

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННОГО КАМЕННОГО УГЛЯ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Г. Шайхислам<sup>1</sup>, Т.М. Соловьев<sup>1</sup>, С.А. Эпштейн<sup>1</sup>, И.В. Пестряк<sup>1</sup>, И.С. Семина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИТУ МИСИС, Москва, Россия, e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

**Аннотация:** Представлены результаты использования золошлаковых отходов и окисленного каменного угля Кузнецкого бассейна для получения почвогрунтов как материалов для рекультивации нарушенных земель. В результате исследований выявлены наиболее эффективные методы активации окисленного каменного угля. Показано, что при использовании ультразвуковой активации выход «свободных» гуминовых кислот из окисленного угля увеличивается в 5 раз. Поэтому в работе при подготовке опытных образцов почвогрунтов была применена ультразвуковая активация увлажненных смесей золошлаковых отходов и окисленного угля. Представлены результаты оценки биологической активности опытных образцов почвогрунтов как индивидуального почвенного слоя или как компонента в составе вскрышных пород. Результаты проращивания семян овса показали, что внесение 10% почвогрунта во вскрышные породы приводит к существенному повышению всхожести семян, приросту стебля и корневой системы. Анализ водных вытяжек показал, что увеличение в почвогрунтах доли окисленного каменного угля позволяет нормализовать рН водных вытяжек до 8,1 ед., снизить эмиссию в водные объекты таких потенциально опасных элементов, как Cu, V и Zn, а также повысить содержание водорастворимых форм таких важных агрохимических элементов, как фосфор, магний, калий и натрий.

**Ключевые слова:** окисленный каменный уголь, золошлаковые отходы, вскрышные породы, почвогрунт, биологическая активность, всхожесть, рекультивация, гуминовые вещества, механоактивация, ультразвуковое воздействие.

**Благодарность:** Работа выполнена в рамках стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

**Для цитирования:** Шайхислам Г., Соловьев Т. М., Эпштейн С. А., Пестряк И. В., Семина И. С. Получение почвогрунтов на основе окисленного каменного угля для биологической рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 8. – С. 5–18. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_8\_0\_5.

### Soil production from oxidized bituminous coal for biological reclamation of disturbed land

G. Shaikhislam<sup>1</sup>, T.M. Solovlev<sup>1</sup>, S.A. Epstein<sup>1</sup>, I.V. Pestryak<sup>1</sup>, I.S. Semina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NUST MISIS, Moscow, Russia, e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com

<sup>2</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

---

**Abstract:** The article describes the use of ash and slag waste and oxidized bituminous coal from the Kuznetsk Basin in production of soil for reclamation of disturbed land. The implemented research revealed the most efficient methods of oxidized bituminous coal activation. It is shown that ultrasonic activation increases the yield of «free» humic acids from oxidized coal by 5 times. Therefore, in preparation of test soil samples, the wetted mixtures of ash and slag and oxidized coal were subjected to ultrasonic activation. The resultant estimates of biological activity of the test soil samples as an individual soil layer and as an addition to overburden rocks are described. The results of oat sprouting show that introduction of 10% of soil in overburden rocks greatly stimulates germinating ability of seed, and promotes growth of culm and roots. The analysis of water extracts proves that the increase in percentage of oxidized bituminous coal in soil normalizes pH of the water extracts to 8.1, reduces entry of potentially hazardous elements, such as Cu, V and Zn, in water bodies and adds to the content of water-soluble forms of such critical agrochemical elements as phosphorus, magnesium, potassium and sodium.

**Key words:** oxidized bituminous coal, ash and slag waste, overburden rocks, soil, biological activity, germinating ability, reclamation, humic substances, mechanical activation, ultrasonic treatment.

**Acknowledgements:** The study was carried out within the framework of the Technologies for Sustainable Development Project of the Priority 2030 Strategic Academic Leadership Program.

**For citation:** Shaikhislam G., Solovov T. M., Epstein S. A., Pestryak I. V., Semina I. S. Soil production from oxidized bituminous coal for biological reclamation of disturbed land. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(8):5-18. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_8\_0\_5.

---

## Введение

При добыче полезных ископаемых образуется большое количество отходов, которые приводят к деградации существующего почвенно-растительного покрова и нарушению целостности естественных ландшафтов [1]. Важным элементом восстановления нарушенных земель является этап биологической рекультивации, цель которого — осуществление комплекса агротехнических мероприятий, направленных на возобновление почвенного слоя и растительности [2, 3]. В качестве природных компонентов при биологической рекультивации, как правило, применяют [4] потенциально-плодородный слой почв и потенциально плодородные вскрышные и вмещающие породы по ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель».

Однако это не всегда обеспечивает необходимое качество субстрата для развития растений. Поэтому перспективным вариантом является использование почвогрунтов, которые обеспечивают необходимые агрохимические показатели.

