

УДК 004.9 + 622

**СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ ПО УРОВНЯМ КАЧЕСТВА**

**Н. В. Гончарова**

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Предложена методика структурирования запасов угольных месторождений сложного строения по показателям качества средствами геоинформационной системы ArcGIS, предназначенная для обоснования рациональных направлений использования минеральных ресурсов. Приводятся результаты исследований по разделению запасов углей Эльгинского каменноугольного месторождения в Южной Якутии по выходу летучих веществ, толщине пластического слоя, маркам, технологическим группам и подгруппам.

*Геоинформационная система, цифровое моделирование, сложноструктурные угольные месторождения, качество углей*

Основной объем балансовых запасов углей в России (до 80 %) сосредоточен в угольных бассейнах Западной и Восточной Сибири, а именно Кузнецком, Канско-Ачинском, Минусинском, Южно-Якутском и Иркутском. Особенность большинства из них — сложная структура расположенных на их территории месторождений, для которой свойственно участие в формировании залежи нескольких пластов, отличающихся друг от друга внутренним строением, мощностью и качеством полезного ископаемого, а также степенью изменчивости этих характеристик. Для таких пластов типично многократное чередование слоев угля и породы, их мощность колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров, качество угля изменяется как по падению пласта, так и по простираанию, вследствие чего запасы месторождения могут отличаться разнообразием технологических свойств углей и иметь различные направления их использования.

Направления использования углей в РФ регламентируются ГОСТ 25543-88 “Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам” [1], а с 1 января 2015 г. введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации межгосударственный стандарт ГОСТ 25543-2013 [2].

В соответствии с этим стандартом для установления всех возможных направлений использования запасов отдельного месторождения необходимо определить принадлежность угля каждого пласта к соответствующей марке, технологической группе и подгруппе, в которые объединяются угли всех видов (бурые, каменные и антрациты) в зависимости от их технологических свойств. Такое объединение выполняется по сочетанию класса, категории, типа и подтипа, выделяемых в зависимости от генетических особенностей угля, характеризующихся рядом

классификационных показателей: средним показателем отражения витринита  $R_0$ ; содержанием фюзенизированных компонентов на чистый уголь  $\Sigma OK$ ; максимальной влагоемкостью на беззольное состояние  $W_{\max}^{af}$ ; выходом летучих веществ на сухое беззольное состояние  $V^{daf}$ , объемным выходом летучих веществ на сухое беззольное состояние  $V_{об}^{daf}$ ; выходом смолы полукоксования на сухое беззольное состояние  $T_{sk}^{daf}$ ; толщиной пластического слоя  $y$ ; анизотропией отражения витринита  $A_R$ .

Анализ государственных и отраслевых стандартов, а также технических условий, регламентирующих переработку углей различных бассейнов РФ, позволил расширить перечень показателей качества энергетического и коксующегося угля, оказывающих влияние на выбор направлений его использования, следующими величинами, нормируемыми требованиями промышленности: зольностью  $A^d$ , массовой долей общей влаги в рабочем состоянии топлива  $W_t^r$ , массовой долей общей серы  $S_t^d$ , мышьяка  $As^d$ , хлора  $Cl^d$  и фосфора  $P^d$  [3–5].

Кроме того, в процессе исследования выяснено, что определения только марочной принадлежности углей пластов недостаточно для установления всех возможных и выбора оптимальных направлений их использования, поскольку угли одной марки, отличающиеся друг от друга значениями определенных показателей качества, могут применяться для разных целей [6]. Так, угли марки Г находят применение в основном как энергетическое и коммунально-бытовое топливо. Однако угли группы 2Г с толщиной пластического слоя  $y$  более 13 мм направляются на коксование. Угли этой марки с толщиной пластического слоя  $y$  от 8 до 12 мм используются для производства формованного кокса и сферических абсорбентов, а с толщиной пластического слоя  $y$  менее 8 мм — для газификации и полукоксования. Витринитовые малозольные угли марки Г с выходом летучих веществ  $V^{daf}$  более 42% являются хорошим сырьем для производства синтетического жидкого топлива [7].

