уплотнением при проведении планировочных работ. Это с технологической точки зрения хорошо, так как создает очень устойчивое основание для корнеобитаемого слоя и не позволяет формироваться провалам и другим неровностям на поверхности рекультивированных почв. Можно предположить, что такая высокая плотность сохранится в течение длительного времени. С другой стороны, высокая плотность препятствует проникновению корней и закреплению запасов воды в этом слое, что существенно ухудшает водный режим техноземов и приводит к иссушению корнеобитаемого слоя.

Насыпной слой ППП и ПСП при отсыпке на спланированную поверхность отходов углеобогащения также уплотняется. Однако после агротехнических мероприятий и посева трав в течение 3–5 лет плотность субстрата понижается. Так, в нижней части отсыпанного слоя плотность остается повышенной по сравнению с контрольным вариантом и составляет в среднем более  $1,30 \text{ г/см}^3$ . Наименьшая плотность фиксируется в поверхностном, дерновом горизонте (около  $1,20 \text{ г/см}^3$ ). Это свидетельствует о том, что физические процессы и корни травянистой растительности постепенно разуплотняют поверхностные слои и улучшают агрофизическое состояние корнеобитаемого слоя. Но в связи с малым временем плотность поверхностных слоев не достигает уровня контрольного варианта.

Плотность поверхностного слоя эмбриозема инициального (участок без отсыпки ППП и ПСП) характеризуются как высокая ( $1,56 \text{ г/см}^3$ ). Такая высокая плотность сохраняется в течение длительного времени, несмотря на отсутст-

вие планировочных работ на этом участке. Это обусловлено высокой каменностью субстрата и слабым развитием растительного покрова на данном участке.

Плотность технозема литогенного ниже, чем у пород, но выше, чем у техноземов гумусогенных. Это связано с тем, что материал ППП характеризуется отсутствием почвенной структуры и низким содержанием органического вещества. Поэтому после планировки растительный покров здесь менее развит и оказывает меньшее воздействие на поверхностные слои отсыпанного горизонта.

Согласно классификации Качинского по гранулометрическому составу материал мелкоземной части субстратов изменяется в широких пределах — от легких суглинков до глин (см. табл. 1). В естественных почвах черноземов гранулометрический состав мало изменяется по профилю и характеризуется как средний суглинок. При снятии ПСП и отсыпке его на рекультивированную поверхность происходит некоторое повышение содержания фракций физической глины, тем не менее, гранулометрический состав остается в пределах показаний среднего — тяжелого суглинка.

Гранулометрический состав технозема литогенного более легкий и изменяется в пределах от легкого до среднего суглинка. Это может влиять на водообеспеченность корнеобитаемого слоя на этом участке, так как субстрат более легкого гранулометрического состава меньше удерживает влагу осадков, и она быстрее усваивается растениями. Это же относится и к варианту с эмбриоземом без отсыпки ПСП и ППП. Но здесь еще нужно учитывать и высокое содержание каменных отдельностей, что уменьшает долю мелкозема, способного удерживать влагу, и увеличивает водопроницаемость верхних слоев. Все это

формирует водный режим, характеризующийся большим дефицитом продуктивной влаги на этом участке.

Содержание частиц физической глины (фракции менее 0,01 мм) в мелкоземистой части субстратов подстилающих пород (горизонт D) изменяется в пределах 28–38% и характеризуется как средний суглинок. Однако нужно учитывать, что количество мелкозема в данном субстрате составляет не более 15%. Это связано с высокой каменистостью данных субстратов, которые слабо разрушаются в процессе обогащения, рекультивации и последующего размещения. Поэтому можно считать, что высокое содержание каменистых отдельностей в подстилающем слое сохранится на очень длительный период и в дальнейшем будет неблагоприятно влиять на агрофизические свойства рекультивированных почв, препятствуя проникновению кор-

невых систем растений и влаги в ниже лежащие слои.