В работах [5, 6] показана возможность использования для рекультивации почвогрунтов на основе золошлаковых отходов и окисленного бурого угля. Эффективность применения таких почвогрунтов обусловлена тем, что окисленные бурые угли являются источником гуминовых веществ, которые позитивно влияют на рост растений, а золошлаковые отходы обеспечивают щелочную среду, необходимую для выделения гуминовых веществ, а также выступают в качестве поставщика важных агрохимических элементов, таких как азот, фосфор, калий, магний, марганец и железо. Выделенные из природного сырья гуматы широко при-

меняются в агропромышленном комплексе [7–9]. Они обладают стимулирующими и адаптогенными свойствами и могут применяться как удобрения, стимуляторы роста, детоксиканты [10], а также как добавки при проведении мелиоративных работ, так как они не только питают и стимулируют рост растений, но и существенно меняют структуру грунта. Глинистые почвы становятся менее плотными, улучшается их влаго- и воздухопроницаемость, на достаточно легких и пористых участках повышается влагоемкость почв.

В настоящей работе в качестве компонентов почвогрунтов предлагается использовать окисленные каменные угли Кузнецкого бассейна и золошлаковые отходы (ЗШО). Предварительные исследования показали [11], что использование окисленного каменного угля и ЗШО для получения почвогрунтов не представляет опасности с точки зрения загрязнения водных объектов.

### **Объекты и методы исследований**

В качестве объектов исследования использовали окисленный каменный уголь, золошлаковые отходы и смесь вскрышных пород, образующихся при открытой добыче угля. Смесь вскрышных пород получали путем смешивания потенциально плодородных пород: суглинков и четвертичных отложений [11]. Все пробы были отобраны и подготовлены с использованием стандартных методов.

Технический анализ окисленного каменного угля состоял из определения содержания массовой доли влаги в аналитической пробе по ГОСТ 33503 «Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги в аналитической пробе» и зольности по ГОСТ Р 55661 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности». Основные характеристики вскрышных пород, угля и золошлаковых отходов приведены в [11].

Определение выхода гуминовых кислот из окисленного каменного угля проводили по ГОСТ Р 70210-2022 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода гуминовых кислот» путем однократной щелочной экстракции с последующим осаждением выделенных ГК разбавленной соляной кислотой.

Для повышения выхода ГК применяли следующие методы активации угля: механоактивация, ультразвуковое воздействие и деминерализация. Для активации использовали пробы углей крупностью менее 200 мкм. Для более корректной оценки влияния разных методов активации на выход ГК активированные пробы угля последовательно проходили все стадии анализа, предусмотренные в ГОСТ Р 70210-2022, включая термообработку на кипящей водяной бане. Все эксперименты проводили с использованием двух и более параллельных навесок угля.

Механоактивацию углей проводили в присутствии щелочи (NaOH) в «сухом» виде (без добавления воды). Перед смешением гранулы гидроксида натрия были измельчены до порошкообразного состояния в агатовой ступке. Уголь со щелочью смешивали в массовом соотношении 2:1. При этом массу щелочи рассчитывали на массу сухого угля. Активацию смеси проводили на лабораторной шаровой мельнице [12]. Размер стальных шаров составлял 1,5–2,0 мм, скорость оборотов ~ 200 об/мин, время активации 30 мин, масса смеси — 30 г.

Ультразвуковую активацию проводили с помощью зондового ультразвукового диспергатора МЭФ93.Т при частоте 22 КГц в течение 1 ч. Для активации использовали пробу угля массой 2 г, к которой добавляли 20 мл 1%-го раствора гидроксида калия, соблюдая соотношение твердой фазы к жидкости 1:10. После ультразвуковой обработки раствор нагревали на кипящей водяной бане в

течение 2 ч для экстракции гуминовых кислот согласно ГОСТ Р 70210-2022.

Помимо описанных методов активации также была применена деминерализация угля. Суть данного метода заключалась в обработке пробы угля 5%-й соляной кислотой, отделении пробы угля фильтрованием и ее промывки дистиллированной водой до нейтральной среды. Идея деминерализации состоит в том, что под воздействием соляной кислоты происходит связывание катионов металлов, входящих в состав минеральной части угля, с хлорид-анионом. Такая обработка приводит также к увеличению доли «свободных» ГК за счет разрушения органоминеральных комплексов в структуре угля [13].

Для получения почвогрунтов использовали смеси, состоящие из золошлаковых отходов и окисленного каменного угля (ОУ). Состав почвогрунтов: почвогрунт № 1 — 90 масс.% ЗШО и 10 масс.% угля; почвогрунт № 2 содержал равное количество обоих компонентов.

С целью интенсификации процесса выделения гуминовых веществ из окисленного каменного угля почвогрунты подвергали воздействию ультразвука в течение 1 ч. Также перед активацией в смесь добавляли дистиллированную воду с учетом соотношения твердое: жидкое — 2:1. После активации смесь сушили при 80 °С до воздушно-сухого состояния.

Для определения всхожести семян были подготовлены следующие пробы: раствор гумата калия с содержанием ГК 0,01%; почвогрунт № 1 и почвогрунт № 2. Определение всхожести семян проводили на 7-й день экспонирования. При обработке полученных данных учитывали, что к всхожим относят нормально проросшие семена. К числу нормально проросших семян относят семена, имеющие хорошо развитые корешки, здоровый вид [14].

Оценку биологической активности горной породы, почвогрунтов и их смесей проводили на семенах овса Виленского.

Биологическую активность оценивали по изменению показателей всхожести, длины главного корешка и стебля по сравнению с контрольным опытом. Все этапы испытания выполнялись согласно указаниям и рекомендациям, предусмотренным в ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Для формализации полученных результатов рассчитывали интегральный индекс фитоактивности (ИФ), который отражает отклонения показателей всхожести, средней длины главного корешка и стебля проростков от контрольного [15 — 17].