Аналогично широкой вариацией свойств характеризуются угли марки ГЖО, что не позволяет рекомендовать для их использования какое-либо одно направление. Угли группы 1ГЖО при толщине пластического слоя  $y$  менее 13 мм могут составлять не более 20% шихт коксохимических заводов и лишь при условии, что остальная часть шихты содержит хорошо спекающиеся угли со значением среднего показателя отражения витринита  $R_{o,r}$  от 1 до 1.5%. Угли группы 2ГЖО — хорошее сырье для коксования (особенно при значениях показателя отражения витринита  $R_{o,r}$  не менее 0.85%) и могут составлять более половины шихты. Фюзенитовые угли группы 1ГЖО (подгруппа 1ГЖОФ) совершенно непригодны для производства металлургического кокса и могут применяться в коммунально-бытовом (крупные классы) или энергетическом (мелкие классы) секторах.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что для обоснования рациональных направлений хозяйственного использования углей сложноструктурных месторождений необходимо иметь возможность по каждому предполагаемому к отработке пласту выделять зоны однородности полезного ископаемого не только по маркам, технологическим группам, подгруппам и значениям нормируемых специальными стандартами отдельных показателей качества угля, но и по единичным показателям внутри марок, групп и подгрупп.

Согласно типизации показателей качества, приведенной в [8], марки, технологические группы и подгруппы относятся к векторным показателям, а отдельные показатели — к скалярным. Одним из современных инструментов, который может быть использован для разде-

ления запасов угольного месторождения на однородные части по показателям любого типа, является географическая информационная система (ГИС) ArcGIS (ESRI, США), изначально предназначенная для моделирования и изучения объектов, расположенных на поверхности земли, и входящая в перечень геоинформационных систем, посредством которых допустимо выполнять подсчет запасов твердых полезных ископаемых, предоставляемый на экспертизу в ФБУ “Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых” [9]. Возможность успешного применения ГИС ArcGIS для решения различных задач, связанных с моделированием угольных месторождений, отражена в работах [10–16].

Опробование инструментария предлагаемой ГИС для структурирования запасов угольной залежи выполнено на примере Эльгинского каменноугольного месторождения Южно-Якутского угольного бассейна, отличающегося сложной структурой залегания угольных месторождений и изменяющимся качеством минерального сырья. При этом использованы данные геолого-технологического картирования пластов  $У_4$  и  $У_5$  Ундытканской свиты, а также пластов  $Н_{15}$  и  $Н_{16}$  Нерюнгринской свиты, в которых сосредоточено более 80% общих запасов залежи. Указанные пласты относятся к группе мощных, имеют сложное строение, включая до 12 породных прослоев, по характеру изменчивости мощности относятся к относительно выдержанным. Качество углей изменяется как по падению, так и по простиранию пластов, а также от пласта к пласту. Запасы месторождения представлены двумя марками: Ж и 1СС, при этом жирные угли — двумя технологическими группами Ж6 и Ж21 [17]. По ГОСТ 25543-2013, эти угли соответствуют маркам ГЖ (подгруппа 2ГЖ) и Ж (группа 2Ж). Угли марки Ж пригодны для коксования, а марок 1СС и ГЖ — для энергетического сжигания.

Дифференциация запасов породно-угольного массива средствами геоинформационной системы ArcGIS начинается с создания информационной и цифровой моделей месторождения.

Современным подходом к информационному моделированию месторождения является разработка геологической базы данных (ГБД), предназначенной для хранения и обработки большого объема первичной геологической информации, поступающей в процессе изучения и использования недр. ГБД воспроизводит особенности внутреннего строения угольной залежи и содержит сведения о форме и характеристиках морфологических элементов породно-угольного массива, а также свойствах полезного ископаемого и вмещающих пород, представленные на структурных колонках, отстраиваемых по разведочным скважинам на разных стадиях освоения месторождения.

