

## ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИЯ БУРОГО УГЛЯ ХАРАНОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Т. В. Москаленко<sup>1</sup>, В. А. Михеев<sup>1</sup>, Е. В. Ворсина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

**Аннотация:** В настоящее время перед предприятиями горнодобывающей отрасли остро стоит вопрос обеспечения конкурентоспособности самого предприятия и его продукции в условиях постоянно увеличивающийся доли трудноизвлекаемых запасов. Не является исключением и ситуация в угледобывающей отрасли. Основное требование к углю различных направлений использования сводится к повышению доли органической части за счет снижения вредных и балластных составляющих – минеральных веществ и влаги, что достигается путем обогащения. Последнее время широко востребованными становятся малозольные угли, но снижение зольности традиционными методами обогащения сопряжено с большими трудностями вследствие тонкой вкрапленности минеральных образований в угольном веществе. Решение данной проблемы и расширение сырьевой базы возможно на основе процессов химического удаления минеральных включений – химической деминерализации. В этой связи в работе приводятся результаты по деминерализации бурого угля Харанорского месторождения реагентами (соляная, фосфорная, серная, азотная, уксусная и лимонная кислоты, пероксид водорода, перманганат калия) различных концентраций. Показано, что под действием практически всех выбранных химических реагентов происходит снижение зольности образцов, но наибольший эффект снижения зольности отмечен при применении соляной кислоты концентрацией 10%. Авторами рассмотрено изменение не только зольности проб угля, но и органической массы, например, выход гуминовых кислот и теплота сгорания. Это часть исследования показала, что все исследуемые химические вещества (исключая перманганат калия) имеют окисляющее действие на органическую массу бурого угля, соответствующее второй стадии окисления. По совокупности исследуемых показателей наибольшее снижение зольности при наименьших изменениях органической массы показала соляная кислота в концентрации 1%.

**Ключевые слова:** твердые горючие ископаемые, бурый уголь, деминерализация, зольность, переработка, окисление, органические кислоты, неорганические кислоты, гуминовые кислоты.

**Для цитирования:** 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.

### Demineralization of Kharanor lignite

T. V. Moskalenko<sup>1</sup>, V. A. Mikheev<sup>1</sup>, E. V. Vorsina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

**Abstract:** At the present time, the mining industry faces a challenge connected with maintenance of competitive ability of mines and mining products in the conditions of continuously increasing percent of hard-to-recover reserves. This is dead valid for the coal mining industry. The main requirement imposed on various coal grades reduces to the increase in organic part and decreased content of harmful impurities and inert substances and moisture, which is achieved by means of dressing. For some time past, low-ash coal enjoys wider demand but traditional reduction of ash content of coal is associated with much difficulty due to fine impregnation of impurities in coal. The problem can be solved based on chemical removal of mineral impurities—chemical demineralization. This article describes demineralization results obtained on lignite from Kharanor deposit using different concentrations of various agents (hydrochloric/phosphoric/sulfuric/nitric/acetic/citric acids, hydrogen peroxide, potassium permanganate). It is shown that almost all selected chemical agents reduce the ash content of the test samples, and the highest decrease in the ash content is observed with hydrochloric acid taken at the concentration of 10 %. Furthermore, the authors assessed the change in organic mass by the change in the humic acid yield and combustion heat. All test chemicals, except for potassium permanganate, have oxidizing action on the organic part of lignite, which fits with the second stage of oxidation. By the test indicators in the aggregate, the highest reduction in ash content at the lowest variation in the organic part of coal is demonstrated by hydrochloric acid at the concentration of 1%.

**Key words:** solid fuel, lignite, demineralization, ash content, processing, oxidation, organic acids, inorganic acids, humic acids.

**For citation:** Moskalenko T. V., Mikheev V. A., Vorsina E. V. Demineralization of Kharanor lignite. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):148–158. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_148.

