

УДК 622.337

## ДМИТРИЕВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ КУЗБАССА – ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ

### DMITRIEVSKY OIL SHALE DEPOSIT OF KUZBASS – PROSPECTS OF COMPLEX DEVELOPMENT

**Патраков Юрий Федорович,**

доктор хим. наук, заведующий лабораторией. Email: upat@icc.kemsc.ru

**Patrakov Yury F.,**

D. Sc. (Chemical), Head of Laboratory

**Кузнецова Людмила Васильевна,**

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: lvk@icc.kemsc.ru

**Kuznetsova Lyudmila V.,**

C. Sc. (Engineering), Leading Researcher

**Анфёров Борис Алексеевич,**

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

**Anfyorov Boris A.,**

C. Sc. (Engineering), Leading Researcher

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

Federal State Budget Scientific Institution “The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, 10 Leningradsky avenue, Kemerovo, Russia, 650065

**Аннотация:** Горючие сланцы Дмитриевского месторождения Барзасского района Кузбасса благодаря химическому составу могут рассматриваться в качестве альтернативного источника расширения сырьевой базы энергетической и химической промышленности. Они пригодны для открытой разработки в объеме 131 млн.т до глубины 150 м. Комплексное освоение месторождения предусматривает организацию последовательной технологической цепочки получения товарных продуктов из сырья и отходов производства, таких как: топливный газ, жидкие углеводороды, водяной пар, горячая вода, ценные химические элементы и компоненты, строительные материалы, минеральные удобрения и др. Такая организация всех процессов в рамках энергохимического кластера позволит создать эффективное, экологически чистое, безотходное производство в районе добычи. Месторождение разрабатывают открытым способом по продольной однобортовой углубочной системе, обеспечивая безвзрывную селективную выемку пород вскрыши и горючих сланцев. Первая очередь – с внешним отвалообразованием; вторая – с внутренним отвалообразованием. Коэффициент вскрыши составит 2,9 м<sup>3</sup>/т, землеемкость добычи – 5,7 га/млн.т. Материальный баланс «добыча–переработка–потребление» 1 млн. т горючих сланцев показывает: попутно из пород вскрыши можно получить в среднем 677,1 тыс. м<sup>3</sup> строительных материалов и 327 тыс. м<sup>3</sup> углистых сланцев; до 0,7 млн. т товарных продуктов различного назначения и выработано порядка (3,5-4,0)×10<sup>9</sup> МДж тепловой энергии. В том числе – 92,3 тыс. т ценных компонентов и химических элементов, обладающих значительно более высокой потребительной стоимостью по сравнению со стоимостью исходного сырья.

**Abstract:** Oil shale Dmitrievsky deposits of Barzas region of Kuzbass due to the chemical composition can be considered as an alternative source of expanding the raw material base of energy and chemical industries. They are suitable for open-cast mining in the amount of 131 mln tones to a depth of 150 m. Complex development of the field provides the organization a consistent process chain producing commodity products from raw materials and production of waste, such as fuel gas, liquid hydrocarbons, steam, hot water, a valuable chemical elements and components, construction materials, mineral fertilizers, and others. Such an organization of all processes within the energy and chemical cluster will create an effective, environmentally friendly, waste-free production in the mining area. Deposit is developed by open-pit by semi-locating longitudinal system into the deep, providing nonexplosive selective extraction overburden and oil shale. First part - with includes external

refuse disposal; the second - with the internal. The stripping ratio is  $2.9 \text{ m}^3 / \text{t}$ ; the area of land for mining - 5.7 hectare on one million tons of oil shale. Material balance "production-processing-consumption" of 1 million tons of oil shale shows that at the same time from the overburden will be received on average 677.1 thousand  $\text{m}^3$  of building materials and 327 thousand  $\text{m}^3$  of carbonaceous shale, up to 0.7 mln tons of commercial products for various purposes, and produced about  $(3.5\text{-}4.0) \times 10^9 \text{ MJ}$  of thermal energy. Including - 92.3 thousand tons of components and chemical elements that have a much higher use value compared to the cost of the feedstock.

**Ключевые слова:** Кузбасс, месторождение горючих сланцев, открытый способ добычи, селективная выемка, энергохимический кластер, рациональное природопользование, комплексное освоение, утилизация отходов, пиролиз.

**Key words:** Kuzbass, oil shale deposits, open cast, selective development, energy and chemical cluster, rational use of nature, complex development, recycling of waste, pyrolysis.

Горючие сланцы являются одним из распространенных видов твердых горючих ископаемых и благодаря химическому составу могут рассматриваться в качестве альтернативного источника расширения сырьевой базы энергетической и химической промышленности, в том числе в таком угледобывающем регионе как Кузбасс [1-3].

В Барзасском геолого-экономическом районе Кузбасса на правом берегу реки Барзасс расположены Дмитриевское и Перебойское месторождения (участки) горючих сланцев, которые образуют 2 полосы подчиненные моноклинально падающему на запад крылу под углом около 20 градусов. Одна из залежей прослеживается по правому берегу р. Барзасс от нежилого пос. Одиночного на севере и до пос. Дмитриевского на юге (Дмитриевский участок). Вторая полоса залежи – в верховьях р. Перебоя (Перебойский участок) [4].

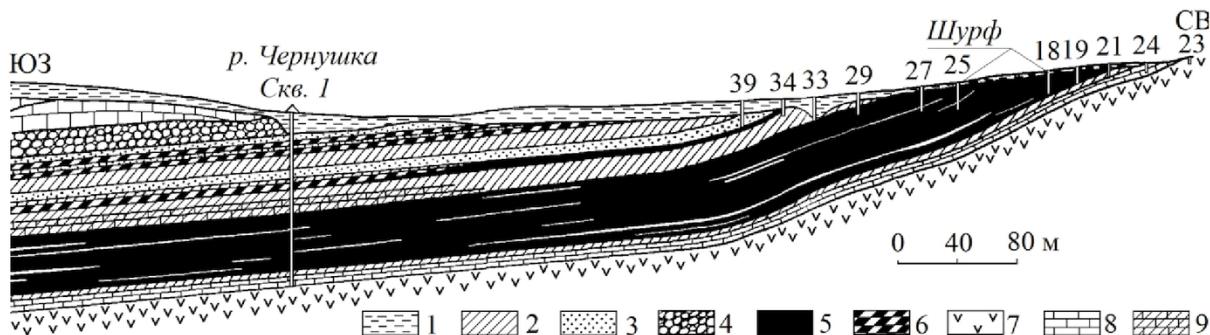
Полоса горючих сланцев в верховьях р. Перебоя у пос. Одиночный представляет собой ряд пластов (до 15), суммарной мощностью до 40 м. Пологие пласты (10-20°) с падением на юго-запад мощностью от 0,6 до 4,5 м, отделены друг от друга значительными прослойками пустой породы. Горючие сланцы были прослежены на глубину одной скважиной, по простирианию на 1,5 км – горными выработками (шурфы, канавы, штольни). Продуктивные отложения барзасской свиты прослеживаются на юг до 12,5 км [5].

