

УДК 622.33.004.94(571.56)

**Хоютанов Евгений Александрович**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела Севера  
им. Н.В. Черского СО РАН,  
677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43  
e-mail: [khoiutanov@igds.ysn.ru](mailto:khoiutanov@igds.ysn.ru)

**Гаврилов Владимир Леонидович**

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт горного дела Севера  
им. Н.В. Черского СО РАН,  
e-mail: [gvlugorsk@mail.ru](mailto:gvlugorsk@mail.ru)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПОЛЯРНОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

### Аннотация:

В Республике Саха (Якутия) существует проблема повышения энергобезопасности населения арктических районов, связанная с рядом специфических особенностей этих территорий. Одним из способов решения ряда задач, связанных со стабильным и надежным обеспечением региона топливом, может стать вовлечение в эксплуатацию местных ресурсов угля на основе их комплексного анализа и оценки с обязательным учетом специфики каждого конкретного района и месторождения. В настоящее время в ИГДС СО РАН ведется разработка информационно-аналитической системы, включающей базы данных по залежам твердого топлива, их компьютерные модели, а также сведения о производителях и потребителях в регионе с учетом существующих и перспективных геотехнологий, методов утилизации твердого топлива и транспортно-логистических схем. В основе системы – зарегистрированная база данных «Уголь арктической зоны Якутии».

По предполагаемым к первоочередному освоению месторождениям региона, предварительно отобраным по результатам экспертного анализа, проводятся работы, связанные с построением компьютерных моделей залежей с последующим изучением методами геостатистики характера и закономерностей пространственного распределения запасов угля и его качества в недрах, а также моделированием условий и порядка отработки отдельных добычных блоков. Все это в итоге способствует исследованию геотехнологических процессов для оптимизации их параметров и построению систем управления качеством угля.

В статье приведены результаты моделирования ряда арктических месторождений. Рассмотрены структура и идеология построения информационно-аналитической системы. Обозначен вопрос сравнения качества углей двух месторождений с точки зрения возможности и целесообразности взаимного замещения в местах потребления. При этом глубокий анализ невозможен без использования для целей моделирования горно-геологических информационных систем, таких как, например, MINEFRAME и Micromine.

**Ключевые слова:** уголь, Якутия, Арктика, энергетическая безопасность, информационно-аналитическая система, база данных, моделирование

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.04.053

**Khoiutanov Evgeniy A.**

junior researcher,  
The Institute of Mining of the North,  
the Siberian Branch of RAS,  
677980 Yakutsk ,43 Lenin av.  
e-mail: [khoiutanov@igds.ysn.ru](mailto:khoiutanov@igds.ysn.ru)

**Gavrilov Vladimir L.**

PhD, Leading researcher,  
The Institute of Mining of the North,  
the Siberian Branch of RAS  
e-mail: [gvlugorsk@mail.ru](mailto:gvlugorsk@mail.ru)

## MODELING OF COAL DEPOSITS IN THE POLAR ZONES OF YAKUTIA

### Abstract:

There is a problem of increasing the energy security of Arctic regions in the Republic of Sakha (Yakutia) related to a number of specific features of these territories. Involving into exploration the local resources of coal on the basis of comprehensive analysis and evaluation with due regard for specificity of each particular region can become one of the methods of smoothing the problems of stable and reliable supply of the region with fuel. Currently information-analytical system is being developed in the Institute of Mining of the North, the Siberian Branch of RAS, which includes databases of coal deposits, their digital models, as well as information on producers and consumers in the region with taking into account the existing and future geo-technologies, recycling technologies of solid fuel, transport and logistics schemes. There is a state registered database "Coal deposits of polar zones of Yakutia" in the basis of the system.

Works connected with computer modeling of deposits with subsequent study using the methods of geo-statistics of nature and patterns of spatial coal reserves distribution and its quality in the bowels and simulation conditions and order of individual mining blocks are being carried out for deposits of the region that are alleged to priority development and were pre-selected on the results of peer review. All this ultimately contributes to the investigation of geo-technical processes for optimization their parameters and construction of coal quality control systems.

The article presents the results of the simulation of a number of Arctic fields. The quality of the coals of the two fields was compared in terms of the feasibility of mutual mpared. In this case deep analysis is impossible without using mining and geological information systems, such as, for example, MINEFRAME and Micromine for modeling purposes.