Выход водорастворимых форм веществ из почвогрунтов и содержание макро- и микроэлементов в полученных водных вытяжках определяли по ГОСТ Р 58914-2020 «Топливо твердое минеральное. Определение выхода и состава водорастворимых форм веществ».

Выход водорастворимых форм веществ определяли путем обработки исследуемой пробы водой при постоянном перемешивании в течение определенного времени, отделении полученного раствора центрифугированием с последующей фильтрацией. Определяли выход водорастворимых веществ путем измерения массы остатка в чашке после выпаривания и сушки.

Для определения содержания макро- и микроэлементов в полученных водных вытяжках использовали метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ICP-AES. Содержание анионов в водных вытяжках определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель» по методике М 01-58-2018 ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18.

Таблица 1

**Результаты определения выхода «свободных» гуминовых кислот из исходной и активированных проб окисленного каменного угля**  
**The results of determining the yield of 'free' humic acids from the initial and activated samples of oxidized hard coal**

Метод активации	W <sup>a</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	(HA) <sub>f</sub> <sup>d</sup> , %	(HA) <sub>f</sub> <sup>daf</sup> , %
Исходный уголь без активации	5,0	32,5	3,4	5,1
Механоактивация	3,2	32,5	10,7	15,9
Ультразвук	5,6	32,5	17,5	26,0
Деминерализация	5,9	30,2	14,6	21,0

Примечание: W<sup>a</sup> – содержание аналитической влаги в пробе угля; A<sup>d</sup> – зольность угля на сухое состояние; (HA)<sub>f</sub><sup>d</sup> – выход «свободных» гуминовых кислот на сухое состояние; (HA)<sub>f</sub><sup>daf</sup> – выход «свободных» гуминовых кислот на сухое беззольное состояние.

Таблица 2

**Результаты определения всхожести семян, %**  
**The results of determining the germination of seeds, %**

Образец	Контрольный (песок)	Гумат калия 0,01% на песке	Почвогрунт № 1	Почвогрунт № 2
Всхожесть	82	92	96,7	100

### Результаты и обсуждения

В табл. 1 представлены результаты определения выхода «свободных» ГК из исходной и активированных проб окисленного угля. В исходной пробе окисленного каменного угля содержание «свободных» ГК составило 3,4% на сухое состояние топлива. Использование различных способов активации позволяет существенно повысить выход гуминовых кислот.

При механической активации в присутствии щелочи выход гуминовых кислот увеличился в 3,1 раза; под воздействием ультразвука – в 5,1 раза, а в результате деминерализации – в 4,3 раза по сравнению с исходным углем. Наибольший выход «свободных» ГК получен при ультразвуковой активации угля.

Эффективность ультразвуковой активации также отмечают в ряде других работ. Авторы [18, 19] объясняют увеличение выхода гуминовых кислот протеканием кавитационного диспергирования угольных частиц, в результате ко-

торого могут образовываться частицы наноразмерного состояния.

Результаты оценки всхожести семян овса Виленского представлены в табл. 2. В качестве контрольного образца использовали прокаленный песок, увлажненный водой. Объем воды, добавленный к контрольному образцу, соответствовал объему раствора гумата. Проращивание семян на ложе из песка с добавкой гумата калия и на почвогрунтах демонстрирует высокую всхожесть по сравнению с контрольным опытом. Максимальная всхожесть семян достигается на почвогрунте с содержанием окисленного угля 50%.

В табл. 3 представлены подробные результаты определения биологической активности почвогрунтов и их смесей со вскрышными породами разреза. Во время испытания на биологическую активность в качестве контрольного образца использовали смесь вскрышных пород [11]. Оценку и учет проросших семян при определении всхожести семян овса проводили на 7-й день [20].

Таблица 3

**Результаты определения биологической активности почвогрунтов**  
**The results of determining the biological activity of soils**

№	Наименование	Всхо- жесть, %	Средняя длина корешка, см	Средняя длина стеблей, см	ЭП	ДК	ВП	ИФ
1	смесь вскрышных пород	97,5	14,1	13,1	100	100	100	1,00
2	90% смесь вскрышных пород + 10% почвогрунта № 1	96,0	14,5	14,1	98,5	102,8	107,6	1,02
3	90% смесь вскрышных пород + 10% почвогрунта № 2	98,0	14,5	13,3	100,5	102,8	101,5	1,03
4	почвогрунт № 1	96,7	4,9	4,5	99,2	34,8	45,0	0,67
5	почвогрунт № 2	100	7,2	5,9	102,6	51,1	63,4	0,65

Примечание: ЭП – энергия прорастания семян; ДК – длина корней; ВП – высота проростков; ИФ – индекс фитоактивности [21].

В целом, стоит отметить, что всхожесть семян на всех испытанных смесях-основах находится практически на одинаково высоком уровне. Существенные различия наблюдаются в показателях средней длины главного корешка и стеблей проростков. Показатели, отражающие изменение средней длины корешка и стеблей при использовании в качестве субстрата индивидуальных почвогрунтов, значимо ниже, чем для смеси вскрышных пород. Это можно объяснить высокой плотностью и низкой проницаемостью почвогрунта и избыточным содержанием в них гуматов. Как ранее отмечалось в работах [15, 16], увеличение концентрации растворов гуматов более 0,01% в целом неблагоприятно сказывается на росте семян.