Ввиду недостаточной геологической изученности запасы горючих сланцев этого участка не подсчитывались; прогнозные ресурсы по категории Р2 оцениваются в 294,0 млн. т (для расчета пласт взят протяженностью 500 м по падению, коэффициент на невыдержанность пласта – 0,5) [5]. В перспективе необходимо проведение поисковых работ второй стадии.

Условия разработки Дмитриевского участка более благоприятны для открытого способа добычи, чем Перебойского. Поэтому целесообразно освоение месторождения начать с Дмитриевского участка.

Разведка Дмитриевского участка проводилась горными выработками, а в южной части кроме того двумя колонковыми скважинами [4]. Первая разведочная линия прошла у пос. Дмитриевского по р. Чернушке (рис. 1). Линия начинается от шурфа № 23 на полусклоне правого берега реки. Шурф попал в подстилающую горючий сланец пластовую залежь базальта. Шурф № 24 – на контакт между базальтами и битуминозными известняками. Расположенные к западу шурфы № 21-39 и скважина № 1 вскрыли всю пачку горючих сланцев. По скважине суммарная мощность пачки – 38 м, максимальная мощность пород прослойков – до 0,7 м. Крайней северной точкой Дмитриевской полосы является левый берег р. Калиновка (шестая разведочная линия).

Разведочные работы показали, что горючие сланцы образуют пачку пластов длинной 5 км суммар-



1 – нансы; 2 – аргиллит; 3 – песчаник; 4 – конгломерат; 5 – горючий сланец; 6 – углистый сланец; 7 – миндалефирпорфирит, базальт; 8 – известняк; 9 – мергель

Рис. 1. Геологический разрез сланцевой толщи по р. Чернушке Дмитриевского месторождения [4]

Fig. 1. Geological section of the oil shale strata to river Chernushka Dmitrievsky deposit [4]

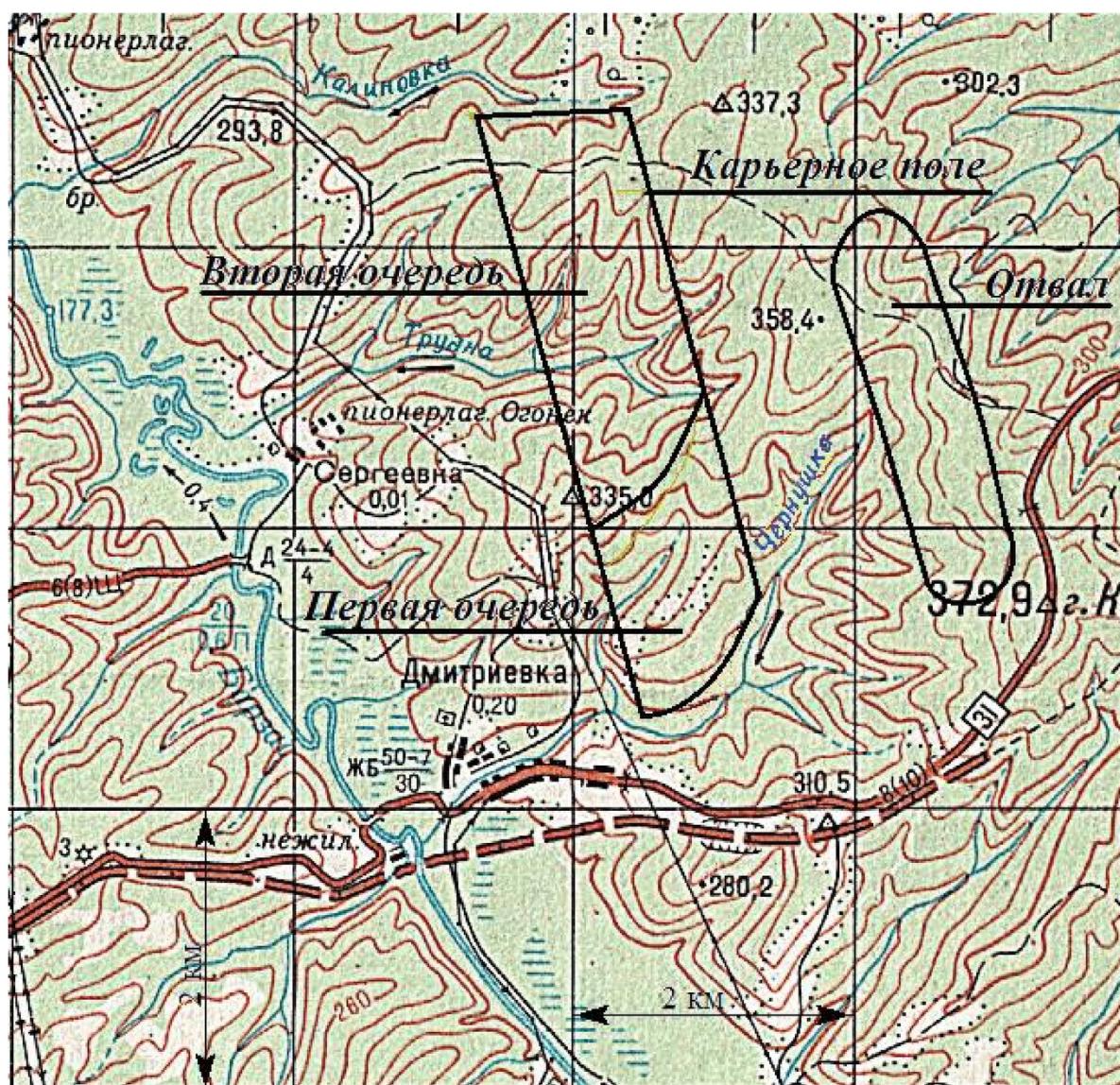


Рис. 2. Схема расположения карьерного поля  
Fig. 2. Driving career field location