**Key words:** coal, Yakutiya, Arctic, energy security, information-analytical system, database, modeling.

В последнее время растет интерес науки и практики к развитию российского сектора Арктики [1 – 2 и др.]. Практически во всех действовавших и принятых в настоящее время в стране концепциях и стратегиях, учитывая экстремальность природно-климатических особенностей, проблеме надежного обеспечения топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) расположенных в регионе населенных пунктов и предприятий необходимо уделять особое внимание.

В полярных районах Республики Саха вопросы повышения энергетической безопасности стоят наиболее остро. Это связано с рядом специфических особенностей территории: очень низким уровнем развития или отсутствием инфраструктуры; ярко выраженной сезонностью доставки грузов водным и автомобильным транспортом; малыми объемами потребления завозимых ТЭР; отсутствием или недостатком локальных мощностей по их производству; разбросанностью по огромной площади небольшого количества населенных пунктов; высокой стоимостью топлива и электроэнергии в конечных точках потребления. Топливо для нужд жилищно-коммунального хозяйства и электроэнергетики завозится по сложным логистическим схемам с многочисленными перевалками и длительными сроками складирования. При этом периодически возникают срывы завоза грузов, что способствует возникновению чрезвычайных ситуаций, которые, в свою очередь, приводят к дополнительным расходам и неблагоприятным социальным последствиям.

Одним из способов стабильного и надежного обеспечения региона ТЭР может стать разработка местных месторождений. Как показывает анализ [3], при существующем уровне потребления такая может закрыть суммарные потребности региона в топливе на многие десятки лет. В настоящее время Государственным балансом запасов в 13 северных районах Якутии учтены 15 месторождений каменного и бурого угля различных технологических марок с запасами более 63 млн т. Имеются многочисленные угольные проявления. Кроме того, широко распространен торф. Геологическая информация о практически всех месторождениях получена еще в прошлом веке, в основном в 40 – 60-е годы, по действовавшим в то время критериям оценки. В последние десятилетия процесс получения новых научно-технических материалов об угольных месторождениях как в целом по стране, так и в рассматриваемом регионе, учитывающий возможности использования современных методов исследования, резко затормозился.

Одно из следствий такой ситуации – необходимость поиска, сбора, бережного хранения, эффективной обработки и рационального использования уже имеющейся геологической информации, дополняемой по мере необходимости новыми материалами. В настоящее время в ИГДС СО РАН ведется разработка информационно-аналитической системы (ИАС), ориентированной на решение этих задач. В основе системы лежат базы данных (БД) по отдельным залежам твердого топлива, их компьютерные модели, сведения о производителях и потребителях в регионе с учетом существующих и перспективных геотехнологий, методов утилизации твердого топлива и логистических схем.

Общее представление об объектах исследования формируется путем применения БД «Уголь арктической зоны Якутии» (свидетельство о государственной регистрации № 2014621506). Она включает текстовые и графические материалы, полученные на различных стадиях геологического изучения месторождений и углепроявлений; опубликованные материалы, имеющие отношение к обозначенной проблематике; данные предприятий, разрабатывающих месторождения угля и участвующих в завозе твердого топлива в труднодоступный полярный регион.

В процессе выполнения работы по созданию БД были собраны и проанализированы опубликованные в печати источники информации (монографии, статьи, диссертации и др.); выполнен поиск и проведен предварительный экспертный отбор источников геологической информации в фондах ГУП РС (Я) «Сахагеоинформ» (Якутск) по поискам и оценке сырьевой базы угля; проведено ранжирование информации о месторождениях

по территориальному признаку с учетом их потенциальной инвестиционной привлекательности и перспектив освоения; сформирован экспертным путем предварительный перечень географических, геологических, технологических, экономических, логистических и других показателей, включаемых в БД; на основе имеющихся программных средств с открытым кодом разработано приложение с архитектурой «клиент-сервер».