Вопросы теоретической разработки и практической реализации ГБД рассмотрены в [18]. Отметим, что информационная модель Эльгинского месторождения построена на основе 214 разведочных скважин и содержит данные об относительных отметках кровли и почвы 622 пласто-подсечений, о мощностях 6206 угольных и породных слоев, о 13352 значениях показателей свойств угля и угольной массы.

Цифровая модель угольного месторождения в терминах геоинформационной системы ArcGIS представляет собой совокупность слоев, каждый из которых содержит векторную или регулярную модель пространственных данных, характеризующих строение залежи или свойства полезного ископаемого в ее запасах.

В векторных моделях объекты реального мира отображаются с помощью точечных, линейных и полигональных объектов. Так, разведочные скважины месторождения моделируются точечными объектами, геологические профили — линейными, а площади угольных пластов или отдельных его участков — полигональными.

Регулярные модели описывают пространственные объекты в виде набора регулярных (т. е. имеющих правильную геометрическую форму) ячеек с присвоенными им значениями, для определения которых применяют метод интерполяции.

В настоящей работе такие модели использованы для отображения закономерностей изменения характеристик морфологических элементов месторождения и показателей качества полезного ископаемого, необходимых для разделения балансовых запасов залежи на группы по направлениям хозяйственного назначения. Ячейки этих моделей имеют квадратную форму размером  $2 \times 2$  м, интерполяция выполнена методом обратно взвешенных расстояний со следующими значениями параметров: степень полинома 2, число точек, участвующих в расчете нового значения, 12, радиус переменный. Выбор метода интерполяции и степени полинома обусловлен широко распространенным положительным опытом их использования при решении горных задач.

В процессе изучения качества запасов Эльгинского месторождения для каждого пласта построены и проанализированы следующие регулярные модели: относительных отметок кровли и почвы, общей и полезной мощности, зольности угольной массы, зольности чистого угля, выхода летучих веществ, толщины пластического слоя. Некоторые из них показаны на рис. 1.