ной мощностью от 35 до 55 м, которая постепенно уменьшается к северу, одновременно мощность слоев уменьшается, а мощность породных прослоев увеличивается. Максимальная (до 55 м) мощность установлена в средней части месторождения в 1,5-2 км от пос. Дмитриевского. К северо-западу, на р. Трудна, мощность сланцевой залежи сокращается до 40 м, а к юго-востоку, на р. Чернушке – до 38 м (рис. 2). Южнее поселка горючие сланцы не прослеживаются. Тектоника месторождения несложная с относительно однообразным падением толщи на юго-запад под углами 20-25°. Залегание сланцевой толщи выдержанное, выраженной дополнительной складчатости и значительных разрывных нарушений достоверно не установлено.

Запасы месторождения по категории В+С составляют 41,827 млн. т. Прогнозные ресурсы по категории Р2 до глубины 600 м оценены в 500,0 млн. т [5].

При пологом падении и довольно большой мощности в этой полосе сконцентрировано значительное количество горючих сланцев (порядка 131 млн. т до глубины 150 м), потенциально пригодных для отработки открытыми горными работами [4].

Вскрышные породы представлены наносами мощностью до 20 м, аргиллитом, песчаником, конгломератом, углистыми сланцами, известняком, мергелем. Подстилает горючие сланцы пластовая залежь базальта, на отдельных участках – битуминозные известняки (см. рис. 1).

Породы вскрыши конгломерат, битуминозный известняк, мергель, песчаник (мощностью, соответственно, м: 17,1; 22,8; 8,6; 5,7-8,6) представляют интерес в качестве строительных материалов, а углистые сланцы (мощностью 8,6-14,3 м) – твердое топливо [6, 7]. Их самостоятельная добыча на Дмитриев-

ском участке нецелесообразна, однако при попутной селективной выемке во время вскрышных работ можно получить дополнительный экономический эффект. Кроме того, частичная утилизация пород вскрыши позволит снизить землеемкость добычи и экологическую нагрузку на район. После разработки горючих сланцев будет вскрыта пластовая залежь базальта, которая также может представлять интерес для строительной отрасли.

*Конгломерат* – горная порода, состоящая из зерен гравия, сцементированных природным цементом. Средняя плотность составляет 2,6-2,85 т/м<sup>3</sup>. Предел прочности на сжатие – 50-160 МПа. Применяют конгломерат в строительстве для покрытия полов, изготовления заполнителей для бетона [8].

*Углистые сланцы* – горные породы, характеризующиеся ориентированным расположением породообразующих минералов и способностью раскалываться на тонкие пластины. Средняя плотность – 2,6-2,85 т/м<sup>3</sup>. Предел прочности на сжатие – 60-160 МПа. Используется для производства твердого топлива, выработки сланцевого масла и газа. [9]

*Битуминозные известняки* – горные породы, состоящие в основном из кальцита – CaCO<sub>3</sub>. Могут содержать примеси глины, кварца, железисто-магнезиальных и других соединений. В промышленности используются для строительства дорог, производства цемента, строительных материалов и др. Средняя плотность – 1,7-2,6 т/м<sup>3</sup>. Предел прочности на сжатие – 50-200 МПа [7].

*Мергель* – осадочная горная порода смешанного глинисто-карбонатного состава. Средняя плотность – 2,1-2,6 т/м<sup>3</sup>. Предел прочности на сжатие – 60 МПа. В промышленности используется для производства цемента и строительных блоков [10].

*Песчаник* – осадочная горная порода, относящаяся к подгруппе сцементированных механических отложений. Средняя плотность – 2,3-2,7 т/м<sup>3</sup>. Предел прочности на сжатие – 100-250 МПа. В промышленности применяется в качестве щебня для бетона, облицовочных плит, бутового камня, сырья для огнепроворов, камня для стен [7].

Для комплексной разработки месторождения нами предлагается следующая схема. Границы карьерного поля (см. рис. 2): на юге – граница предохранительного целика под р. Чернушка; на севере – граница предохранительного целика под р. Калиновка; на востоке – выход лежачего бока сланцевой залежи под наносы; на западе – нерабочий борт карьера от линии пересечения кровли сланцевой залежи с дном карьера на глубине 150 м с учетом угла сдвигаения пород и размера предохранительной бермы. Таким образом, размеры карьерного поля: по простирианию – 4400 м; вкрест простириания – 1170 м. Площадь карьерного поля – 514,8 га. Запасы горючих сланцев составляют 131 млн. т. Объемы вскрыши – 376 млн. м<sup>3</sup>. Площадь отчуждаемых земель под внешние отвалы определена из условия размещения пород вскрыши первой очереди отработки в объеме 106,5 млн. м<sup>3</sup> с учетом попутной добычи строительных материалов и коэффициента разрыхления. При высоте 50 м, ширине 800,0 м для отвала потребуется 227,2 га земли. Под инфраструктуру – около 10,0 га. Тогда землеемкость добычи горючих сланцев составит 5,7 га/млн.т. Вскрышные породы второй очереди предполагается разместить в пределах карьерного поля (в выработанном пространстве первой очереди). Средний коэффициент вскрыши составит 2,9 м<sup>3</sup>/т.