Основными агрохимическими свойствами корнеобитаемого слоя почв принято считать тот набор показателей, который включает содержание основных биогенных элементов, определяющих рост и развитие растений, а также степень их доступности в конкретных условиях. Во многом принято считать, что плодородие зависит от содержания гумуса (органического вещества почвы) и показателя pH почв. Эти показатели в основном определяют количество и формы содержания основных питательных элементов в почвах и степень их доступности для растений. Оптимальными считаются значения, при которых величина pH составляет 6,5–7 ед. Чем ниже pH, тем выше концентрация ионов водорода в суспензии, и наоборот. Неблагоприятными для роста и развития

Таблица 2

**Основные агрохимические свойства почв**  
*Basic agrochemical properties of soil*

Тип почвы	Горизонт	Глубина, см	pH <sub>вод</sub>	Углерод, %	Гумус, %
1. Эмбриозем инициальный (порода)	D	0–10	9,89	5,47	–
	I	0–12	8,19	0,92	1,59
2. Технозем литогенный (ППП)	II	12–22	8,92	1,24	2,13
	D	22–30	10,09	12,65	–
	A <sub>d</sub>	0–8	8,06	3,89	6,70
3. Технозем гумусогенный недифференцированный (ПСП)	A	8–16	8,00	3,00	5,17
	A	16–25	8,22	2,62	4,52
	D	25–35	9,44	14,00	–
	A <sub>d</sub>	0–8	8,43	2,52	4,36
6. Технозем гумусогенный дифференцированный (ПСП+ППП)	A	8–25	8,47	2,54	4,38
	III	25–35	8,80	1,08	1,87
	D	35–50	9,22	18,64	–
	A	6–33	6,66	4,12	7,08
7. Чернозем выщелоченный	AB	33–44	7,24	2,19	3,77
	B	44–60	7,03	0,59	1,01



растений и, соответственно, для восстановления техногенным ландшафтом своих экологических функций считаются величины рН ниже 4,5 и выше 8,5 ед. [38].

В Кузбассе основные вскрышные и вмещающие породы на угольных месторождениях представлены в основном песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Эти породы в естественных условиях характеризуются значениями рН от 6,5 до 9,5. При разрушении крупных обломков пород в процессе углеобогащения рН отходов может быть более 10 ед. Поэтому наибольшие значения рН (9,22–10,09) характерны для горизонтов подстилающих пород, сложенных углевмещающими породами, оставшимися после обогащения (табл. 2).

Одним из основных почвенно-агрохимических показателей, отражающих естественное плодородие почв, является содержание органического углерода в почвах, часто выражаемого также в содержании гумуса. Значимость этих показателей заключается в том, что в специфическом почвенном органическом веществе (гумусе) содержится основная часть фосфора и до 98% азота почв. Поэтому наличие достаточного количества углерода в рекультивированных почвах определяет агрохимические условия роста и развития растительности, а вместе с тем и эффективность биологического этапа рекультивации.

Проведенные исследования показали, что содержание углерода в отдельных горизонтах почв на исследуемых участках варьирует от 0,92 до 18,64% (см. табл. 2). Самые высокие значения — от 12 до 19% зафиксированы в горизонте D техноземов, сложенном отходами углеобогащения. Поскольку весь углерод здесь приходится на углистые частицы, несмотря на то, что этот углерод регистрируется при анализе наряду с углеродом гумуса, таковым он не

является, т.к. не может использоваться растениями и не влияет на почвенное плодородие. Горизонт D эмбриозема (точка 1) характеризуется меньшим содержанием углерода, однако указанные различия унаследованы от особенностей отсыпанных субстратов на поверхность отвала.

Гумусовые вещества собственно эндогенного происхождения присутствуют только в верхних горизонтах участков рекультивации, отсыпанных ППП и ПСП. Их содержание в силу небольшого промежутка времени, прошедшего с момента окончания горнотехнического этапа, в целом определяется содержанием гумуса в соответствующих горизонтах естественных почв. При этом необходимо учитывать, с каких угдий был снят ПСП. Тем не менее, в процессе формирования техноземов, снятии ПСП, его хранении и нанесении на поверхность пород происходит незначительное снижение содержания гумусовых веществ в материале ПСП [39]. Поэтому значения содержания гумуса в рекультивированных почвах меньше, чем в контрольном варианте.

В дальнейшем необходимо проводить мониторинг показателей рН и содержания гумуса с целью отслеживания динамики снижения или повышения этих показателей в корнеобитаемом слое, от этого во многом будут зависеть перспективы сохранения и развития растительного покрова, восстановления почвенных функций на рекультивированных участках и экологическая эффективность использования отходов углеобогащения в целях рекультивации.