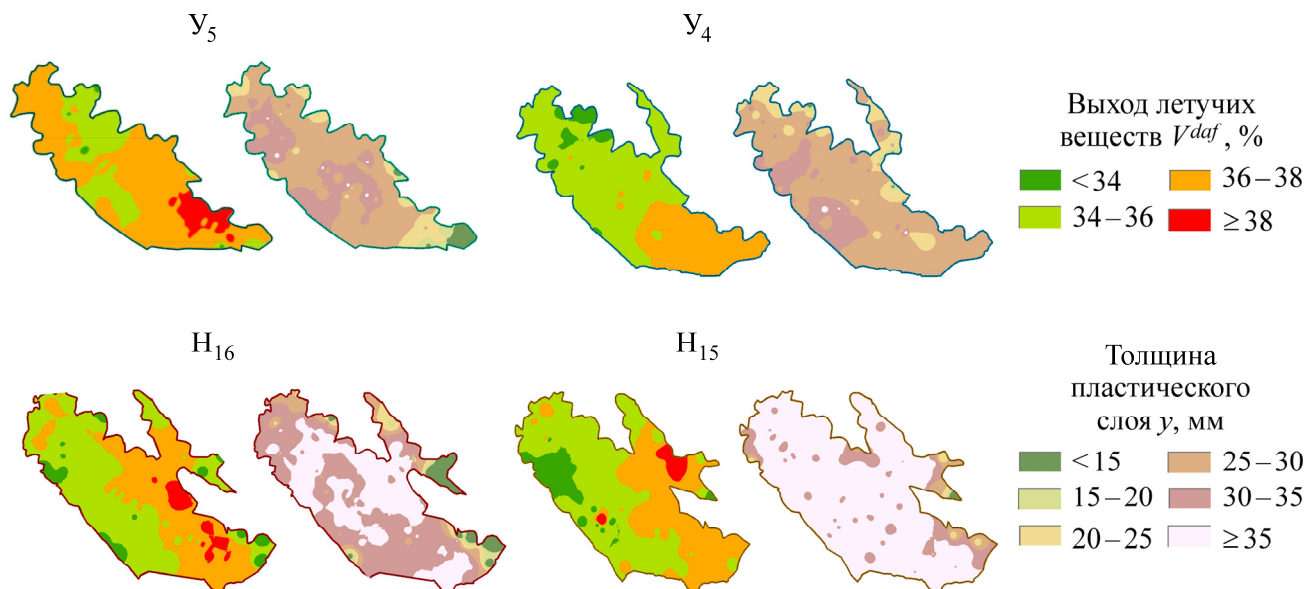


Рис. 1. Регулярные модели классификационных показателей пластов  $U_5$ ,  $U_4$ ,  $H_{16}$ ,  $H_{17}$  Эльгинского каменноугольного месторождения

Приведенные модели иллюстрируют индивидуальный характер изменчивости таких классификационных показателей, как выход летучих веществ  $V^{daf}$  и толщина пластического слоя  $u$  по простиранию каждого из изучаемых пластов Эльгинского месторождения. Кроме того, модели изменчивости показателя спекаемости подтверждают закономерность увеличения его значений с ростом глубины залегания угольных пластов.

Наличие цифровой модели угольного месторождения, построенной средствами ГИС ArcGIS, позволяет задачу структурирования запасов всей залежи свести к задаче разделения по уровням качества запасов отдельных угольных пластов.

Независимо от размерности изучаемых показателей качества (скалярный или векторный), а также системы ограничений, устанавливаемых на их значения, методика разделения запасов отдельного угольного пласта предполагает реализацию следующей последовательности действий.

1. Построить регулярную модель общей (полезной) мощности пласта.
2. Построить регулярную модель изменчивости по простиранию пласта того показателя качества (скалярного или векторного), по которому требуется структурировать запасы залежи.
3. Установить ограничения на значения показателя качества для выделения зон его однородности.
4. Построить регулярные модели зон однородности полезного ископаемого, отвечающие заданным ограничениям на значения выбранного показателя качества.
5. Проверить, что каждая ячейка регулярной модели изменчивости показателя качества входит в одну и только в одну из регулярных моделей зон однородности.
6. Построить регулярные модели общей (полезной) мощности пласта для каждой выделенной зоны однородности.
7. Вычислить объемы полезного ископаемого, характеризующиеся каждым из заданных условий однородности показателя качества.

Все арифметические и булевы операции над регулярными моделями выполняются в калькуляторе растров Raster Calculator ГИС ArcGIS.

Насколько сильно друг от друга может отличаться структура запасов по разным скалярным показателям качества, демонстрирует рис. 2. Как видно из рис. 2а, распределение объемов угля по выделенным интервалам изменения выхода летучих веществ  $V^{daf}$  практически одинаково на уровне как отдельных пластов (за исключением пласта  $У_5$ ) и свит, так и месторождения в целом. По интервалам однородности толщины пластического слоя  $у$  каждый пласт, свита и месторождение в целом имеют свое распределение запасов полезного ископаемого (рис. 2б).