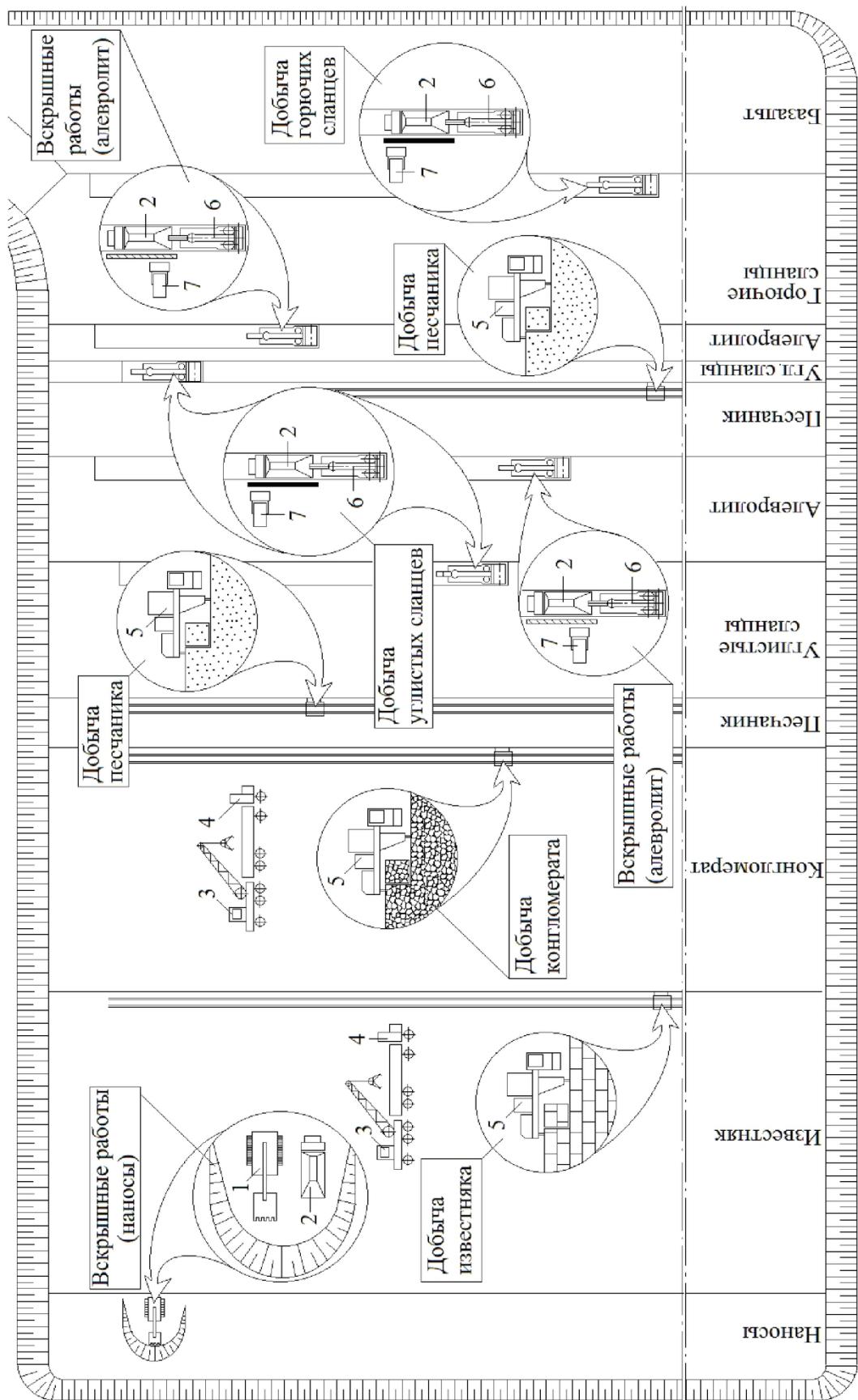
При условии селективной выемки пород вскрыши, приняв коэффициент извлечения попутных полезных ископаемых 0,5, при отработке карьерного поля можно попутно добывать: конгломерат – 22,2 млн. м<sup>3</sup>; мергель – 13,1 млн. м<sup>3</sup>; углистые сланцы – 42,4 млн. м<sup>3</sup>; известняк – 27,0 млн. м<sup>3</sup>; песчаник – 25,5 млн. м<sup>3</sup>.

Месторождение разрабатывают открытым способом по продольной однобортовой углубочной системе. Карьерное поле делят на две неравные части (первая очередь, содержащая треть запасов горючих сланцев, и вторая очередь, включающая остальные запасы) проведением капитальной траншеи под углом не более 15 градусов к горизонту (для обеспечения возможности вывоза горной массы средствами автотранспорта) до уровня ниже выветренной части пласта горючих сланцев [11].

Запасы первой очереди вскрывают разрезной траншейей, проводимой по линии простириания пласта от устья капитальной траншеи до ближайшей границы карьерного поля по простирианию. Далее ведут вскрышные работы по удалению наносов и выветренной части массива горючих сланцев на внешний отвал. По мере обнажения залежи горючих сланцев приступают к ведению работ по их селективной выемке, разделяя слои с ценными химическими элементами и компонентами и породы прослоя (рис. 3). Поскольку разработка месторождения осуществляется вблизи населенного пункта (поселок Дмитриевский), то используются безвзрывные технологии, предусматривающие отделение вскрышных пород и горючих сланцев от массива средствами механизации.

Такими средствами для горючих сланцев могут быть фрезерные комбайны, работающие вместе с погрузочными машинами или без них; проходческие комбайны фронтального действия, работающие в связке с самоходными вагонами (обычно применяемые при подземной разработке); проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом, также работающие в паре с транспортным средством.

Фрезерный комбайн, например типа SM4200 (производительность до 1400 т/ч), осуществляет



I – экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – кран грейферный; 4 – автомоторный; 5 – машина камнерезная; 6 – комбайн проходческий;  
7 – автопогрузчик

Fig. 3. Технологическая схема безвзрывной селективной разработки горючих сланцев (первая очередь)  
Fig. 3. Technological scheme of blast-free selective development of oil shale (the first stage)

фрезерование массива полезного ископаемого сверху тонкими слоями (мощностью до 0,7 м) с укладкой отбитой горной массы в валок или погрузкой в транспортное средство. Поэтому при разработке горизонтального пласта возможно осуществление селективной выемки с укладкой отбитой горной массы различного качественного состава в разные валки.

Препятствием для использования фрезерного комбайна при добыче горючих сланцев Дмитриевского месторождения может стать угол залегания пласта. При угле залегания 20-25 градусов породный прослой занимает диагональное положение по отношению к фрезеруемой горизонтальной поверхности.

В этом случае неизбежны или разубоживание горючих сланцев породой, или существенные потери времени (а значит и производительности) на разделение потоков горной массы.