## **Введение**

Российская Федерация является одним из мировых лидеров по запасам, объемам производства и экспорта энергетических ресурсов, основную часть которых составляет ископаемое топливо — нефть, газ и уголь. События последних лет (кризис на нефтяном рынке, газовое противостояние России и США, заявление об отказе от угля в Европе) создают впечатление, что совсем скоро угольная продукция будет не востребована. Однако в действительности угольная генерация преобладает в мировом энергобалансе по сравнению с другими видами производства электроэнергии и по оценкам аналитиков в ближайшие десятилетия не собирается сдавать свои ведущие позиции. Прямым доказательством этому служит то, что в РФ в период с 2008 по 2020 год добыча нефти с конденсатом выросла более чем на 14%, добыча

газа увеличилась на 9,1%, а добыча угля увеличилась на 35%. Россия располагает значительными ресурсами угля — более 4 000 млрд т. Преобладающую долю ресурсов составляет энергетический уголь — 3641,9 млрд т (89%), и только 445,6 млрд т (11%) — коксующийся уголь. Основная доля угольных ресурсов сосредоточена в Сибири (64%) и на Дальнем Востоке (30%), в европейской части России и на Урале (6%). При этом наиболее низкая себестоимость добычи — у месторождений Восточной Сибири [1], где в настоящее время перспективным направлением развития угольной отрасли является экспорт качественных углей [2].

Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [1] перед предприятиями угледобывающей промышленности ставит задачи обеспечения конкурентоспособности самого предприятия и его продукции в условиях

постоянно увеличивающейся доли трудноизвлекаемых запасов, что показывает необходимость решения вопросов улучшения качества угольной продукции, а также повышения энергетического потенциала топлива и его экологичности. Соответственно, предлагаться к внедрению, рассмотрению, продвижению должны не только технологии обогащения углей, но и технологии переработки в целях комплексного использования.

Основное требование к углю как топливу для энергетики сводится к увеличению теплоты сгорания рабочей массы, т.е. повышению доли органической части за счет снижения вредных и балластных составляющих — минеральных веществ и влаги [3]. По расчетам, выполненным применительно к углям различных бассейнов, при снижении зольности на 1% теплота сгорания повышается на 295—327 кДж/кг [4]. Требование к углю как к сырью для глубокой переработки не так однозначно, так как в этом направлении много нюансов [5].

Особо следует отметить перспективы использования малозольных углей в современной промышленности, например, как топливо для турбин, двигателей внутреннего сгорания, в химических технологиях при производстве жидких топлив [6—8]. В таких сферах использования количество минеральных включений должно составлять менее 1%. Однако снижение зольности угольных концентратов традиционными методами обогащения сопряжено с большими трудностями вследствие тонкой вкрапленности минеральных образований в угольном веществе. Решение данной проблемы становится возможным на основе процессов химического удаления минеральных включений — химической деминерализации. Чаще всего деминерализация угольной массы

рассматривается как способ снижения зольности и, соответственно, повышения качества угольных концентратов. Это связано с тем, что в последние годы выросла конкуренция на внутреннем и внешнем рынках, а также с ужесточением требований к защите окружающей среды при технологическом использовании углей и создании сырьевой базы для углехимической промышленности [5]. При этом деминерализация угольной массы позволяет не только расширить условия процессов переработки углей, но и получить продукты с более разнообразными свойствами.

В то же время у деминерализации есть достаточно новое направление — получение сверхчистых углей. Например, в Великобритании исследования показали возможность снижения доли вредных примесей до 0,1% от общей массы готового продукта, что приближает угольное топливо к нефтепродуктам [9].

#### **Методы и задачи исследования**

Химическое воздействие на угольное вещество затрагивает как минеральную часть, так и органическую. При деминерализации основной акцент ставится на снижении минеральной составляющей, но неизбежные изменения в органической массе также должны быть учтены, и их глубина должна соответствовать направлению их дальнейшего использования.

Деминерализация угля достигается обработкой всей массы растворами химических реагентов (чаще неорганических кислот), и необходимым условием идет либо минимальное изменение угольного органического вещества (для энергетического применения), либо некоторая трансформация (частичная или даже полная) угольной матрицы, если это в дальнейшем ведет к упрощению последующих стадий переработки.

Окисленный уголь — это форма твердого углерода, на поверхности которой находятся кислородсодержащие функциональные группы [10]. Окисление органической массы твердых горючих ископаемых как химический процесс можно рассматривать с двух позиций: самопроизвольное окисление (автоокисление) и направленное окисление. Автоокисление протекает в естественных условиях в пластах, при хранении на складах, при транспортировке, является нежелательным процессом, поскольку протекает бесконтрольно, снижает качество углей и приводит к самовозгоранию. Направленное окисление является основой переработки углей с получением полезных продуктов, и ему в разных целях подвергаются как бурые, так и каменные угли [11 — 14].