Показатели, учитываемые в БД в виде таблиц, разделены на несколько основных групп. В их числе «Районы (улусы)», «Основные технико-экономические характеристики районов», «Инфраструктурное обеспечение», «Климат», «Месторождения», «Запасы», «Качество угля», «Вскрышные породы», «Строение и структура пластов», «Источники информации». Перечень показателей, отраженных в БД, будет пополняться на последующих этапах работы, в том числе в случае проведения новых геологоразведочных работ на месторождениях твердого топлива в Арктике. Доступ к данным, поиск, отбор и сортировка осуществляются на основе запросов с помощью графического интерфейса с привязкой к географической карте (рис. 1).

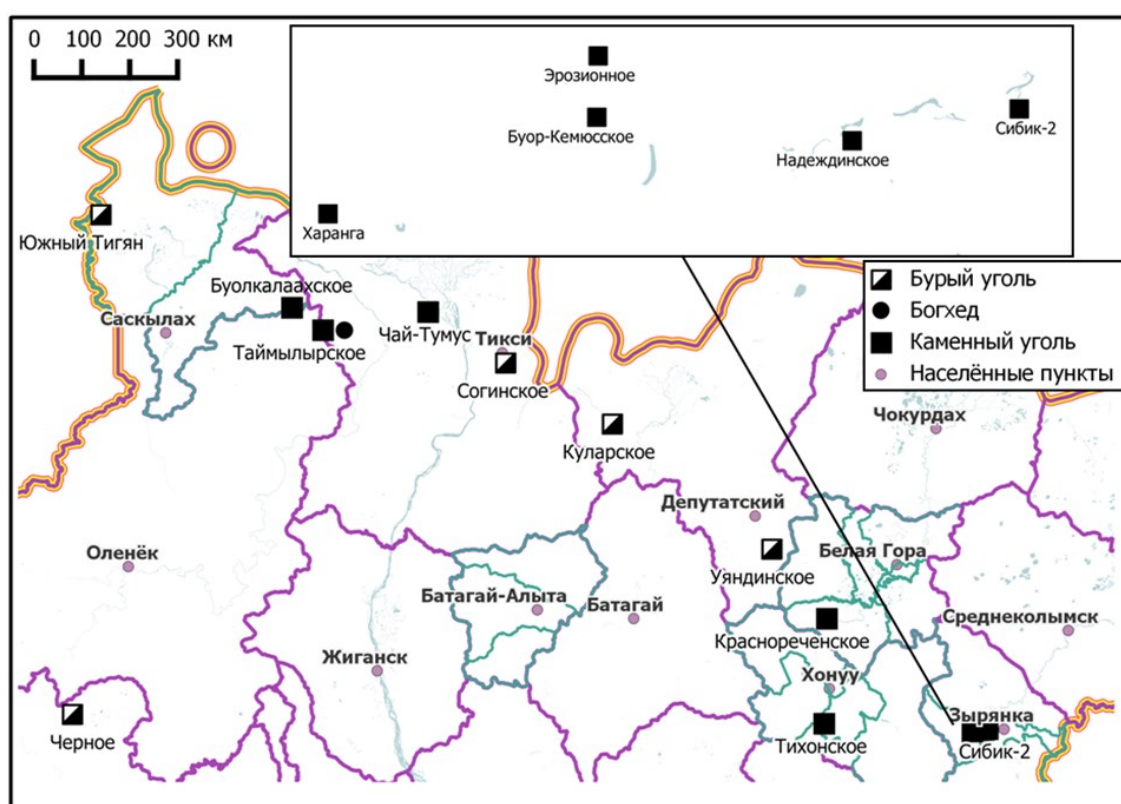


Рис. 1 – Угольные месторождения арктической зоны Якутии

При создании БД и интерфейса применялось свободное программное обеспечение: геоинформационная система (ГИС) Quantum GIS; объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL с расширением для хранения в базе географических данных PostGIS; платформа администрирования и разработки для PostgreSQL – PgAdminIII; механизм подключения к внешним СУБД Apache OpenOffice.org Base; веб-картографический сервер для опубликования и обработки пространственных данных GeoServer.

Использование БД способствует систематизации имеющейся геологической, технологической, экономической и иной информации, повышает доступность и мобильность ее обработки. Аккумулированные сведения являются инструментом анализа комплексных характеристик из показателей различной природы и размерности. БД удобна для применения при решении не только прикладных, проектных и оценочных, но и научных задач.