Проходческий комбайн JOY типа 12 CM15 предназначен для проведения подземных горных выработок. Его производительность – 12-27 т/мин. (900-1620 т/ч.). Комбайн фронтального действия с качающимся режущим органом барабанного типа может проводить выработку высотой до 4,6 м (при использовании в условиях карьера комбайн способен за один проход вынимать полезное ископаемое в заходке высотой 4,6 м и шириной 3,3 м). Этот комбайн также способен разделять потоки горной массы различного качественного состава, осуществляя погрузку отбитого полезного ископаемого в определенные транспортные средства или укладку в соответствующие валки за счет отклоняющейся разгрузочной стрелы.

Отечественные комбайны семейства ГПКС, предназначенные для проведения подземных горных выработок, также могут быть использованы при разработке горючих сланцев. За счет стреловидного режущего исполнительного органа эти комбайны обладают большей селективностью, однако, при тех же параметрах заходки производительность составляет не более 100 т/ч.

Особенностью месторождения является то, что при удалении наносов в границах выемочного поля, обеспечивается доступ не только к горючим сланцам, но и другим полезным ископаемым: углистым сланцам, песчанику, конгломерату, известняку, мергелю. Это позволяет организовать параллельную работу по их добыче (см. рис. 3).

В зависимости от качественных показателей известняк может быть разработан по технологии Rip & load средствами механизации компании Caterpillar (валовая разработка путем рыхления полезного ископаемого и погрузки его в транспортное средство) или с помощью камнерезных машин типа СМР-026/1 – нарезка каменных блоков заданных размеров. Нарезкой блоков можно разрабатывать мергель, конгломерат и песчаник.

Углистые сланцы и алевролит могут быть раз-

работаны, как горючие сланцы с использованием аналогичных средств механизации; при этом алевролит размещают на внешнем отвале.

Не зависимо от выбранных средств механизации добывочные работы ведут по линии простирания от устья капитальной траншеи до ближайшей границы карьерного поля по простирианию и обратно.

По мере углубления горных работ в первой очереди капитальную траншею продлевают с учетом гипсометрии пласта горючих сланцев, поддерживая угол ее наклона к горизонту не более 15 градусов; при этом открывается доступ к запасам базальта.

По достижении проектной глубины первой очереди карьера приступают к вскрытию и разработке запасов второй очереди. При этом весь объем вскрышных пород размещают в выработанном пространстве первой очереди, т.е. во внутреннем отвале, используя для этого капитальную траншею первой очереди.

Горючие сланцы могут представлять интерес в качестве рудного сырья для извлечения ценных химических элементов, компонентов [12]. Проведенные геохимические исследования горючих сланцев Дмитриевского участка показали, что они обогащены молибденом, рубидием, иттрием, кобальтом и титаном (табл.1, 2). Содержания этих химических элементов выше минимальных, определяющих промышленную значимость сланцев как источника для их извлечения (табл. 3).

Способ комплексного освоения месторождения горючих сланцев предусматривает организацию последовательной технологической цепочки получения товарных продуктов из сырья и отходов производства, таких как: топливный газ, жидкие углеводороды, водяной пар, горячая вода, ценные, строительные материалы, минеральные удобрения и др. Такая организация всех процессов (от добычи до получения товарного продукта) в рамках энергохимического кластера позволит создать эффективное, экологически чистое, безотходное производство [14]. Энергохимический кластер представляет собой комплекс предприятий технологически связанных между собой, сконцентрированных на одной территории, и включает: предприятие по добыче сырья, завод полукоксования, котельную, химическое предприятие по переработке золошлаков от сжигания отходов пиролиза, а также предприятие по производству строительных материалов (рис. 4) [15].

Идея организации кластера заключается в следующем. На этапе геологоразведочных работ дополнительно проводят геохимические исследования пластов и вмещающих пород. Устанавливаются участки, слои с повышенными содержаниями сопутствующих ценных компонентов, элементов с целью их селективной выемки по специальной технологии предусматривающей [16]: сохранение природного качества полезного иско-