Задача исследования — изучить возможность снижения зольности исходных проб угля в результате воздействия окисляющих веществ на минеральную часть углей и оценить сопутствующие изменения органической массы.

Наиболее полное растворение минеральной составляющей происходит при последовательном воздействии на угольное вещество несколькими кислотами. Например, стандартный метод определения минерального вещества [15] проводится обработкой соляной и фтористоводородной кислотами, при этом данный метод не оговаривает глубину изменений органической массы, так как имеет другие вполне определенные цели.

При воздействии кислот на минеральное вещество в общем случае образуются соли, и для успешной деминерализации эти соли должны быть растворимы в воде. Таким образом, результат кислотного воздействия тесно связан с составом минеральной части.

Органическая угольная масса имеет сложное строение и включает в себя

углерод, кислород, водород, азот и органическую серу. Углерод инертен к кислотному воздействию, но для угольной массы в целом кислоты являются хорошими окислителями [16].

Направленная окислительная деструкция как каменных, так и бурых углей различными окислителями первоначально осуществлялась с целью познания их химического строения, так как эта реакция в дополнении с гидролизом позволяет получить более простые их фрагменты и идентифицировать их. В дальнейшем окисление стало рассматриваться уже как основа технологического процесса получения различных химических продуктов, необходимых для народного хозяйства [11 — 13]. Выход и состав продуктов зависят от генетической природы твердых горючих ископаемых, окислителя и условий процесса [16].

В общем случае при воздействии химических веществ при окислении углей изменяется выход летучих веществ и элементный состав, происходит снижение теплоты сгорания и ухудшение спекаемости, снижается выход продуктов коксования (смолы, сырого бензола и газа) и теплота сгорания коксового газа. Окислительному изменению органической массы наиболее подвержены бурые и, в меньшей степени, каменные угли. Для бурых углей характерно резкое возрастание содержания гуминовых кислот, в каменных углях появляются вторичные гуминовые кислоты [17, 18].

По глубине влияния на угольное вещество процесс окисления можно разделить на три стадии [19]:

– первая стадия окисления — поверхностное окисление, когда наблюдается присоединение кислорода с образованием на поверхности угля групп, обладающих кислотными свойствами;

– на второй стадии окисления значительная часть органического вещества угля превращается в продукты, растворимые в щелочи, образуются так называемые «регенерированные» гуминовые кислоты;

– при третьей стадии продукты окисления становятся растворимыми не только в щелочи, но и в воде с получением кислот.

Таким образом, степень деминерализации оценивалась по снижению зольности пробы угля, изменения органической массы — по изменению выхода гуминовых кислот и теплоты сгорания. Трудность изучения механизма окисления органической массы углей заключается в сложности и неоднозначности состава и структуры вещества углей как органического, так и неорганического. Это влечет за собой сложность и неоднозначность химических реакций, протекающих при окислении твердых горючих ископаемых. В этом случае способ изучения данного процесса приобретает экспериментально-статистический характер с выделением общих закономерностей. Однако изучение окисления даже на таком уровне имеет большое теоретическое значение в области изучения химической структуры угля. Изучение влияния окисления на органическую массу углей через изменение выхода гуминовых кислот — это опосредованный метод, он не дает ответ, какие именно изменения произошли в органической массе, а просто показывает их интенсивность.

### **Экспериментальная часть**

Объектом для изучения деминерализации угольной массы приняты бурые угли технологической группы 2 Б Харанорского месторождения, расположенного в Борзинском районе Забайкальского края. Аналитическая влага пробы угля ( $W^a$ ) составляла 6,6%;

исходная зольность ( $A^d$ ) на сухую массу — 7,3%; выход летучих веществ ( $V^{daf}$ ) из сухого беззольного топлива — 45,4%. Выход свободных гуминовых кислот ((НА)<sup>f</sup>) изучаемой пробы низкий и составлял 6,7%, низшая теплота сгорания  $Q^{as} = 21,2$  МДж/кг. Химический состав золы угля Харанорского месторождения (%):  $SiO_2$  24,5–52,7;  $Al_2O_3$  14,1–25,2;  $Fe_2O_3$  4,8–12,2;  $CaO$  10,2–28,6;  $MgO$  3,2–8,0.

Экспериментальная часть заключалась в обработке пробы бурого угля различными реагентами. Для проведения экспериментов по деминерализации были выбраны химические вещества разных классов и силы. Из неорганических химических веществ применялись соляная, фосфорная, серная и азотная кислоты, а также пероксид водорода и перманганат калия, из органических химических веществ применялись уксусная и лимонная кислоты.