Почвенно-экологическое состояние (ПЭС) исследуемых участков определялось с учетом свойств почв, лимитирующих или, наоборот, стимулирующих выполнение ими своих экологических функций, и рассчитывалось по формуле [17]:

$$\text{ПЭС(б.б.)} = B_n \times K_c$$

где  $B_n$  — балл бонитета ненарушенной почвы участка;  $K_c$  — коэффициент специфичности свойств исследуемых почв по отношению к свойствам зональной ненарушенной, в долях от единицы.

Коэффициент специфичности почвы рассчитывается по основным почвенным показателям. Это содержание физической глины ( $K_{с.ф.г.}$ ), плотность сложения субстрата ( $K_{с.п.}$ ) и содержание гумуса ( $K_{с.гум.}$ ). Численные значения этого коэффициента характеризуют степень отклонения почвенного показателя от контрольного значения в черноземе. Вне зависимости от того, ниже или выше рассматриваемый показатель, чем он

больше отличается от оптимальных значений контрольного варианта, тем меньше  $K_c$  [40].

В общем виде коэффициент специфичности почв рассчитывается как среднее значение коэффициентов специфичности по конкретным свойствам почв с учетом мощности горизонтов, в которых отбирались образцы.

$$K_c = (K_{с.ф.г.} + K_{с.гум.} + K_{с.п.}) / 3$$

Для расчета ПЭС взяты следующие показатели: содержание гумуса — 7,1%; физической глины — 45%; плотность сложения — 1,2 г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Свойства почв участков, определяющие их специфичность**

**по отношению к почвам ненарушенных участков**

***Specific properties of manmade soil as compared with undisturbed land soil***

Тип почв	Горизонт (глубина взятия образца, см)	Содержание		Плотность, г/см <sup>3</sup>	$K_{с.ф.г.}$	$K_{с.гум.}$	$K_{с.п.}$	$K_c$	Балл бонитета
		физ. глины, %	гумус, %						
1. Эмбриозем инициальный	D (0–10)	66,29	—	1,56	0,53	0,00	0,5	0,41	35
2. Технозем литогенный (ППП)	I (0–12)	29,65	1,59	1,38	0,61	0,11	0,51	0,39	41
	II (12–22)	17,28	2,13	1,42					
	D (22–30)	29,83	—	2,22					
3. Технозем гумусогенный недифференцированный (ПСП)	A <sub>d</sub> (0–8)	53,56	6,70	1,24	0,90	0,38	0,60	0,63	63
	A <sub>1</sub> (8–16)	48,04	5,17	1,28					
	A <sub>2</sub> (16–25)	51,39	4,52	1,38					
	D (25–35)	47,73	—	2,06					
6. Технозем гумусогенный дифференцированный (ПСП+ППП)	A <sub>d</sub> (0–8)	58,33	4,36	1,20	0,74	0,36	0,73	0,61	61
	A <sub>1</sub> (8–25)	55,45	4,38	1,34					
	III (25–35)	54,65	1,87	1,39					
	D (35–50)	58,27	—	2,03					
7. Чернозем выщелоченный	A <sub>1</sub> (6–33)	45,75	7,10	1,18	0,96	0,74	0,94	0,88	88
	AB (33–44)	50,64	2,05	1,34					
	B (44–60)	47,20	1,01	1,42					

Проведенные расчеты показали, что все исследуемые участки можно разделить на четыре группы: с отличным ПЭС (балл бонитета более 80); с хорошим (балл бонитета 60–80); с удовлетворительным (балл бонитета 40–60) и с неудовлетворительным (балл бонитета меньше 40) почвенно-экологическим состоянием. К первой группе относится черноземвыщелоченный (контроль), точка № 7. Во вторую группу входят участки № 3 и 6 с техноземами гумусогенными, которые характеризуются очень близкими баллами бонитета (61–63), несмотря на то, что они имеют разную мощность отсыпанного корнеобитаемого слоя, представленный ПСП (участок № 3) и ПСП нанесенный на ППП послойно (участок № 6). Причем вариант с послойным размещением ПСП и ППП, несмотря на большую мощность нанесенного слоя, характеризуется меньшими показателями ПЭС, что обусловлено меньшими показателями содержания гумуса. Эти территории характеризуются достаточно развитым растительным покровом, но из-за небольшой мощности отсыпанного слоя и неблагоприятных свойств подстилающих пород не дотягивают до более высокой градации ПЭС.