Внесение почвогрунтов в количестве 10 мас.% в смесь пород приводит к существенному приросту длины корешка и стеблей по сравнению с вскрышными породами. На это указывают также более высокие показатели фитоактивности, полученные на смесях почвогрунтов № 1 и № 2 со вскрышными породами. Максимальный эффект достигается при использовании почвогрунта № 2, содержащего 50% окисленного угля.

Для контроля водорастворимых форм макро- и микроэлементов в почвогрунтах были получены их водные экстракты. Содержание водорастворимых форм веществ из почвогрунтов определяли по выходу сухого остатка, полученного после упаривания водных экстрактов, выделенных по ГОСТ Р 58914-2020.

В качестве расчетных значений использовали результаты, полученные для индивидуальных компонентов (ЗШО и уголь) с учетом их массовой доли в смеси. Результаты для индивидуальных компонентов были получены в [11]. Выход водорастворимых форм веществ из проб почвогрунтов для всех вариантов – ниже расчетных значений (см. рис. 1).

Увеличение в почвогрунтах доли окисленного угля приводит к уменьшению выхода водорастворимых форм веществ. При этом показатель рН водных вытяжек снижается при увеличении в почвогрунте содержания окисленного угля, а сами значения рН ниже, чем их расчетные значения. Такое заметное расхождение расчетных и экспериментальных результатов связано, скорее всего, с участием компонентов ЗШО в щелочном гидролизе окисленного угля с образованием соответствующих растворимых гуматов.

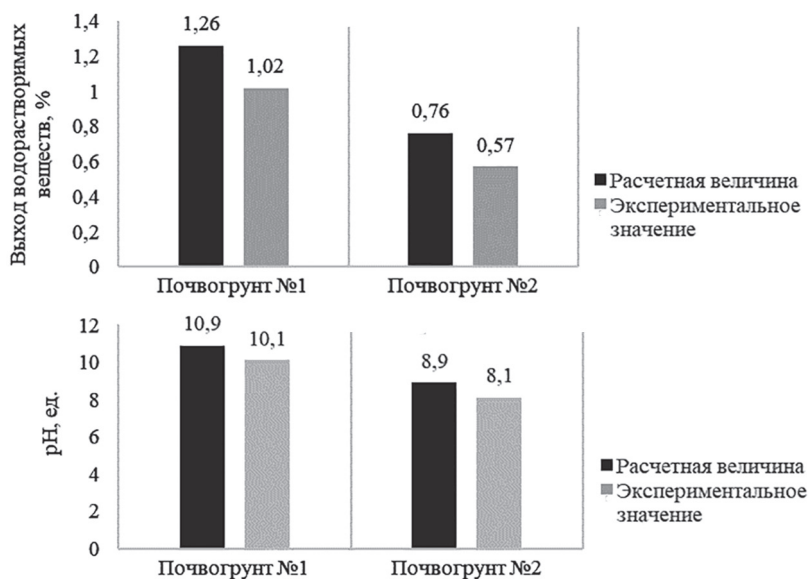


Рис. 1. Выход водорастворимых веществ (%) и значение pH почвогрунтов  
 Fig. 1. Yield of water-soluble substances (%) and pH value of soils

В табл. 4 представлены расчетные и экспериментальные значения концентрации макро- и микроэлементов в водных вытяжках, полученных из исследуемых почвогрунтов. Результаты показывают, что взаимодействие окисленного каменного угля с ЗШО при ультразвуковой активации приводит к щелочному гидролизу не только органического вещества угля, но и минеральных компонентов

ЗШО и угля. На это указывают увеличение концентрации в водных вытяжках таких элементов, как алюминий, кальций, хром, калий, медь, фосфор, магний, сера и стронций (см. рис. 2), в водной вытяжке из почвогрунта, содержащего 90% ЗШО, по сравнению с расчетными значениями. Снижение доли ЗШО до 50% в почвогрунте приводит к существенному снижению концентрации указанных



Рис. 2. Концентрация стронция в водных вытяжках  
 Fig. 2. Strontium concentration in aqueous extracts

Таблица 4

**Расчетные и экспериментальные значения концентраций водорастворимых форм макро- и микроэлементов в водных вытяжках, полученных из исследуемых почвогрунтов, мг/л**

**Calculated and experimentally obtained concentrations of water-soluble forms of macro- and trace elements in aqueous extracts of the studied soils, mg/L**

Элементы	Почвогрунт № 1 (9:1)		Почвогрунт № 2 (1:1)	
	расчетное	экспериментальное	расчетное	экспериментальное
Al	2,1	27	1,3	2,2
As	0,001	0,07	0,001	0,08
Be	0,000003	н.п.о.	0,00002	н.п.о.
Ca	60,5	236	34,3	102
Cd	0,00009	н.п.о.	0,00005	н.п.о.
Co	0,0002	н.п.о.	0,0002	н.п.о.
Cr	0,0009	0,013	0,0007	н.п.о.
Cu	0,003	0,025	0,006	0,018
Fe	0,039	0,065	0,035	0,052
K	0,08	2,0	0,41	2,7
Li	0,02	н.п.о.	0,05	н.п.о.
Mg	0,04	1,5	0,2	5,3
Mn	0,0001	н.п.о.	0,0005	0,006
Mo	0,02	н.п.о.	0,01	н.п.о.
Na	0,2	1,1	0,87	1,8
Ni	0,0003	н.п.о.	0,0006	н.п.о.
P	0,004	0,12	0,01	1,7
Sr	0,5	1,9	0,3	0,69
Ti	0,001	0,012	0,003	н.п.о.
V	0,009	0,072	0,006	0,03
Zn	0,005	0,068	0,007	н.п.о.
S	8,4	13	5,0	9,1

Примечание: н.п.о. — ниже предела определения.