Для проведения экспериментов проба угля подготавливалась дроблением до аналитической крупности (менее 0,2 мм). Пробу заливали реагентом определенной концентрации при объемном соотношении Т : Ж, равном 2 : 5, так, что угольная масса полностью была погружена в жидкую среду. В среде реагента уголь оставляли на 1 час с периодическим перемешиванием. По истечении запланированного времени пробу перемещали на фильтр, промывали водой и сушили до воздушно-сухого состояния. Для полученной деминерализованной пробы проводили технический анализ с определением влажности, зольности, выхода летучих веществ, выхода гуминовых кислот и теплоты сгорания.

### **Обсуждение результатов**

Результаты экспериментов показали, что, в зависимости от типа реагента и его концентрации, изменения

в пробе и действие реагентов на зольную составляющую бурого угля различны. Для исследуемой пробы бурого угля Харанорского месторождения снижение зольности происходит при воздействии всеми рассматриваемыми реагентами, кроме перманганата калия (рис. 1 и 2).

Неорганические кислоты приводят к хорошему снижению зольности, и степень снижения зависит от концентрации кислоты (рис. 1). Минимальная зольность пробы угля получена при окислении 10%-й соляной кислотой, обработка которой позволила снизить зольность почти в три раза. Органические кислоты (рис. 2) также показали хороший результат по снижению зольности проб угля. Лимонная

кислота показала ту же тенденцию, что и неорганические кислоты — стабильное снижение зольности с увеличением концентрации, — а уксусная кислота показала значительно меньшее снижение при сравнении результатов по снижению зольности не только 1 и 10%-х концентраций, но и при обработке уксусной эссенцией (70%-я концентрация уксусной кислоты).

Пероксид водорода для снижения зольности оказался малоэффективным, а перманганат калия (рис. 2), который считается хорошим окислителем, при воздействии на харанорский бурый уголь показал, что обработки этим реагентом не привели к снижению зольности, а наоборот показали ее значительное увеличение, соответственно,

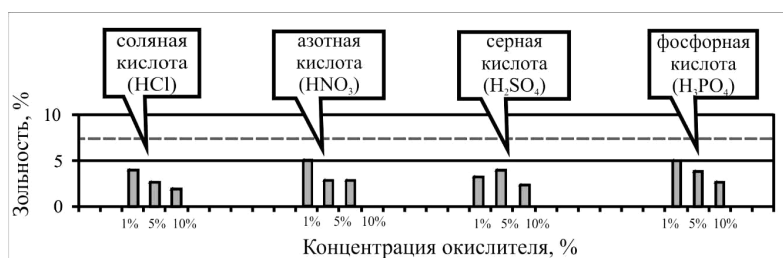


Рис. 1. Изменение зольности проб бурого угля Харанорского месторождения при деминерализации неорганическими кислотами (- - - — зольность исходного угля)  
 Fig. 1. Change in ash content of brown coal samples from the Kharanor deposit during demineralization with inorganic acids (- - - — ash content of the original coal)

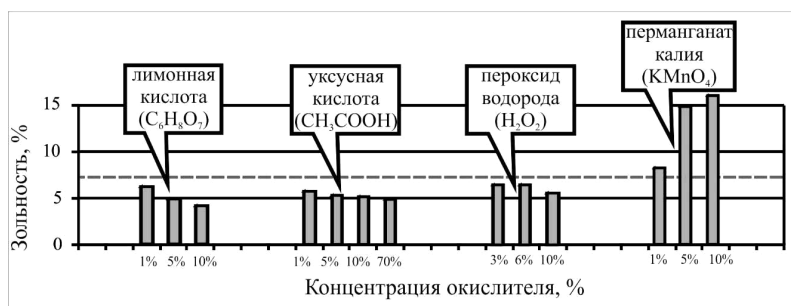


Рис. 2. Изменение зольности проб бурого угля Харанорского месторождения при деминерализации органическими кислотами, пероксидом водорода и перманганатом калия (- - - — зольность исходного угля)  
 Fig. 2. Change in ash content of brown coal samples from the Kharanor deposit during demineralization with organic acids, hydrogen peroxide and potassium permanganate (- - - — ash content of the original coal)

в пробе образовались нерастворимые минеральные соединения.