В связи с малым содержанием гумусовых веществ в насыпном горизонте технозема литогенного (участок № 2), его малой мощностью и высокой плотностью субстрата ПЭС характеризуется как удовлетворительное, балл бонитета — 41. Поэтому здесь возможно произрастание нетребовательных к питательному и водному режиму растений, что существенно понижает эффективность рекультивационных работ.

Самыми неблагоприятными свойствами и слабым развитием почвообразовательных процессов характеризуются эмбриоземы инициальные на участке № 1. Данный участок представляет собой вариант, на котором была проведена

грубая планировка поверхности без нанесения ПСП и ППП, а поверхностный субстрат представлен смесью шахтных пород. Здесь практически отсутствует растительность и ПЭС этого участка характеризуется как неудовлетворительное. Необходимо подчеркнуть, что это самый старый участок (7 лет после отсыпки) из всех обследованных вариантов. Поэтому можно предположить, что без проведения рекультивационных работ по улучшению агрофизических и агрохимических свойств субстрата данного участка, его неблагоприятное ПЭС может сохраняться в течение длительного времени.

### **Выводы**

1. В результате проведенных исследований агрофизических и агрохимических свойств рекультивированных почв установлено, что техноземы и эмбриоземы характеризуются повышенной плотностью, что связано с особенностями их формирования и значительным переуплотнением при проведении планировочных работ тяжелой техникой на горнотехническом этапе рекультивации. Проведение биологического этапа рекультивации способствует улучшению агрофизических свойств, и через 5 лет показатели в верхних слоях отсыпанного горизонта могут достигнуть уровня контрольного варианта (1,20 г/см<sup>3</sup>). Таким образом, развитие растительности способствует постепенному улучшению агрофизического состояния корнеобитаемого слоя.

2. Исследование агрохимических свойств рекультивированных почв показало, что значения рН варьируют в интервале от 8,00 до 10,09 ед., что свидетельствует о щелочной реакции почвенного раствора. Наибольшие значения рН (9,22–10,09) характерны для горизонтов подстилающих пород, состоящих из отходов углеобогащения. Высокая плот-

ность, щелочная реакция среды препятствуют использованию этих субстратов в целях биологической рекультивации. В то же время, этот субстрат может быть использован для выравнивания неровностей техногенного рельефа и формирования устойчивого основания для размещения поверхностного корнеобитаемого слоя. При этом эффективность биологической рекультивации во многом определяется качеством материалов, используемых для создания насыпного слоя и мощности отсыпки.

3. Проведенные исследования показали, что лучшие значения почвенно-экологического состояния рекультивированных участков получены в вариантах с использованием ПСП для формирования корнеобитаемого слоя. В течение 5 лет на таких участках формируется устойчивый растительный покров и фиксируется постепенное восстановление почвенных свойств в поверхностных отсыпанных слоях в направлении к естественным почвам, распространенным на прилегающих территориях. Однако в связи с небольшой мощностью отсыпанного горизонта и малым сроком вос-

становления новые почвы не достигают уровня естественных. При этом фиксируется негативное воздействие подстилающих пород (повышение pH) на отсыпанный материал ПСП и ППП, особенно в нижних слоях.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования отходов углеобогащения для рекультивации. Установлено, что отходы могут быть использованы для выравнивания техногенного рельефа и формирования устойчивого основания для размещения на спланированной поверхности субстратов, пригодных для биологической рекультивации.