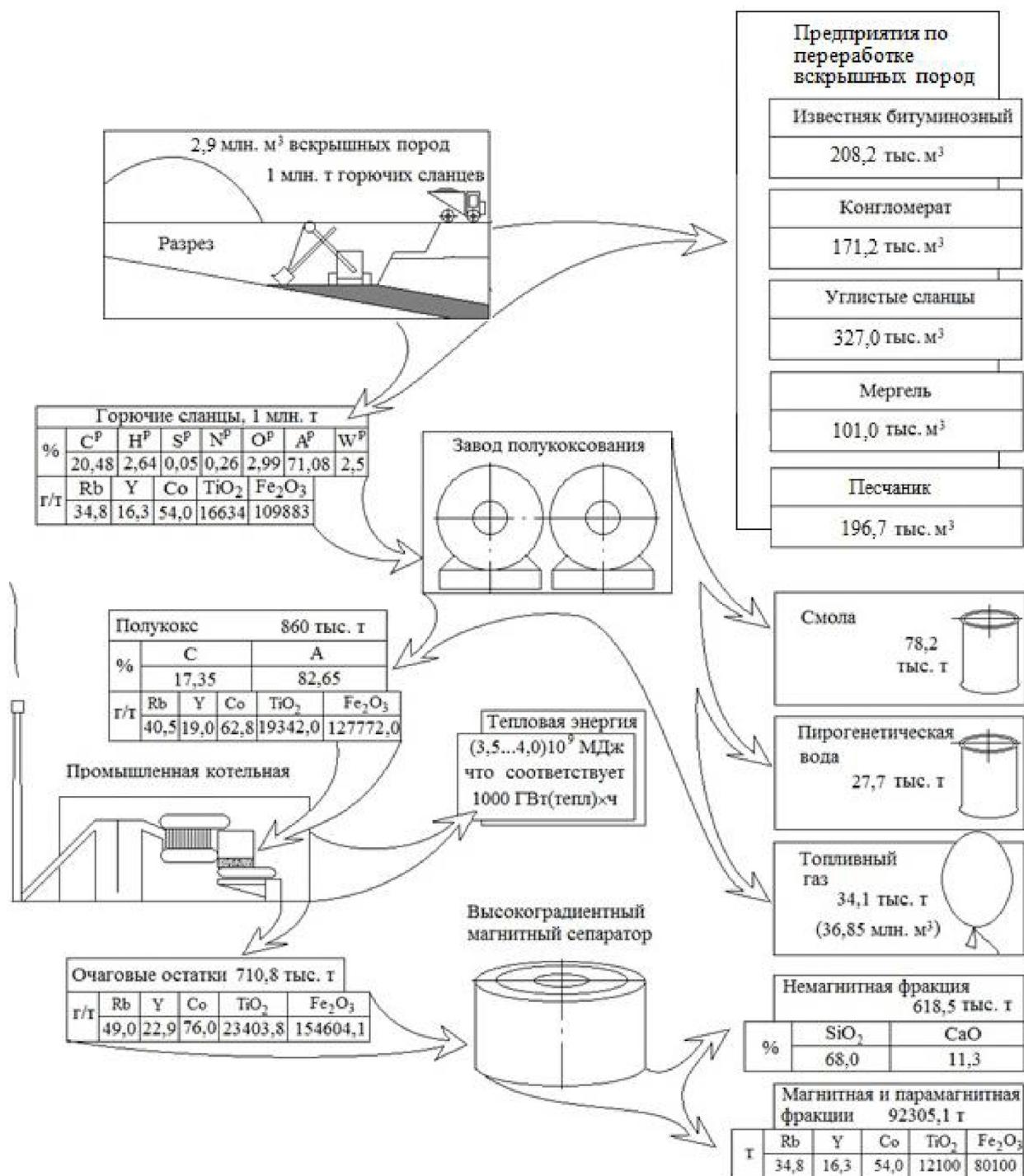


Рис. 4. Материальный баланс энергохимического кластера  
Fig. 4. Material balance of chemical energy cluster

паемого в различных частях; организацию различного формирования, поставку и переработку однородных по вещественному составу потоков горной массы; одновременную работу нескольких технологических цепочек добыча-переработка. Горючие сланцы доставляют на завод полукоксования, где сырье подготавливают к пиролизу – дробят, сортируют. При последующем пиролизе

из органической массы образуются летучие продукты пиролиза, которые направляют на конденсацию, фракционирование и разделение и получают при этом топливный газ и жидкие углеводороды – товарные продукты. Породы вскрыши вынимают, селективно выделяя углистые сланцы и строительные материалы.

Рассмотрим материальный баланс энергохи-

мического кластера Дмитриевского участка горючих сланцев, который можно построить в непосредственной близости от места разработки в пос. Дмитриевском. Расчет проведен для 1 млн. т добычи (см. рис. 4).

Будут получены строительные материалы, тыс. м<sup>3</sup>: конгломерат – 171,2; мергель – 101,0; битуминозный известняк – 208,2; песчаник – 196,7, которые являются товарными продуктами и направляются потребителю. Углистые сланцы (327,0 тыс. м<sup>3</sup>) направляются на переработку для производства твердого топлива, выработки сланцевого масла и газа.

Состав рабочей массы горючих сланцев, % [4, 17]: С<sup>Р</sup>=20,48 (содержание углерода), Н<sup>Р</sup>=2,64 (водорода), S<sup>Р</sup>=0,05 (серы), N<sup>Р</sup>=0,26 (азота), О<sup>Р</sup>=2,99 (кислорода), А<sup>Р</sup>=71,08 % (золы), W<sup>Р</sup>=2,5 (влаги). Содержания ценных компонентов и химических элементов в промышленно значимых концентрациях, г/т: Rb=34,8; Y=16,3; Co=54,0; TiO<sub>2</sub>=16634; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=109883 (в пересчете на зольность рабочей массы). Добытые горючие сланцы автотранспортом доставляют на завод полукоксования, где из них после первичной подготовки (промывки, дробления, сушки) методом мягкого пиролиза при температуре до 700 °C получают смолу в количестве до 78,2 тыс. т, надсмольную (пирогенетическую) воду (27,7 тыс. т), топливный газ (до 36,85 млн. м<sup>3</sup>). Их реализуют как товарный продукт (смола, топливный газ) или направляют на утилизацию и переработку (пирогенетическая вода). Кроме того получают 860 тыс. т полукокса. При такой температуре ценные компоненты и химические элементы, входящие в состав вещества горючих сланцев, перейдут в полукокс, зольность которого по сравнению с исходным сырьем увели-

чится до 82,65 %, но вместе с зольностью повышается и удельное содержание ценных компонентов и химических элементов, г/т: Rb=40,5; Y=19,0; Co=62,8; TiO<sub>2</sub>=19342,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=127772,0.

Полукокс, полученный в результате пиролиза, содержит до 17,35 % углерода (зауглероженная зола). Содержание углерода является достаточно низким, соответствующим низкокалорийному топливу. Полукокс направляют на углесжигающее предприятие, например, промышленную котельную, оснащенную промышленными котлами с топками низкотемпературного кипящего слоя. Характерной особенностью топки кипящего слоя является равенство температуры по высоте слоя, что позволяет сжигать этим способом любое, даже с низкой теплотой сгорания, топливо. При КПД промышленного котельного агрегата 0,8-0,85 от сжигания 860 тыс. т полукокса из горючих сланцев, будет выработано порядка (3,5-4,0)×10<sup>9</sup> МДж тепловой энергии, что соответствует примерно 1000 ГВт(тепл.)×ч. Тепловая энергия также является товарным продуктом.

В процессе выработки тепловой энергии из топок котельных агрегатов будут удалены 710,8 тыс. т очаговых (шлакозоловых) остатков от сжигания полукокса, содержащие, т: Rb – 49,0; Co – 76,0; Y – 22,9; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 154604,1; TiO<sub>2</sub> – 23403,8.