По осваиваемому и предполагаемым к первоочередному освоению месторождениям региона, предварительно отбираемым по результатам экспертного анализа, проведены дополнительные работы. Они связаны с созданием самостоятельных баз данных по отдельным залежам с информацией по координатам разведочных выработок, их интервальному опробованию с качественными характеристиками угля и структурой пластов; последующим изучением методами геостатистики характера и закономерностей пространственного распределения запасов угля и его качества в недрах; построением цифровых моделей залежей; моделированием условий и порядка отработки отдельных добычных блоков; исследованием геотехнологических процессов для оптимизации их параметров; совершенствованием и/или построением систем управления качеством угля.

На текущий момент сформирован ряд баз данных с формализованной геолого-маркшейдерской и геотехнологической информацией, полученными расчетными данными, графическими материалами и моделями рабочих пластов. В частности, создана БД для расположенного в непосредственной близости от Арктического побережья, ранее разрабатывавшегося и находящегося в настоящее время в распределенном фонде Таймыльского месторождения угля и богхедов (№ 2014621499). На ее основе с применением горно-геологической информационной системы (ГГИС) MINEFRAME [4] построены каркасная, векторная и блочная модели основного рабочего пласта угля с зоной распространения в нем богхедов (рис. 2). Полученные результаты использовались для предварительной оценки перспектив валовой и селективной выемки различных типов твердого топлива.

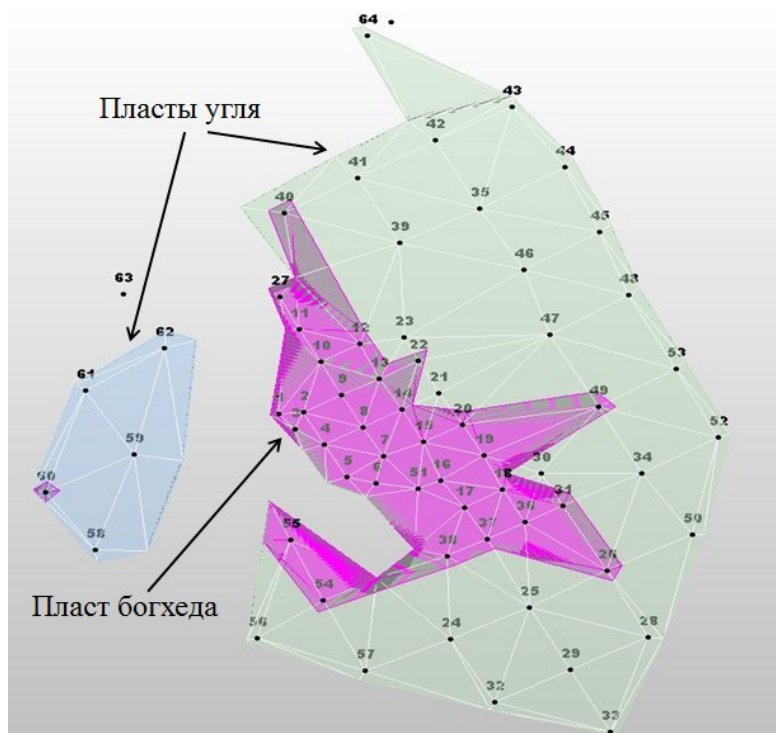
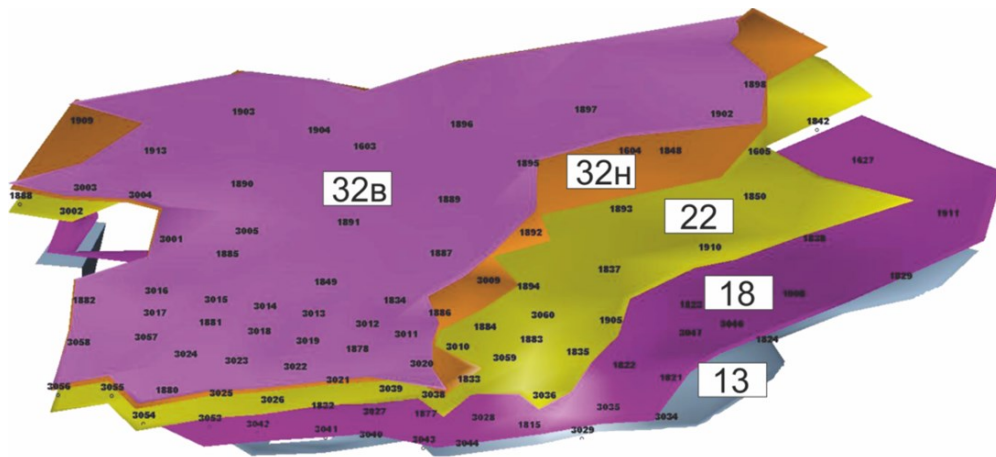