Для предотвращения негативного воздействия отходов углеобогащения на корнеобитаемый горизонт необходимо формировать экранирующий слой, который бы препятствовал поступлению фитотоксичных веществ в корнеобитаемый слой. Для повышения эффективности рекультивационных работ на биологическом этапе необходимо увеличивать мощность отсыпаемого слоя из пригодных для рекультивации субстратов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копытов А. И. Оптимизация стратегии угольной отрасли – гарантия эффективности, безопасности и стабильности промышленного потенциала экономики Кузбасса // Вестник КузГТУ. – 2018. – № 2. – С. 5–11.
2. Таразанов И. Г. Итоги работы Угольной промышленности России за январь-март 2019 года // Уголь. – 2019. – № 6. – С. 67–77.
3. ГОСТ Р 57011-2016 Отходы добычи и обогащения углей. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 6 с.
4. Коломенский Г. Ю., Гипич Л. В. Техногенные месторождения угольного ряда / Угольная база России. Т. VI. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. – С. 519–540.
5. ГОСТ 30772-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 15 с.
6. Брагина П. М. Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // Вестник Кузбасской государственной педагогической академии. – 2013. – № 4. – С. 57–64.
7. Finkelman R. B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks // International Journal of Coal Geology. 2004. Vol. 59. Pp. 19–24.

8. *Capilla A. V., Delgado A. V.* The destiny of the earth's mineral resources. London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015.

9. *Акименко Д. О., Пашкевич М. А.* Оценка влияния кека ЗАО «Золото Северного Урала» на компоненты окружающей среды и разработка методов ее защиты // Научный вестник Московского государственного горного университета. — 2010. — № 2. — С. 73–78.

10. *Пашкевич М. А., Понурова К.* Разработка способа консервации техногенных месторождений КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 10. — С. 193–197.

11. *Пашкевич М. А., Понурова К.* Геоэкологические особенности техногенного загрязнения природных экосистем зон воздействия хвостохранилищ Михайловского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 5. — С. 349–356.

12. *Журавлева Н. В., Воропаева Т. Н., Ивановкина О. В.* Комплексная оценка токсичности промышленных отходов предприятий Кемеровской области // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2006. — № 6–2 (58). — С. 86–89.

13. *Исмагилов З. Р., Шикина Н. В., Журавлева Н. В., Потокина Р. Р., Рудина Н. А., Ушаков В. А., Теряева Т. Н.* Исследование алюмосиликатных микросфер из золы-уноса электростанций, использующих угли Кузбасса // Химия твердого топлива. — 2015. — № 4. — С. 49.

14. *Журавлева Н. В., Ивановкина О. В., Исмагилов З. Р., Потокина Р. Р.* Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах месторождений Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 3. — С. 187–196.

15. *Буравчук Н. И., Гурьянова О. В.* Технология совместного брикетирования отходов углеобогащения и древесных опилок // Химия твердого топлива. — 2018. — № 5. — С. 33–37.

16. *Карасал Б. К., Чюдюк С. А., Сапелкина Т. В.* Технологические свойства глинистых вскрышных пород угледобычи при производстве керамических стеновых материалов // Естественные и технические науки. — 2018. — № 1 (115). — С. 165–169.

17. *Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Golik V.I., Drebenstedt C.* Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production / Scientific Reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains: Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management. Freiberg, 2014. Pp. 402–412.

18. *Мукольянц А. А., Сотникова И. В., Ахматова С. Р.* Перспективы использования низкосортного ангреноского угля в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов / Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции. — 2015. — С. 160–163.

19. *Антипенко Л. А., Вахрушева Г. Д., Мурко В. И., Федяев В. И., Чичиндаев М. Г., Венгер К. Г., Айнетдинов Х. Л.* Тонкодисперсные отходы углеобогащения — как сырьевая база для создания энергогенерирующих комплексов // Уголь. — 2011. — № 9 (1026). — С. 76–77.

20. *Мурко В. И., Таилаков О. В., Хямяляинен В. А., Шеховцова В. О.* Развитие экологически чистых технологий по использованию отходов обогащения и сжигания угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 10. — С. 249–258.

21. *Андроханов В. А., Лавриненко А. Т., Госсен И. Н., Куляпина Е. Д.* Опыт создания опытно-производственной рекультивации нарушенных земель на разрезе «Заречный» АО «СУЭК-КУЗБАСС» // Уголь. — 2019. — № 12 (1125). — С. 60–65.

22. *Водолеев А. С., Захарова М. А., Андреева О. С.* Фитоиндикация рекультивированных территорий шламоохранилища АО ЕВРАЗ ЗСМК // Черная металлургия. Бюллетень

научно-технической и экономической информации. — 2019. — Т. 75. — № 6. — С. 748—754.

23. Голубев Д. А., Крупская Л. Т. Перспективные технологии рекультивации нарушенных горными работами земель в ДФО // Проблемы недропользования. — 2014. — № 1 (1). — С. 88—94.