Эти очаговые остатки можно считать рудным концентратом, поскольку в них будут содержаться ценные компоненты и химические элементы. Выявленные в горючих сланцах ценные компоненты и химические элементы обладают магнитными (Co, Ti, Y) или парамагнитными (Rb, Mo, Nb) свойствами. Поэтому для их извлечения очаговые остатки необходимо направлять на высокоградиентную магнитную сепарацию, за счет магнитного

Таблица 1. Оксидный состав золы горючих сланцев Дмитриевского участка (A<sup>d</sup>=78,5 %) после термической обработки (995°C)

Table 1. The oxide composition of the oil shale ash Demetrius site (A<sup>d</sup>=78.5%) after heat treatment (995°C)

Оксид	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
Содержание в пробе, %	0,605	2,851	5,695	59,19	0,195	3,434
Оксид	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Содержание в пробе, %	5,043	9,832	1,706	0,181	11,27	

Таблица 2. Элементный состав золы горючих сланцев Дмитриевского участка (A<sup>d</sup>=78,5 %) после термической обработки (995°C)

Table 2. The elemental composition of oil shale ash Demetrius site (A<sup>d</sup>=78.5%) after heat treatment (995°C)

Элемент	Co	Cr	Cu	La	Mo	Nb	Ni	Pb
Содержание в пробе × 10 <sup>-3</sup> , %	7,6	38,3	5,1	5,0	0,79	0,69	0,1	2,3
Элемент	Rb	S	Sn	Sr	Y	Zn	Zr	
Содержание в пробе × 10 <sup>-3</sup> , %	4,9	380	0,36	30	2,3	9,9	13,9	

Таблица 3. Содержания химических элементов в пробах горючих сланцев  
Table 3. The content of chemical elements in samples of oil shale

Химический элемент	Mo	Rb	Y	Co	Ti
Содержание, г/т	6,2	38,5	18,1	59,7	8035
Минимальное промышленно значимое в угле, г/т [13, с. 14]	6	35	15	20	1500

поля которой выделяют магнитную (парамагнитную) и немагнитную фракции. При этом полученный магнитный рудный концентрат будет содержать оксиды  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  и ценные химические элементы (Rb, Mo, Nb, Co, Y). В результате переработки очаговых остатков полуокиса горючих сланцев будет выделена фракция, обладающая магнитными и парамагнитными свойствами, в объеме 92,3 тыс. т (в т.ч., т: Rb – 34,8; Co – 54,0; Y – 16,3;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 80100;  $\text{TiO}_2$  – 12100) и немагнитная фракция – 618,49 тыс. т (в т.ч, %:  $\text{SiO}_2$  – 68,0;  $\text{CaO}$  – 11,3). Немагнитная фракция примерно на 70 % состоит из  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$ , поэтому может быть направлена на производство строительных материалов.

Материальный баланс «добыча–переработка–потребление» горючих сланцев показывает, что при переработке 1 млн. т может быть получено до 0,7 млн. т товарных продуктов различного назначения (см. рис4.). В том числе – 92,3 тыс. т ценных компонентов и химических элементов, обладающих значительно более высокой потребительской стоимостью по сравнению со стоимостью ис-

ходного сырья. Из пород вскрыши можно получить 677,1 тыс. м<sup>3</sup> строительных материалов и 327 тыс. м<sup>3</sup> углистых сланцев. Кроме того, полезное ископаемое будет переработано непосредственно в районе добычи с получением высоколиквидной продукции.

Энергохимический кластер комплексного освоения Дмитриевского месторождения горючих сланцев позволит обеспечить эффективное, экологически чистое, безотходное производство товарных продуктов, таких как: топливный газ, жидкые углеводороды, водяной пар, горячая вода, ценные компоненты (в зависимости от их содержания в исходном сырье), строительные материалы, минеральные удобрения и др.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ p\_сибирь\_a № 16-45-420524 «Научное обоснование концепции комплексного освоения месторождений высокозольных твердых горючих ископаемых на принципах кластерного подхода (на примере месторождений сапропелитовых углей и горючих сланцев Кузбасса).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A study on the EU oil shale industry – viewed in the light of the Estonian experience, 2007. A report by EASAC to the Committee on Industry, Research and Energy of the European Parliament [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Study.pdf](http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Study.pdf). – [27.01.2016].
2. Dyni, J. R., 2006. Geology and Resources of Some World Oil-Shale Deposits: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5294 [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5294/pdf/sir5294\\_508.pdf](http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5294/pdf/sir5294_508.pdf). – [08.02.2016].
3. Патраков, Ю. Ф. Состояние и перспективы процессов глубокой переработки углей // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – № 13. – С. 581-585.
4. Тыжнов, А. В. Материалы по геологии Западной Сибири. Геологический очерк Барзасского района Кузнецкого бассейна. – Томск, 1938. №3(45). – 155 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист № 45-III (Кемерово). Объяснительная записка. Редактор А. Э. Изох. Санкт-Петербург: ФГУГП ЗАПСИБГЕОЛСЪЕМКА, 2001. – 238 с.
6. Минералы и горные породы России и СССР [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.ecosistema.ru/08nature/min/2\\_5\\_2\\_15.htm](http://www.ecosistema.ru/08nature/min/2_5_2_15.htm). – [07.04.2016].
7. Природные каменные материалы: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ [Электронный ресурс] / Сост. Д.В. Орешкин [и др.]. – Москва: МГСУ, 2014. – 21 с.
8. Справочник строителя. Каменные материалы [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://baurum.ru/\\_library/?cat=stone\\_materials&id=360](http://baurum.ru/_library/?cat=stone_materials&id=360). – [25.04.2016].
9. Свойства и применение сланца [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://alivestone.spb.ru/svojstva-i-primenenie-slancza>. – [07.04.2016].
10. Мергель [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://drobor.ru/mergel.html>. – [25.04.2016].
11. Коваленко, В. С., Землесберегающие и землевоспроизводящие технологии на угольных разрезах / В. С. Коваленко, В. Б. Артемьев, П. И. Опанасенко. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. – Т. 8, кн. 2. – 440 с.
12. Патраков, Ю. Ф. Концепция рационального использования высокозольных твердых горючих ископаемых / Ю. Ф. Патраков, Л. В. Кузнецова, Б. А. Анферов // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 2. – С. 38-40.
13. Жаров, Ю. Н. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России. Справочник / Ю.Н. Жаров, Е. С. Мейтов, И. Г. Шарова. – М.: Недра, 1996. – 238 с.
14. Ketels C., Protsiv S., 2014. Methodology and Findings Report for a Cluster Mapping of Related Sectors. Stockholm: Stockholm School Economics, 2014 [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://ec.europa.eu/growth/smes/cluster/observatory/d1.2-cluster-mapping-report.pdf>. – [08.02.2016].