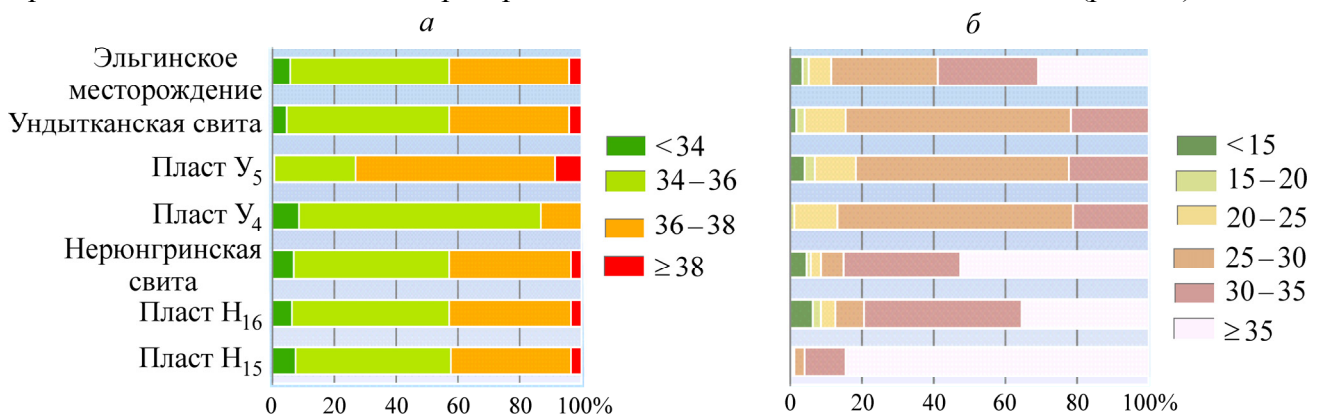


Рис. 2. Доля объемов угольной массы, однородных по выходу летучих веществ  $V^{daf}$  (а) и толщине пластического слоя  $у$  (б), в структуре запасов Эльгинского месторождения

Результаты моделирования технологических групп и подгрупп по простиранию изучаемых пластов Эльгинского месторождения показаны на рис. 3. Визуальный анализ регулярных моделей распространения технологических групп и подгрупп по простиранию пластов Эльгинского месторождения подтверждает следующие особенности этой угольной залежи: качество полезного ископаемого изменяется не только по площади отдельных пластов, но и от пласта к пласту, угли представлены несколькими марками.

Как видно из моделей, угли пластов представлены двумя технологическими подгруппами (1ГВ, 2ГЖОВ) и пятью группами (2ГЖ, 1Ж, 2Ж, 1СС, 2СС). Выделенные технологические группы и подгруппы по действующему стандарту ГОСТ 25543-2013 объединяются в пять марок: Г, ГЖО, ГЖ, Ж, СС. Для сравнения, согласно [19], на Эльгинском месторождении выделены только три марки: Ж, ГЖ и СС. Таким образом, обработка инструментами ГИС ArcGIS

всей имеющейся геологической информации позволила для Эльгинского месторождения повысить точность определения числа и границ распространения марок, технологических групп и подгрупп и дополнить список заявленных марок еще двумя: Г и ГЖО.

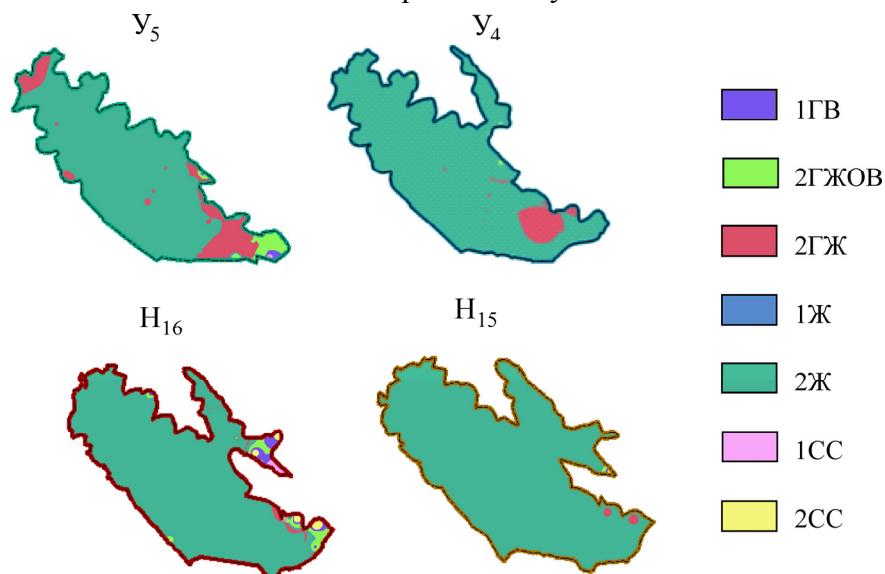


Рис. 3. Распределение технологических групп и подгрупп по простиранию пластов

Результаты подсчета объемов угольной массы и чистого угля различных технологических групп и подгрупп по четырем пластам Эльгинского месторождения (при расчетном удельном весе угля 1.3 т/м<sup>3</sup>) приведены в таблице.