24. Старожилов В. Т., Дербенцева А. М., Пилипушка В. Н., Крупская Л. Т., Бубнова М. Б. Оценка состояния техногенных ландшафтов для обеспечения их экологической безопасности на примере угольного и горно-рудного производства Приморского края // Экология промышленного производства. — 2011. — № 4. — С. 41—45.

25. Манаков Ю. А., Куприянов О. А. Система ООПТ Кемеровской области как фактор смягчения воздействия угледобычи на биоразнообразии // Уголь. — 2019. — № 7 (1120). — С. 89—94.

26. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. — 355 с.

27. Чибрик Т. С. Некоторые аспекты оценки опыта биологической рекультивации на угольных месторождениях Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2012. — № 5 (37). — С. 216—218.

28. Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А. Восстановления биоразнообразия на отвалах Черемшанского Никелевого месторождения // Промышленная ботаника. — 2019. — Т. 19. — № 3. — С. 45—48.

29. Min Zhang, Jinman Wang, Yu Feng Temporal and spatial change of land use in a large-scale opencast coal mine area. A complex network approach // Land Use Policy. 2019. Vol. 86. Pp. 375—386. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.05.020.

30. Adeli A., McLaughlin M., Brooks J. P., Read J. J., Willers J. L., Lang D., Mcgrew R. Age chronosequence effects on restoration quality of reclaimed coal mine soils in Mississippi Agroecosystems // Soil Science. 2013. Vol. 178. No 7. Pp. 335—343.

31. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. Vol. 464. No 7288. Pp. 579—582.

32. Bradshaw A. Restoration of mined lands — Using natural processes // Ecological Engineering. 1997. Vol. 8. No 4. Pp. 255—269.

33. Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. — 2002. — № 3. — С. 255—261.

34. Семина И. С. Рациональное использование литогенных ресурсов рекультивации как основа для экологически безопасного развития техногенных ландшафтов // Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 11. — С. 36—38.


35. Семина И. С., Беланов И. П., Шипилова А. М., Андроханов В. А. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — 396 с.

36. Агрохимические методы исследования почв / Под. ред. А. В. Соколова. — М.: Наука, 1975. — 656 с.

37. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. — М.: Высшая школа, 1973. — 400 с.

38. Смирнов П. М., Муравин Э. А. Агрохимия. — М.: Колос, 1977. — 240 с.

39. Андроханов В. А., Овсянникова С. В., Курачев В. М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. — Новосибирск: Наука, 2000. — 200 с.

40. Госсен И. Н., Кулижский С. П., Данилова Е. Б., Соколов Д. А. Бинитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и буроугольных месторождений) // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. — 2016. — № 2 (39). — С. 71—82. 