Проведенные эксперименты показали, что действие сильной (соляной) и слабой (фосфорной) неорганических кислот на степень окисления органической массы углей практически сопоставимо с действием слабых органических (уксусной и лимонной) кислот тех же концентраций (рис. 3–4), при этом

в общем случае при повышении концентрации окислителя выход гуминовых веществ увеличивается. Наибольшее повышение выхода гуминовых кислот отмечено при окислении углей пероксидом водорода при концентрации 6–10%. Серная и азотная кислоты (рис. 3) также показали небольшое воздействие по увеличению исследуемого показателя. Для бурого угля Харанор-

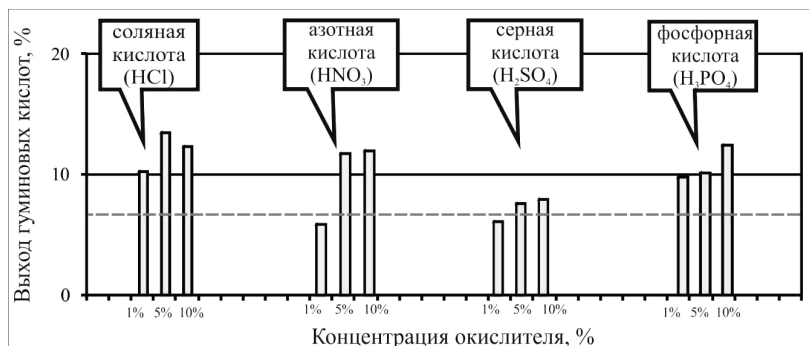


Рис. 3. Изменение выхода гуминовых кислот в пробах бурого угля Харанорского месторождения при деминерализации неорганическими кислотами (- - - выход гуминовых кислот из исходного угля)

Fig. 3. Changes in the yield of humic acids in brown coal samples from the Kharanor deposit during demineralization with inorganic acids (- - - yield of humic acids from the original coal)

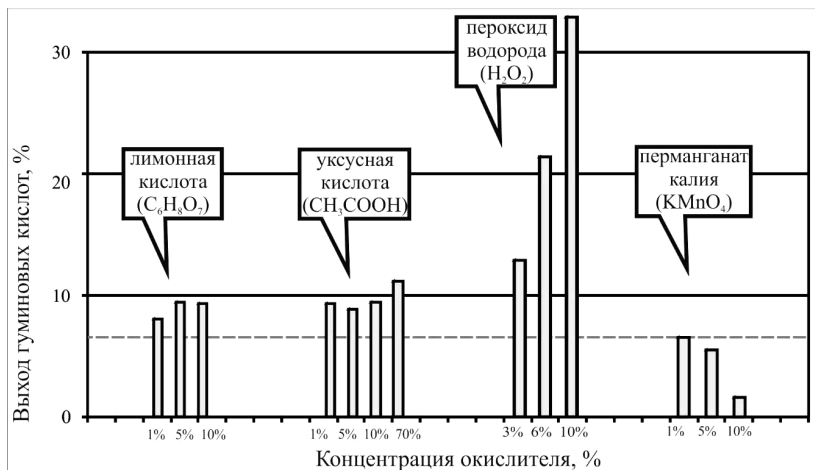


Рис. 4. Изменение выхода гуминовых кислот в пробах бурого угля Харанорского месторождения при деминерализации органическими кислотами, пероксидом водорода и перманганатом калия (- - - выход гуминовых кислот из исходного угля)

Fig. 4. Change in the yield of humic acids in brown coal samples from the Kharanor deposit during demineralization with organic acids, hydrogen peroxide and potassium permanganate (- - - yield of humic acids from the original coal)

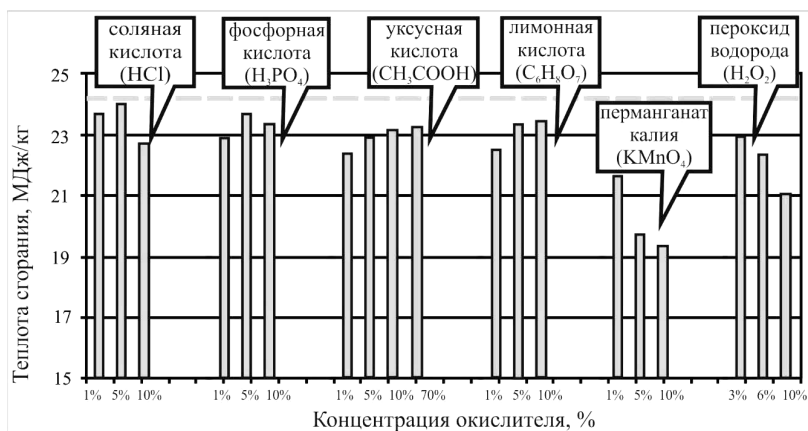


Рис. 5. Изменение теплоты сгорания при деминерализации бурого угля Харанорского месторождения (— — — уровень теплоты сгорания проб исходного угля)