элементов в водных вытяжках, в том числе и по сравнению с расчетными значениями.

При этом в водных вытяжках возрастает содержание фосфора, калия, натрия и марганца, необходимых для роста растений.

В табл. 5 представлены результаты определения ионного состава исследуемых почвогрунтов. В целом водные вы-

тяжки из почвогрунтов характеризуются близким анионным составом. Установлено более высокое содержание сульфат- и нитрат-анионов в водной вытяжке почвогрунта, состоящего из 90% ЗШО и 10% окисленного каменного угля. Соответственно, снижение доли ЗШО в почвогрунте приводит к уменьшению концентрации сульфатов и нитратов в водных вытяжках.



Таблица 5

**Результаты определения ионного состава почвогрунта, мг/л**  
**The results of determining the ionic composition of the soil, mg/L**

Ионный состав	Почвогрунт № 1 (9:1)	Почвогрунт № 2 (1:1)
Хлорид-ионы	н.п.о	н.п.о
Сульфат-ионы	39	27
Нитрат-ионы	2,6	н.п.о.
Фторид-ионы	0,47	0,53

Примечание: н.п.о. — ниже предела определения.

Таблица 6

**Концентрации элементов в водных вытяжках почвогрунтов**  
**и показатели ОБМПЕ по отдельным элементам**  
**Concentrations of elements in aqueous extracts of soils**  
**and WMI indicators for individual elements**

№ пробы	Почвогрунт №1 (9:1)				Почвогрунт №2 (1:1)				ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
	расчетное		экспериментальное		расчетное		экспериментальное		
	С, мг/дм <sup>3</sup>	ОБМП <sub>Е</sub>	С, мг/дм <sup>3</sup>	ОБМП <sub>Е</sub>	С, мг/дм <sup>3</sup>	ОБМП <sub>Е</sub>	С, мг/дм <sup>3</sup>	ОБМП <sub>Е</sub>	
Li	0,02	0,25	н.п.о.	—	0,05	0,63	н.п.о.	—	0,08
Na	0,2	—	1,1	—	0,87	—	1,8	0,02	120
Mg	0,04	—	1,5	0,04	0,2	—	5,3	0,13	40
S	8,4	0,08	9,1	0,09	5,0	0,05	12,9	0,13	100
K	0,08	—	2,0	0,04	0,41	—	2,7	0,05	50
Ca	60,5	0,34	236	1,3	34,3	0,19	102	0,57	180
Ti	0,001	0,02	0,012	0,2	0,003	0,05	н.п.о.	—	0,06
V	0,009	9,0	0,072	72	0,006	6,0	0,03	30	0,001
Mn	0,0001	0,01	н.п.о.	—	0,0005	0,05	0,006	0,6	0,01
Fe	0,039	0,39	0,065	0,65	0,035	0,35	0,052	0,52	0,1
Co	0,0002	0,02	н.п.о.	—	0,0002	0,02	н.п.о.	—	0,01
Ni	0,0003	0,03	н.п.о.	—	0,0006	0,06	н.п.о.	—	0,01
Cu	0,003	3,0	0,025	25	0,006	6,0	0,018	18	0,001
Zn	0,005	0,5	0,068	6,8	0,007	0,7	н.п.о.	—	0,01
As	0,001	0,02	0,07	1,4	0,001	0,02	0,08	1,6	0,05
Sr	0,5	1,25	0,007	0,02	0,3	0,75	0,69	1,7	0,4
Mo	0,02	20	н.п.о.	—	0,01	10	н.п.о.	—	0,001

Примечание: С — измеренная концентрация элемента в водной вытяжке; ОБМП<sub>Е</sub> — ориентировочный водно-миграционный показатель в соответствии с Санитарными правилами СП 2.1.7.1386-03; ПДК — предельно допустимая концентрация элемента в водах рыбохозяйственного назначения; н.п.о. — ниже предела определения; «—» — значение близко к нулю.

В табл. 6 показаны значения ориентировочного водно-миграционного показателя (ОВМПЕ) по отдельным элементам для исследуемых почвогрунтов. Показатель ОВМПЕ рассчитывали как отношение концентрации элемента в растворе к его ПДК в водах рыбохозяйственного назначения. При расчете были использованы значения ПДК, приведенные в приказе Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Результаты показали, что потенциальными загрязнителями водных объектов для почвогрунта № 1 (9:1) являются ванадий (ОВМП<sub>Е</sub> = 72,0 ед.), медь (ОВМП<sub>Е</sub> = 25,0 ед.) и цинк, ОВМП<sub>Е</sub> которого составляет 6,8 ед. Для почвогрунта № 2 (1:1) потенциальными загрязнителями являются ванадий и медь. Однако степень превышения концентрации относительно ПДК в этом случае значимо ниже, чем для почвогрунта № 1. Все остальные элементы не представляют потенциальной опасности как загрязнители водных объектов. Снижение доли ЗШО в почвогрунте до 50% приводит к уменьшению соответствующих значений ОВМП<sub>Е</sub> указанных элементов.