## REFERENCES

1. Kopytov A. I. Optimization of the coal industry strategy. Guaranteed efficiency, safety and permanence of industrial capacity of the Kuzbass economy. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018, no 2, pp. 5–11. [In Russ].
2. Tarazanov I. G. January–March 2019 report on results of the coal industry performance in Russia. *Ugol'*. 2019, no 6, pp. 67–77. [In Russ].
3. *Otkhody dobychi i obogashcheniya ugley. Klassifikatsiya. GOST R 57011-2016* [Coal mining and processing waste. Classification. State Standart R 57011-2016], Moscow, Standartinform, 2016, 6 p.
4. Kolomenskiy G. Yu., Gipich L. V. Coal-bearing mining waste. *Ugol'naya baza Rossii. T. VI* [The coal base of Russia. Vol. VI], Moscow, OOO «Geoinformmark», 2004, pp. 519–540.
5. *Resursosberezhenie. Obrashchenie s otkhodami. Terminy i opredeleniya. GOST 30772-2001* [Resource saving. Waste management. Terms and definitions. State Standart 30772-2001], Moscow, Izd-vo standartov, 2002, 15 p.
6. Bragina P. M. Spontaneous ignition of coal waste dumps in the Kemerovo Region. *Vestnik Kuzbasskoy gosudarstvennoy pedagogicheskoy akademii*. 2013, no 4, pp. 57–64. [In Russ].
7. Finkelman R. B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *International Journal of Coal Geology*. 2004. Vol. 59. Pp. 19–24.
8. Capilla A. V., Delgado A. V. *The destiny of the earth's mineral resources*. London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015.
9. Akimenko D. O., Pashkevich M. A. Environmental impact assessment of cake produced at Gold of Northern Ural and the environmental protection development. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2010, no 2, pp. 73–78. [In Russ].
10. Pashkevich M. A., Ponurova K. Development of method for temporary abandonment of manmade deposits in the Kursk Magnetic Anomaly. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2006, no 10, pp. 193–197. [In Russ].
11. Pashkevich M. A., Ponurova K. Geoecological features of mining-induced pollution of natural ecosystems in the influence zones of tailings ponds at Mikhailovsky Mining and Processing Plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2006, no 5, pp. 349–356. [In Russ].
12. Zhuravleva N. V., Voropaeva T. N., Ivanykina O. V. Integrated toxicity assessment of industry waste in the Kemerovo Region. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2006, no 6–2 (58), pp. 86–89. [In Russ].
13. Ismagilov Z. R., Shikina N. V., Zhuravleva N. V., Potokina R. R., Rudina N. A., Ushakov V. A., Teryaeva T. N. Studies of aluminosilicate microspheres from fly ash of Kuzbass coal-fired power plants. *Khimiya tverdogo topliva*. 2015, no 4, pp. 49. [In Russ].
14. Zhuravleva N. V., Ivanykina O. V., Ismagilov Z. R., Potokina R. R. Content of toxic elements in overburden and country rocks in the Kemerovo Region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no 3, pp. 187–196. [In Russ].
15. Buravchuk N. I., Gur'yanova O. V. Technology of joint briquetting of waste coal and sawdust. *Khimiya tverdogo topliva*. 2018, no 5, pp. 33–37. [In Russ].
16. Karasal B. K., Chyudyuk S. A., Sapelkina T. V. Process properties of clayey overburden above coal seams in production of ceramic walling materials. *Estestvennyye i tekhnicheskije nauki*. 2018, no 1 (115), pp. 165–169. [In Russ].
17. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production. *Scientific Reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains: Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management*. Freiberg, 2014. Pp. 402–412.
18. Mukol'yants A. A., Sotnikova I. V., Akhmatova S. R. Prospects of low-grade Angren coal as a fuel for heat and power generating units. *Sbornik nauchnykh trudov XII Mezhdunarodnoy*

*nauchno-prakticheskoy konferentsii* [XII International Conference Proceedings], 2015, pp. 160–163. [In Russ].

19. Antipenko L.A., Vakhrusheva G.D., Murko V.I., Fedyaev V.I., Chichindaev M.G., Venger K.G., Aynedinov Kh.L. Fine dispersed waste coal as a resource for power generating units. *Ugol'*. 2011, no 9 (1026), pp. 76–77. [In Russ].

20. Murko V.I., Tailakov O.V., Khyamyalyainen V.A., Shekhovtsova V.O. Development of environmentally clean technologies of coal dressing and combustion waste management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no 10, pp. 249–258. [In Russ].

21. Androkhanov V.A., Lavrinenko A.T., Gossen I.N., Kulyapina E.D. Experience of pilot-scale reclamation of disturbed land in the area of Zarechny Open Pit Mine of SUEK-Kuzbass. *Ugol'*. 2019, no 12 (1125), pp. 60–65. [In Russ].

22. Vodoleev A.S., Zakharova M.A., Andreeva O.S. Phytometry of reclaimed landscape in the area of tailings storage of EVRAZ ZSMK. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii*. 2019. Vol. 75, no 6, pp. 748–754. [In Russ].

23. Golubev D.A., Krupskaya L.T. Advanced reclamation technology of mining-disturbed land in the Far Eastern Federal District of Russia. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014, no 1 (1), pp. 88–94. [In Russ].

24. Starozhilov V.T., Derbentseva A.M., Pilipushka V.N., Krupskaya L.T., Bubnova M.B. Manmade landscape assessment to the effect of ecological safety: A case-study of coal and ore production in the Primorsky Krai. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2011, no 4, pp. 41–45. [In Russ].

25. Manakov Yu.A., Kupriyanov O.A. System of natural areas of preferential protection as a mitigating factor of impacts of coal mining on biodiversity. *Ugol'*. 2019, no 7 (1120), pp. 89–94. [In Russ].