Fig. 5. Changes in the calorific value during demineralization of brown coal from the Kharanor deposit (— — — the level of heat of combustion of samples of the original coal)

ского месторождения эти кислоты при концентрации 1% ведут к снижению, а при 5 и 10%-й концентрации ведут к повышению выхода гуминовых кислот, при этом азотная кислота более эффективна.

Окисление перманганатом калия (рис. 4) не увеличило выхода гуминовых кислот: наоборот, отмечено снижение этого показателя. С увеличением концентрации перманганата калия выход гуминовых кислот заметно снижается. Это связано, с одной стороны, со значительным повышением зольности (рис. 2), а с другой стороны, можно предположить, что воздействие этого химического вещества на органическую массу угля Харанорского месторождения привело к разрушению гуминовых кислот.

Действие окислителей на органическую массу, как отмечалось выше, также можно оценить по изменению теплоты сгорания (рис. 5). Наибольшее снижение теплоты сгорания отмечено при окислении соляной кислотой (10%) и пероксидом водорода (10%), что совпадает с результатами изучения эффективности окисления органи-

ческой массы по выходу гуминовых кислот, где именно эти два окислителя показали высокий результат.

## Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований по деминерализации бурого угля Харанорского месторождения установлено, что:

- под действием практически всех выбранных химических реагентов отмечено снижение зольности;
- наибольший эффект снижения зольности отмечен при применении соляной кислоты концентрацией 10%;
- все исследуемые химические вещества (исключая перманганат калия) имеют окисляющее действие на органическую массу бурого угля, соответствующее второй стадии окисления, о чем свидетельствует повышение выхода гуминовых веществ и снижение теплоты сгорания;
- по совокупности исследуемых показателей (зольность — выход гуминовых кислот — теплота сгорания) наибольшее снижение зольности при наименьших изменениях органической массы показала соляная кислота в концентрации 1%.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [Электронный ресурс]: утверждено распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Чебан А. Ю., Хрунина Н. П. Техника и технологии разработки угольных разрезов Приамурья и перспективы их развития // Маркшейдерия и недропользование. — 2015. — № 1. — С. 19–21.

3. Mittalab S., Pathaka S., Dhawana H., Upadhyayula S. A machine learning approach to improve ignition properties of high-ash Indian coals by solvent extraction and coal blending // Chemical Engineering Journal, 2021, June, Vol. 413, no. 1, 127385. DOI: 10.1016/j.cej.2020.127385.

4. Рубан В. А. Современное состояние процессов обогащения углей // Химия твердого топлива. — 2005. — № 1. — С. 101–106.

5. Головин Г. С., Бычев М. И., Москаленко Т. В., Петрова Г. И., Михеев В. А. Угольная база Республики Саха (Якутия) и основные направления ее использования // Химия твердого топлива. — 2007. — № 2. — С. 3–9.

6. Кузнецов П. Н., Колесникова С. М., Каменский Е. С., Кузнецова Л. И. Влияние минеральных веществ на реакционную способность бурого угля при паровой газификации в условиях высокого давления // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2013. — № 1. — Т. 6. — С. 83–94.

7. Jing Z., Balucan R. D., Underschultz J., Zou C., Steel K. M. Chemical stimulation for enhancing coal seam permeability: Laboratory study into permeability variation and coal structure examination // International Journal of Coal Geology, 15 February 2020, Vol. 219, 103375. DOI: 10.1016/j.coal.2019.103375.

8. Sriramoju K., Kumarb D., Majumdar S., Dashd P. S., Sheec D., Banerjee R. Sustainability of coal mines: Separation of clean coal from the fine-coal rejects by ultra-fine grinding and density-gradient-centrifugation // Powder Technology, May 2021, Vol. 383, pp. 356–370. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.01.061.