15. Пат. 2549951 Российская Федерация, МПК E21C 41/00, F23G 5/027, C10B 53/06. Способ комплексного освоения месторождения горючих сланцев / Кузнецова Л. В., Патраков Ю. Ф., Анферов Б. А.; заявитель и патентообладатель ИУ СО РАН. № 2014107031; заявл. 25.02.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл. № 13. 5 с.
16. Геохимическое и геотехнологическое обоснование новых направлений освоения угольных месторождений Кузбасса / Б. Ф. Нифантов, В. Б. Артемьев, С. В. Ясюченя, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – Т. 1. Кн.4. – 536 с.
17. Патраков, Ю. Ф., Характеристика горючего сланца Дмитриевского месторождения Кузбасса / Ю. Ф. Патраков, Н. И. Фёдорова // Химия твердого топлива. – 2008. – № 4. – С. 3-6.

## REFERENCES

1. A study on the EU oil shale industry – viewed in the light of the Estonian experience, 2007. A report by EASAC to the Committee on Industry, Research and Energy of the European Parliament. URL: [http://www.easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Study.pdf](http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Study.pdf) (accessed: 27.01.2016).
2. Dyni J. R., 2006. Geology and Resources of Some World Oil-Shale Deposits: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005–5294. URL: [http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5294/pdf/sir5294\\_508.pdf](http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5294/pdf/sir5294_508.pdf) (accessed: 08.02.2016).
3. Patrakov, Yu. F. Sostoyanie i perspektivy protsessov glubokoy pererabotki ugley [State and prospects of deep processing of coal] // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya [Chemistry for Sustainable Development]. 2005. No. 13. P. 581-585.
4. Tyzhnov A.V. Materialy po geologii Zapadnoy Sibiri. Geologicheskiy ocherk Barzasskogo rayona Kuznetskogo basseyna [Materials on the geology of Western Siberia. Geological sketch Barzas region of the Kuznetsk Basin]. Tomsk, 1938. No. 3(45). 155 p.
5. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1: 200000. Izdanie vtoroe. Seriya Kuzbasskaya. List № 45-III (Kemerovo). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Russian Federation map scale of 1: 200000. Second Edition. Series Kuzbass. Sheet № 45-III (Kemerovo). Explanatory letter]. Editor A. E. Izokh. Sankt-Peterburg: FGUGP ZAPSIBGEOLS"EMKA, 2001. 238 p.
6. Mineraly i gornye porody Rossii i SSSR [Minerals and Rocks Russia and the USSR]. URL: [http://www.ecosistema.ru/08nature/min/2\\_5\\_2\\_15.htm](http://www.ecosistema.ru/08nature/min/2_5_2_15.htm) (accessed: 07.04.2016).
7. Prirodnye kamennye materialy: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot dlya studentov vsekh napravleniy i urovney podgotovki, realizuemymkh MGSU [Natural stone materials: guidelines for laboratory works for students of all areas and levels of preparation implemented MSBU]. Electronic resource. Compiler Oreshkin D.V. & dr. Moscow: MSBU, 2014. 21 p.
8. Spravochnik stroitelya. Kamennye materialy [Builder's Guide. Stone Materials]. URL: [http://baurum.ru/\\_library/?cat=stone\\_materials&id=360](http://baurum.ru/_library/?cat=stone_materials&id=360) (accessed: 25.04.2016).
9. Svoystva i primenenie slantsa [Properties and Applications of Shale]. URL: <http://alivestone.spb.ru/svojstva-i-primenenie-slancza> (accessed: 07.04.2016).
10. Mergel' [Marl]. URL: <http://drobor.ru/mergel.html> (accessed: 25.04.2016).
11. Kovalenko V.S., Artem'ev V.B., Opanasenko P.I. Zemlesberegayushchie i zemlevospriozvodiyashchie tekhnologii na ugol'nykh razrezakh [Technology of Saving and Reproduction of Lands on Coal Open Cast]. Moscow: Izdatel'-stvo «Gornoe delo» ОOO «Kimmeriyskiy tsentr». 2013. Vol. 8. Book. 2. 440 p.
12. Patrakov Yu.F., Kuznetsova L.V., Anferov B.A. Kontseptsiya ratsional'nogo ispol'zovaniya vysokozol'nykh tverdykh goryuchikh iskopaemykh [The Concept of Rational Use of High-ashes Solid Fuels]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Safety of Work in Industry]. 2015. No. 2. P. 38-40.
13. Zharov Yu.N., Meytov E.S., Sharova I.G. Tsennyye i toksichnye elementy v tovarnykh uglyakh Rossii. Spravochnik. [Valuable and Toxic Elements in the Russian Coal Product. Reference book]. Moscow: Nedra. 1996. 238 P.
14. Ketels C., Protsiv S., 2014. Methodology and Findings Report for a Cluster Mapping of Related Sectors. Stockholm: Stockholm School Economics, 2014. URL: <http://ec.europa.eu/growth/smes/cluster/observatory/d1.2-cluster-mapping-report.pdf> (accessed:08.02.2016).
15. Pat. [Invention] 2549951 Rossiyskaya Federatsiya [RU], MPK [Int. Cl.] E21C 41/00, F23G 5/027, C10B 53/06. Sposob kompleksnogo osoveniya mestorozhdeniya goryuchikh slantsev [Complex Development of Combustible Shale Deposits]. Kuznetsova L.V., Patrakov Yu.F., Anferov B.A. Proprietor IU SO RAN (RU). No. 2014107031, date of filing. 25.02.2014. Date of publicatin 10.05.2015. Bull. No. 13. P. 5.
16. Nifantov B. F., Artemev V. B., YAsyuchenya S. V., Anferov B. A., Kuznetsova L. V. Geokhimicheskoe i geotekhnologicheskoe obosnovanie novykh napravleniy osvoeniya ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa [Geochemical and Geotechnological Substantiation of New Ways of Mastering of Kuzbass Coal Deposits]. Moscow: Izdate'l'stvo «Gornoe delo» ОOO «Kimmerijskij centr», 2013.Vol. 8. Book 2. 2014. 536 p.

17. Patrakov Yu. F., Fedorova N.I. Kharakteristika goryuchego slantsa Dmitrievskogo mestorozhde-niya Kuzbassa [Characteristics of Shale Deposits of Kuzbass Dmitrievsky]. Khimiya tverdogo topliva [Solid Fuel Chemistry]. 2008. No. 4. P. 3-6.

Поступило в редакцию 24.07.2016  
Received 24 July 2016