26. Makhonina G.I. *Ekologicheskie aspekty pochvoobrazovaniya v tekhnogennykh ekosistemakh Urala* [Ecological matters of soil formation in manmade ecosystems in the Ural region], Yekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2003, 355 p.

27. Chibrik T.S. Some aspects of biological reclamation practice assessment in coal fields in the Ural region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012, no 5 (37), pp. 216–218. [In Russ].

28. Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A. Biodiversity recovery at waste dumps of the Cheremshany nickel deposit. 2019, vol. 19, no 3, pp. 45–48. [In Russ].

29. Min Zhang, Jinman Wang, Yu Feng Temporal and spatial change of land use in a large-scale opencast coal mine area. A complex network approach. *Land Use Policy*. 2019. Vol. 86. Pp. 375–386. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.05.020.

30. Adeli A., McLaughlin M., Brooks J.P., Read J.J., Willers J.L., Lang D., McGrew R. Age chronosequence effects on restoration quality of reclaimed coal mine soils in Mississippi Agroecosystems. *Soil Science*. 2013. Vol. 178. No 7. Pp. 335–343.

31. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature associated increases in the global soil respiration record. *Nature*. 2010. Vol. 464. No 7288. Pp. 579–582.

32. Bradshaw A. Restoration of mined land. Using natural processes. *Ecological Engineering*. 1997. Vol. 8. No 4. Pp. 255–269.

33. Kurachev V.M., Androkhanov V.A. Manmade landscape soil classification. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2002, no 3, pp. 255–261. [In Russ].

34. Semina I.S. Sound management of lithic reclamation resources as the backbone of ecologically safe development of manmade landscapes. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2013, no 11, pp. 36–38. [In Russ].

35. Semina I.S., Belanov I.P., Shipilova A.M., Androkhanov V.A. *Prirodno-tekhnogennye komplekсы Kuzbassa: svoystva i rezhimy funktsionirovaniya* [Natural-and-manmade facilities in Kuzbass: Properties and methods of operation], Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2013, 396 p.

36. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv*. Pod. red. A. V. Sokolova [Agrochemical methods of analysis of soil. Sokolov A. V. (Ed.)] Moscow, Nauka, 1975, 656 p.

37. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods of analysis of physical properties of soil and subsoil ], Moscow, Vysshaya shkola, 1973, 400 p.

38. Smirnov P. M., Muravin E. A. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], Moscow, Kolos, 1977, 240 p.

39. Androkhanov V. A., Ovsyannikova S. V., Kurachev V. M. *Tekhnozemy: svoystva, rezhimy, funktsionirovanie* [Manmade soil: Properties and methods of operation], Novosibirsk, Nauka, 2000, 200 p.

40. Gossen I. N., Kulizhskiy S. P., Danilova E. B., Sokolov D. A. Appraisal of soil and ecology of manmade landscapes in Siberia: A case-study of anthracite, lignite and bituminous coal fields. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016, no 2 (39), pp. 71 – 82. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Семина Ирина Сергеевна – канд. биол. наук, доцент,  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
e-mail: semina.i@mail.ru,

Андроханов Владимир Алексеевич<sup>1</sup> – д-р биол. наук,  
врио директора Института,  
e-mail: androhanov@issa-siberia.ru,

Куляпина Евгения Дмитриевна<sup>1</sup> – канд. биол. наук,  
младший научный сотрудник,  
e-mail: jeny8442@yandex.ru,

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН.

**Для контактов:** Семина И.С., e-mail: semina.i@mail.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.S. Semina*, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor,  
Siberian State Industrial University,  
654007, Novokuznetsk, Russia,  
e-mail: semina.i@mail.ru,

*V.A. Androkhanov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Biol.),  
Acting Director of the Institute,  
e-mail: androhanov@issa-siberia.ru,

*E.D. Kulyapina*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher,  
e-mail: jeny8442@yandex.ru,

<sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry,  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
630090, Novosibirsk, Russia.

**Corresponding author:** I.S. Semina, e-mail: semina.i@mail.ru.

Получена редакцией 05.05.2020; получена после рецензии 16.06.2020; принята к печати 20.08.2020.

Received by the editors 05.05.2020; received after the review 16.06.2020; accepted for printing 20.08.2020.