9. Steel K. M., Patrick J. W. The production of ultra clean coal by chemical demineralization // Fuel and Energy Abstracts, July 2002, Vol. 43(4), pp. 238. DOI: 10.1016/S0140–6701(02)86087–8.

10. Гиндулин И. К., Юрьев Ю. Л., Еранкин С. В., Петров Л. А. Исследование процесса окисления активного древесного угля кислородом воздуха // Химия растительного сырья. — 2007. — №4. — С. 117–120.

11. Карипова Г. Ж., Сампаева Ж. Б., Фазылов С. Д., Татеева А. Б., Каримова А. Б. Изучение влияния модифицирующего воздействия на экстракционный выход битуминозных веществ бурого угля // Успехи химии и химической технологии. — 2016. — Том XXX. — № 9. — С. 95–96.

12. Москаленко Т. В., Михеев В. А. Окислительное воздействие на кангаласский бурый уголь для повышения выхода гуминовых кислот // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7 (специальный выпуск 30). — С.220–227.

13. Москаленко Т. В., Михеев В. А., Ворсина Е. В. Повышение извлечения гуминовых веществ из бурого угля Харанорского месторождения направленным окислением // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 2 (часть 3). — С. 435–440. ; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35648> (дата обращения: 01.07.2021).

14. Усанбаев Н. Х., Азимов А. Х., Холов И. А. Влияние на растворимость трикальцийфосфата гуминовых кислот окисленного ангренского угля азотной кислотой в присутствии уксусной кислоты // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. — 2017. — № 3 (36). URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/4501> (дата обращения: 01.07.2021).

15. ГОСТ 29086—91 (ИСО 602—83) Уголь. Метод определения минерального вещества // ГОСТ от 09 августа 1991 г. № 29086—91. М.: Издательство стандартов, 1991. — 8 с.

16. Глущенко И. М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых. — М.: Metallurgiya, 1990. — 296 с.

17. Химия и переработка угля / В. Г. Липович, Г. А. Калабин, И. В. Калечиц и др. — М.: Химия, 1988. — 336 с.

18. Sabar M. A., Ali M. I., Fatima N., Malik A. Y., Jamal A., Liaquat R., He H., Liu F.-J., Guo H., Urynowicz M., Huang, Z. Evaluation of humic acids produced from Pakistani subbituminous coal by chemical and fungal treatments // *Fuel*, 2020, 15 October, Vol. 278, 118301. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.118301.

19. Караваяев Н. М. Химическая переработка топлив (химия и технология). — М.: Наука, 1965. — 358 с. **ПАТБ**

## REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 goda* [Russia's Energy strategy for the period up to 2035]: utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 9 iyunya 2020 g. no. 1523-r. Dostup iz sprav.-pravovoi sistemy «Konsul'tantPlyus».

2. Cheban A. Yu., Khrunina N. P. Tekhnika i tekhnologii razrabotki ugol'nykh razrezov Priamur'ya i perspektivy ikh razvitiya. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*. 2015, no. 1, pp. 19—21. [In Russ].

3. Mittalab S., Pathaka S., Dhawana H., Upadhyayula S. A machine learning approach to improve ignition properties of high-ash Indian coals by solvent extraction and coal blending. *Chemical Engineering Journal*, 2021, June, Vol. 413, no. 1, 127385. DOI: 10.1016/j.cej.2020.127385.

4. Ruban V. A. Sovremennoe sostoyanie protsessov obogashcheniya uglei. *Khimiya tverdogo topliva*. 2005, no. 1, pp. 101—106. [In Russ].

5. Golovin G. S., Bychev M. I., Moskalenko T. V., Petrova G. I., Mikheev V. A. Ugol'naya baza Respubliki Sakha (Yakutiya) i osnovnye napravleniya ee ispol'zovaniya. *Khimiya tverdogo topliva*. 2007, no. 2, pp. 3—9. [In Russ].

6. Kuznetsov P. N., Kolesnikova S. M., Kamensky E. S., Kuznetsova L. I. Influence of mineral components on reactionary ability of brown coal at steam gasification in the conditions of a high pressure. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2013, no. 1, Vol. 6, pp. 3—14. [In Russ].

7. Jing Z., Balucan R. D., Unterschultz J., Zou C., Steel K. M. Chemical stimulation for enhancing coal seam permeability: Laboratory study into permeability variation and coal structure examination. *International Journal of Coal Geology*, 15 February 2020, Vol. 219, 103375. DOI: 10.1016/j.coal.2019.103375.