Распределение запасов Эльгинского месторождения

Марка	Группа	Подгруппа	Объем			
			угольной массы		чистого угля	
			млн т	%	млн т	%
Г	1Г	1ГВ	16.87	0.99	15.07	1.04
ГЖО	2ГЖО	2ГЖОВ	37.45	2.21	33.68	2.33
ГЖ	2ГЖ	—	61.97	3.66	52.29	3.62
Ж	1Ж	—	3.33	0.20	2.96	0.20
		2Ж	1562.03	92.15	1328.63	91.96
СС	1СС	—	5.14	0.30	4.65	0.32
		2СС	8.32	0.49	7.58	0.53
Итого			1695.11	100.00	1444.86	100.00

Анализ табличных данных позволяет сделать следующие выводы о структуре запасов изучаемой части Эльгинского месторождения и возможных направлениях их использования:

— запасы угольной массы (чистого угля) Эльгинского месторождения на 98.22 % (98.11 %) представлены тремя особо ценными коксующимися марками (Ж, ГЖ, ГЖО) и на 1.78 % (1.88 %) — двумя энергетическими марками (Г, СС);

— угли марки Ж составляют 92.35 % (92.16 %) запасов Эльгинского месторождения. Эти угли применяются главным образом в коксохимической промышленности, составляя от 20 до 70 % коксовых шихт. Кокс, полученный из углей марки Ж, обладает высокой структурной прочностью;

— доля углей газовых жирных (ГЖ) составляет 3.66 % (3.62 %) от запасов месторождения. Угли этой марки в основном используются в коксохимической промышленности. В большинстве случаев они могут полностью заменять жирные угли в шихтах коксохимических заводов. Пригодны они также для производства синтетического жидкого топлива;

— газовые жирные отощенные (ГЖО) угли на Эльгинском месторождении представлены группой 2ГЖО. Угли группы 2ГЖО являются хорошим сырьем для коксования и могут составлять более половины шихты;

— на долю газовых углей (Г), представленных группой 1ГВ, приходится около 1 % от запасов изученной части месторождения. Угли марки Г используются в основном как энергетическое и коммунально-бытовое топливо;

— слабоспекающиеся угли представлены технологическими группами 1СС и 2СС, суммарная доля которых составляет 0.79 % (0.85 %). Эти угли применяются главным образом на крупных электростанциях, в промышленных котельных и коммунально-бытовом секторе. В ограниченном количестве отдельные разновидности углей марки СС применяются в шихтах коксохимических заводов.

Для более детального определения направлений использования углей отдельных марок возможно модели марок, технологических групп и подгрупп комбинировать с моделями требуемых скалярных показателей качества (зольности  $A^d$ , выхода летучих веществ  $V^{daf}$ , толщины пластического слоя  $y$ , массовой доли общей серы  $S_t^d$ , мышьяка  $As^d$ , хлора  $Cl^d$ , фосфора  $P^d$  и др.) и выделять внутри марок зоны однородности углей по выбранным показателям качества с последующим вычислением по ним объемов разновидностей запасов внутри марок.

#### ВЫВОДЫ

На примере Эльгинского каменноугольного месторождения Республики Саха (Якутия) разработана и опробована методика структурирования запасов угольных залежей сложного строения с помощью геоинформационной системы ArcGIS, позволяющая получать представление о закономерностях пространственной изменчивости качества полезного ископаемого в отдельных пластах месторождения без поиска аналитических зависимостей, выражающих особенности изменения свойств угля в недрах. Методика дает возможность проводить целенаправленное разделение углей по уровням качества с целью обоснования решений по выбору направлений хозяйственного использования минеральных ресурсов.