### **Выводы**

1. В работе исследовано влияние различных методов активации на выход «свободных» гуминовых кислот из окис-

ленного каменного угля. Использование различных способов активации позволило существенно повысить выход гуминовых кислот. Установлено, что наибольший выход гуминовых кислот получен при использовании ультразвуковой активации. В связи с этим для получения почвогрунтов из окисленного каменного угля и золошлаковых отходов применяли ультразвуковую активацию.

2. Результаты исследования биологической активности опытных образцов почвогрунтов показали, что всхожесть на них семян овса находится на достаточно высоком уровне (96,7 и 100%). Однако показатели, влияющие на развитие и рост семян овса Виленского, такие как прирост длины корешка и стебля, для почвогрунтов значимо ниже, чем для вскрышных пород, которые используются для биологической рекультивации. Это связано, скорее всего, с высокой плотностью почвогрунтов и избыточной концентрацией в них гуматов. При внесении во вскрышные породы почвогрунтов в количестве 10% происходит существенное увеличение показателей, отражающих всхожесть и развитие корней и стебля овса.

3. Макро- и микроэлементный анализ водных вытяжек из почвогрунтов показал, что увеличение в составе почвогрунта окисленного каменного угля до 50% позволяет снизить эмиссию в водные объекты таких потенциально опасных элементов, как Cu, V и Zn. При этом увеличивается содержание водорастворимых форм таких агрохимически важных элементов, как P, Mg, K, Na.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тесленок С. А., Шперль Д. А. Загрязнение окружающей среды при открытой добыче полезных ископаемых // Огарёв-Online. — 2023. — № 4 (189). — 8 с.
2. Космаков В. И., Бадмаева С. Э., Бакач А. А. Этапы лесохозяйственной рекультивации земель, нарушенных при открытой добыче полезных ископаемых // International Agricultural Journal. — 2021. — № 6. — С. 765–784. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10430.

3. 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: 10.25018/0236-1493-20209-0-159-175.

4. Котович А. А., Гуман О. М. Оценка потенциального плодородия делювиальных суглинков Уральского региона для рекультивации нарушенных земель // Известия Уральского государственного горного университета. – 2014. – № 2(34). – С. 19–24.

5. Фоменко Н. А. Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: НИТУ «МИСиС», 2019. – 22 с.

6. Pavel J., Juraj L., Lucia Z., Silvie K., Lucie H. Czech and Slovak young brown coals in environmental applications // Nova Biotechnologica et Chimica. 2022, vol. 7, no. 1, pp. 85–91. DOI: 10.36547/nbc.1363.

7. Лаптева Е. М., Василевич Р. С., Лодыгин Е. Д. Торф и отходы промышленных предприятий Республики Коми как источник востребованных инновационных продуктов – гуминовых препаратов // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2020. – № 2 (213). – С. 35–43. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2020.2(213).6.

8. Bezuglova O., Klimentko A. Application of humic substances in agricultural industry // Agronomy. 2022, vol. 12, article 584. DOI: 10.3390/agronomy12030584.

9. Kwame A., Malinda S. T., Linda Y. G. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health // Frontiers in Agronomy. 2022, vol. 4. DOI: 10.3389/fagro.2022.848621.

10. Nikitina I. M., Epshtein S. A., Fomenko N. A., Kossovich E. L. Humic acids of solid fossil fuels – perspectives for application in technology and environment protection // Eurasian Mining. 2016, vol. 2, pp. 33–36. DOI: 10.17580/em.2016.02.08.

11. Шайхислам Г., Соловьев Т. М., Эпштейн С. А., Семина И. С. Оценка состава и свойств горных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов как материалов для биологической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7. – С. 21–37. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_7\_0\_21.

12. Никитина И. М. Разработка способа получения реагента на основе торфа для снижения содержания тяжелых металлов в сточных водах горных предприятий. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: НИТУ «МИСиС», 2015. – 24 с.

13. Москаленко Т. В., Михеев В. А., Ворсина Е. В. Деминерализация бурого угля Харанорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 148–158. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_148.

14. Байбакова Е. В., Нефедьева Е. Э., Белопухов С. Л. Исследование влияния современных протравителей на всхожесть и рост проростков зерновых культур // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – № 3 (18). – С. 57–64.

15. Zherebtsov S. I., Malyshenko N. V., Votolin K. S., Shpakodraev K. M., Ismagilov Z. R., Sokolov D. A., Androkhonov V. A. Dependence of the biological activity of brown coal humic acids on the concentrations of macro and trace elements // Solid Fuel Chemistry. 2021, vol. 55, no. 4, pp. 223–228. DOI: 10.3103/S036152192104011X.

16. Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолин К. С., Шпакодраев К. М., Исмагилов З. Р. Биологическая активность нативных и модифицированных гуминовых кислот // Химия твердого топлива. – 2020. – № 4. – С. 3–7. DOI: 10.31857/S002311772004009X.