8. Sriramojua K., Kumarb D., Majumdarc S., Dashd P. S., Sheec D., Banerjee R. Sustainability of coal mines: Separation of clean coal from the fine-coal rejects by ultra-fine grinding and density-gradient-centrifugation. *Powder Technology*, May 2021, Vol. 383, pp. 356—370. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.01.061.

9. Steel K. M., Patrick J. W. The production of ultra clean coal by chemical demineralization. *Fuel and Energy Abstracts*, July 2002, Vol. 43(4), pp. 238. DOI: 10.1016/S0140-6701(02)86087-8.

10. Gindulin I. K., Yur'ev Yu. L., Erankin S. V., Petrov L. A. The research process of active charcoal oxidation by air oxygen. (Issledovanie protsessa okisleniya aktivnogo drevesnogo uglya kislorodom vozdukha). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2007, no. 4, pp. 117—120. [In Russ].

11. Karipova G. Z., Satpaeva Z. B., Fazylov S. D., Tateyeva A. B., Karimova A. B. Study of influence of modifying affecting on extraction exit of bituminous substances of brown coal. *Uspekhi khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2016, Vol. XXX, no. 9, pp. 95—96.

12. Moskalenko T. V., Mikheev V. A. Okislitel'noe vozdeistvie na kangalasskii buryi ugol' dlya povysheniya vykhoda guminovykh kislot. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 7, Special edition 30, pp. 220 – 227. [In Russ].

13. Moskalenko T. V., Mikheev V. A., Vorsina E. V. Povyshenie izvlecheniya guminovykh veshchestv iz burogo uglya Kharanorskogo mestorozhdeniya napravlennym okisleniem. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii.* 2016, no. 2 (part 3), pp. 435 – 440. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35648> (accessed 01.07.2021). [In Russ].

14. Usanbaev N. H., Azimov A. H., Kholov I. A. Effect humic acid oxidized Angren coal by nitric acid in presence of acetic acid on calcium phosphate. *Universum: tekhnicheskie nauki: elektronnyi nauchnyi zhurnal.* 2017, no. 3 (36). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/4501> (accessed 01.07.2021). [In Russ].

15. Ugol'. *Metod opredeleniya mineral'nogo veshchestva*, GOST 29086-91 (ISO 602 – 83) [Coal. Determination of mineral matter, State Standart 29086-91], Moscow, Standarty, 1991, 8 p. [In Russ].

16. Glushchenko I. M. *Teoreticheskiye osnovy tekhnologii goryuchikh iskopayemykh* [Theoretical bases of technology of fossil fuels], Moscow, Metallurgiya, 1990, 296 p. [In Russ].

17. *Khimiya i pererabotka uglya* [Chemistry and coal processing] V. G. Lipovich, G. A. Kalabin, I. V. Kalechits i dr. Moscow, Khimiya, 1988, 336 p. [In Russ].

18. Sabar M. A., Ali M. I., Fatima N., Malik A. Y., Jamal A., Liaquat R., He H., Liu F.-J., Guo H., Urynowicz M., Huang, Z. Evaluation of humic acids produced from Pakistani subbituminous coal by chemical and fungal treatments. *Fuel*, 2020, 15 October, Vol. 278, 118301. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.118301.

19. Karavayev N. M. *Khimicheskaya pererabotka topliv (khimiya i tekhnologiya)* [Chemical processing of fuels (chemistry and technology)], Moscow, Nauka, 1965, 358 p. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Москаленко Татьяна Владимировна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник лаборатории комплексного использования углей, [labkiy@mail.ru](mailto:labkiy@mail.ru);

*Михеев Валерий Александрович*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией комплексного использования углей;

*Ворсина Елена Владимировна*<sup>1</sup> — доцент, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник лаборатории комплексного использования углей;

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43.

**Для контактов:** *Москаленко Т. В.*, e-mail: [labkiy@mail.ru](mailto:labkiy@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Moskalenko T. V.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Worker of the Laboratory of Complex Use of Coals, [labkiy@mail.ru](mailto:labkiy@mail.ru);

*Mikheev V. A.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Leading Research Worker, acting Head of the Laboratory of Complex Use of Coals;

*Vorsina E. V.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Worker of the Laboratory of Complex Use of Coals;

<sup>1</sup> N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, Lenin Ave, 43, [labkiy@mail.ru](mailto:labkiy@mail.ru).

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 29.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 29.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.