Предлагаемая методика применима также для структурирования запасов пластовых месторождений других полезных ископаемых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Методические рекомендации** по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы / ФГУ “Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых”. Утв. распоряжением Министерства природных ресурсов России от 05 июня 2007 г. № 37-р. — М., 2007.
2. **ГОСТ 25543-2013**. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. — М.: Стандартинформ, 2014.
3. **ГОСТ Р 51586-2000**. Угли каменные и антрацит Кузнецкого бассейна и бурые угли Итатского месторождения для энергетических целей. — М.: Изд-во стандартов, 2000.
4. **ГОСТ Р 51588-2000**. Угли каменные и антрацит Кузнецкого бассейна для технологических целей. — М.: Изд-во стандартов, 2000.

5. **ГОСТ Р 51587-2000.** Угли каменные и антрацит Кузнецкого бассейна для цементных и известковых печей и производства кирпича. — М.: Изд-во стандартов, 2000.
6. **Фрейдина Е.В., Ботвинник А.А., Дворникова А.Н.** Основы управления качеством добываемых углей в контексте международных стандартов ISO 9000-2000 // ФТПРПИ. — 2008. — № 6.
7. **Уголь** как вид полезного ископаемого / Отраслевой портал “Российский уголь” [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.rosugol.ru/e-store/coal\\_information.php](http://www.rosugol.ru/e-store/coal_information.php).
8. **Фрейдина Е.В., Ботвинник А.А., Дворникова А.Н.** Основы классификации углей по потребительским свойствам // ФТПРПИ. — 2011. — № 5.
9. **ФБУ “Государственная комиссия по запасам твердых полезных ископаемых”.** Об использовании геоинформационных систем при подсчете запасов твердых полезных ископаемых [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gkz-rf.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=181:2013-11-28-12-29-03&catid=42:news-news&Itemid=1](http://www.gkz-rf.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=181:2013-11-28-12-29-03&catid=42:news-news&Itemid=1).
10. **Трубецкой К. Н., Клебанов А. Ф., Владимиров Д. Я.** Геоинформационные системы в горном деле [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.portalero.ru/drugoe/statya\\_geoinformacionnye\\_sistemy\\_v.html](http://www.portalero.ru/drugoe/statya_geoinformacionnye_sistemy_v.html).
11. **Корнилков С. В., Рыбникова Л. С., Рыбников П. А.** Концепция геоинформационной системы “Комплексное освоение природных и техногенных ресурсов Урала” // Изв. вузов. Горн. журн. — 2013. — № 8.
12. **Рубан А. Д.** Основные положения по проектированию технологического процесса дегазации при подземной добыче угля и газа // ГИАБ. Отд. вып. № 1: Тр. науч. симп. “Неделя горняка-2011”. — М.: МГГУ, 2011.
13. **Гриб Н. Н., Сясько А. А., Качаев А. В.** Подсчет запасов угольных месторождений с использованием геоинформационных технологий // Совр. наукоемкие технологии. — 2011. — № 1.
14. **Кондратова Н. Н.** Применение средств ГИС-технологий при составлении карт изученности и освоенности угольных объектов Дальневосточного федерального округа // Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых: тез. докл. IV науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. — М., 2012.
15. **Дранишников П. С., Кувашкина Т. А., Конкин Е. А.** Использование ГИС-технологий при подсчете запасов полезного ископаемого // ГИАБ. — 2004. — № 4.
16. **Антипова А. П.** Применение геоинформационных технологий при построении 3D-моделей угольных пластов для оценки ресурсов углей западной части Приграничной угленосной площади Южно-Якутского бассейна // Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых: тез. докл. V науч.-практ. школы-конф. молодых ученых и специалистов с междунар. участием, посвящ. 150-летию со дня рождения акад. В. А. Обручева. — М.: ВИМС, 2013.
17. **ГОСТ 10101-86** Угли каменные Южно-Якутского бассейна. Классификация. — М.: Изд-во стандартов, 1986.
18. **Дворникова А. Н., Дубынина Н. В.** Создание базы геологической информации в управлении качеством ископаемых углей // ГИАБ. — 2003. — № 7.
19. **Технико-экономическое обоснование** промышленного освоения Эльгинского месторождения. I этап. Основные положения. Кн. 2: Горно-транспортная часть. — Новосибирск: Сибгипрошахт, 1993.

*Поступила в редакцию 21/X 2015*