17. Соколов Д. А., Добрянская С. Л., Андроханов В. А., Клековкин С. Ю., Госсен И. Н., Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолин К. С., Дугаржав Ж. Оценка влияния структурно-группового состава гуминовых кислот бурых углей на их биологическую активность в условиях техногенных ландшафтов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 5 (129). – С. 90–100.

18. Соловьев Т. М., Шайхислам Г. Б., Эпштейн С. А., Соколова М. Д. Исследование состава и свойств бурых углей Якутии как сырья для получения гуминовых препаратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 67–79. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_67.

19. Кожевников Ю. А., Сербин В. В. Экстракция гуминовых веществ из бурых углей Канско-Ачинского бассейна при ультразвуковом воздействии // Труды Академэнерго. – 2019. – № 2 (55). – С. 89–97.

20. Tanzharikov P., Ermukhanova N., Tashimova A., Abilbek Zh., Kerimbekova Z. Technogenic impact of radionuclides on oil and gas facilities (on the example of the Kumkol field) // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021, vol. 16, no. 8.

21. Воронина Л. П., Якименко О. С., Терехова В. А. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов // *Агрехимия*. — 2012. — № 6. — С. 50–57. **ГИАЭ**

## REFERENCES

1. Teslenok S. A., Shperl D. A. Environmental pollution with open-pit mining. *Ogarev-Online*. 2023, no. 4 (189), 8 p. [In Russ].

2. Kosmakov V. I., Badmaeva S. E., Bakach A. A. Stages of forestry recovery of land disturbed by open mining of mineral resources. *International Agricultural Journal*. 2021, no. 6, pp. 765–784. [In Russ]. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10430.

3. Semina I. S., Androkhonov V. A., Kulyapina E. D. The experience of using coal washing rejects in reclamation of disturbed lands. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 9, pp. 159–175. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-20209-0-159-175.

4. Kotovich A. A., Guman O. M. Evaluation of the potential fertility deluvial loam in the Ural region for recultivation of dislocated grounds. *News of the Ural State Mining University*. 2014, no. 2(34), pp. 19–24. [In Russ].

5. Fomenko N. A. *Primenenie okislennykh burykh ugley dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti utilizatsii zoloshlakovykh otkhodov* [The use of oxidized brown coals to improve the environmental safety of ash and slag waste disposal], Candidate's thesis, Moscow, NITU «MISiS», 2019, 22 p.

6. Pavel J., Juraj L., Lucia Z., Silvie K., Lucie H. Czech and Slovak young brown coals in environmental applications. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2022, vol. 7, no. 1, pp. 85–91. DOI: 10.36547/nbc.1363.

7. Lapteva E. M., Vasilevich R. S., Lodygin E. D. Peat and industrial waste of the Komi Republic as a source of in-demand innovative products – humic preparations. *Vestnik Instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN*. 2020, no. 2 (213), pp. 35–43. [In Russ]. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2020.2(213).6.

8. Bezuglova O., Klimenko A. Application of humic substances in agricultural industry. *Agronomy*. 2022, vol. 12, article 584. DOI: 10.3390/agronomy12030584.

9. Kwame A., Malinda S. T., Linda Y. G. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*. 2022, vol. 4. DOI: 10.3389/fagro.2022.848621.

10. Nikitina I. M., Epshtein S. A., Fomenko N. A., Kossovich E. L. Humic acids of solid fossil fuels – perspectives for application in technology and environment protection. *Eurasian Mining*. 2016, vol. 2, pp. 33–36. DOI: 10.17580/em.2016.02.08.

11. Shaikhislam G., Solovov T. M., Epstein S. A., Semina I. S. Estimate of composition and properties of rocks, oxidized coal and ash and slag waste as materials for biological reclamation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 7, pp. 21–37. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_7\_0\_21.

12. Nikitina I. M. *Razrabotka sposoba polucheniya reagenta na osnove torfa dlya snizheniya soderzhaniya tyazhelykh metallov v stochnykh vodakh gornykh predpriyatii* [Development of a method for obtaining a peat-based reagent to reduce the content of heavy metals in wastewater from mining enterprises], Candidate's thesis, Moscow, NITU «MISiS», 2015, 24 p.

13. Moskalenko T. V., Mikheev V. A., Vorsina E. V. Demineralization of Kharanor lignite. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 12-1, pp. 148–158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_12\_1\_148.

14. Baybakova E. V., Nefed'eva E. E., Belopukhov S. L. Assessment of the influence of modern protectants on the germination of seeds and growth of seedlings of grain crops Assessment of the influence of modern protectants on the germination of seeds and growth of seedlings of grain crops. *Proceedings of Universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2016, no. 3 (18), pp. 57–64. [In Russ].

15. Zherebtsov S. I., Malysenko N. V., Votolin K. S., Shpakodraev K. M., Ismagilov Z. R., Sokolov D. A., Androkhonov V. A. Dependence of the biological activity of brown coal humic acids on the concentrations of macro and trace elements. *Solid Fuel Chemistry*. 2021, vol. 55, no. 4, pp. 223–228. DOI: 10.3103/S036152192104011X.

16. Zherebtsov S. I., Malysenko N. V., Votolin K. S., Shpakodraev K. M., Ismagilov Z. R. Biological activity of native and modified humic acids. *Khimiya Tverdogo Topliva*. 2020, no. 4, pp. 3–7. [In Russ]. DOI: 10.31857/S002311772004009X.

17. Sokolov D. A., Dobryanskaya S. L., Androkhanov V. A., Klekovkin C. Yu., Gossen I. N., Zherebtsov S. I., Malysenko N. V., Votolin K. S., Dugarzhav Zh. Assessment of the structural-group composition of humic acid from brown coals impact on their biological activity in conditions of technogenic landscapes. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2018, no. 5 (129), pp. 90–100. [In Russ].

18. Solovev T. M., Shaikhislam G. B., Epstein S. A., Sokolova M. D. Properties and composition of Yakutian lignite as a source of humic substances. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 1, pp. 67–79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_67.

19. Kozhevnikov Y. A., Serbin V. V. Extraction of humic substances from lignite of the Kansk-Achinsk basin by ultrasonic treatment. *Transactions of Academenergo*. 2019, no. 2 (55), pp. 89–97. [In Russ].

20. Tanzharikov P., Ermukhanova N., Tashimova A., Abilbek Zh., Kerimbekova Z. Technogenic impact of radionuclides on oil and gas facilities (on the example of the Kumkol field). *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021, vol. 16, no. 8.

21. Voronina L. P., Yakimenko O. S., Terekhova V. A. Phytotesting of commercial humic products. *Agrochemistry*. 2012, no. 6, pp. 50–57. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шайхислам Гулшат<sup>1</sup> — аспирант,  
e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com,

ORCID ID: 0009-0004-6988-1747,

Соловьев Тускул Михайлович<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
ведущий инженер научного проекта,

e-mail: tuskulsolovev@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-7824-7623,

Эпштейн Светлана Абрамовна<sup>1</sup> — д-р техн. наук,  
профессор, зав. лабораторией,

e-mail: apshtein@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0001-8356-4319,

Пестряк Ирина Васильевна<sup>1</sup> — д-р техн. наук,  
профессор, зав. кафедрой,

e-mail: spestryak@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1745-6579,

Семина Ирина Сергеевна — канд. биол. наук,

доцент, директор Центра «Геоэкология»,

Сибирский государственный индустриальный

университет, e-mail: semina.i@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-9222-0358.

<sup>1</sup> НУИЛ «Физико-химия угля», НИТУ МИСиС.

Для контактов: Шайхислам Г., e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

G. Shaikhislam<sup>1</sup>, Graduate Student,  
e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com,

ORCID ID: 0009-0004-6988-1747,

T.M. Solovev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),

Leading Engineer of Scientific Project,

e-mail: tuskulsolovev@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-7824-7623,

S.A. Epstein<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Head of Laboratory, e-mail: apshtein@yandex.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-8356-4319,  
I.V. Pestryak<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Head of Chair, e-mail: spestryak@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-1745-6579,  
I.S. Semina, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor,  
Director of the Center «Geoecology»,  
Siberian State Industrial University,  
654007, Novokuznetsk, Russia,  
e-mail: semina.i@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-9222-0358,

<sup>1</sup> Research Testing Laboratory of Physics and Chemistry of Coals,  
NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** G. Shaikhislam, e-mail: gulshatshaikhislam@gmail.com.

Получена редакцией 08.04.2024; получена после рецензии 13.05.2024; принята к печати 10.07.2024.  
Received by the editors 08.04.2024; received after the review 13.05.2024; accepted for printing 10.07.2024.



---

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ  
(СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

**ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГЛЯ**  
(2024, № 4, СВ 10, 44 с.)

Архипов Игорь Александрович – аспирант, НИТУ МИСИС,  
e-mail: cond-95@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-6557-1471.

Выполнен анализ горнотехнических условий ведения открытых горных работ на угольных месторождениях в зонах с высоким содержанием метана. Создана усредненная модель разреза, работающего в метановой зоне. Определены критически важные параметры: максимальная глубина, на которой ведется добыча угля, интервал распространения метановой зоны, мощность добываемого полезного ископаемого и другие. Проведена классификация горнотехнических условий, характеризующих залегание угольных пластов в метановых зонах, доступных для открытой разработки. Осуществлен анализ методик оценки выбросов парниковых газов, производимых угольными разрезами. Предложена новая методика для более точной оценки эмиссии парниковых газов при открытой добыче угля, которая предполагает улучшенный подход к анализу и учету всех возможных источников выбросов в процессе добычи, что обеспечивает более точное и объективное понимание экологического воздействия угольных разрезов на атмосферу.

**PROBLEMS OF GREENHOUSE GAS MONITORING IN OPEN-PIT COAL MINING**

I. A. Arhipov, Graduate Student, NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia,  
e-mail: cond-95@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-6557-1471.

The analysis of mining engineering conditions for open-pit mining in coal deposits in areas with high methane content was performed. An average model of a section operating in the methane zone has been created. Critical parameters have been determined: the maximum depth at which coal mining is carried out, the range of the methane zone, the power of the extracted mineral, and others. The classification of mining conditions characterizing the occurrence of coal seams in methane zones available for open-pit mining has been carried out. The analysis of methods for estimating greenhouse gas emissions produced by coal mines has been carried out. A new methodology has been proposed for a more accurate assessment of greenhouse gas emissions from open-pit coal mining, which involves an improved approach to analyzing and accounting for all possible sources of emissions during mining, which provides a more accurate and objective understanding of the environmental impact of coal mines on the atmosphere.