Рис. 2 – Каркасная модель Таймыльского месторождения угля и богхедов

Работы по формированию БД и моделированию проведены и по ряду других месторождений. В Колымо-Индигорской группе районов находятся относящиеся к Зырянскому угольному бассейну месторождения каменного угля Надеждинское (№ 2016621091), разрабатываемое разрезом «Зырянский» (рис. 3 а), и Краснореченское (№ 2015620897), для которого на основании выполненной предварительной оценки [5] показана целесообразность освоения (рис. 3 б). В перспективном для возобновления добычи золота и олова Усть-Янском районе расположены бурогольные месторождения Куларское (№ 2015620978, рис. 4 а) и Уяндинское (№ 2016621090, рис. 4 б).

а



б

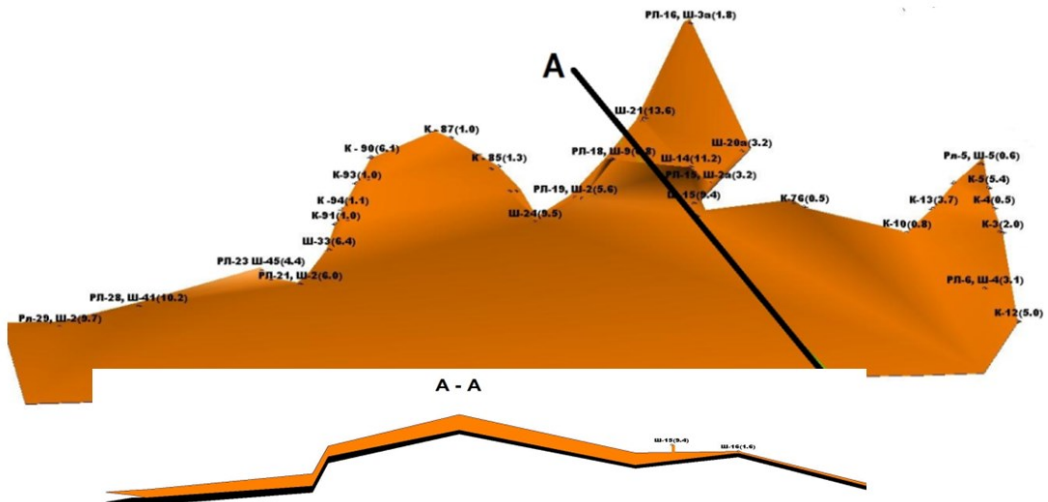


Рис. 3 – Модели Надеждинского (а) и Краснореченского (б) каменноугольных месторождений

Создаваемая ИАС, объединяющая в едином информационном пространстве базы данных по региону и месторождениям, включает несколько подсистем, каждая из которых может функционировать самостоятельно. Помимо самих БД, это система управления находящимися в них цифровыми данными как связующее средство импорта-экспорта. Далее – географические ГИС для пространственной привязки: точек расположения месторождений и углепроявлений; мест складирования, перевалки, производства тепловой и электроэнергетики, ее потребления; полигонов-линий (транспортных схем) со своими атрибутами, свойствами, показателями; а также для отображения границ районов. И наконец, ГГИС в качестве основного инструмента для детального изучения и моделирования не только тел основных залежей и их отдельных участков, но и способов их отработки, планирования, проектирования и анализа. Представленный комплекс средств в случае необходимости дополняется другим вспомогательным стандартным или специальным программным обеспечением.

Использование ИАС, ее постоянное пополнение, в том числе за счет ввода более актуальных сведений и накопления получаемых при ее применении новых знаний, позволяет более обоснованно и взвешенно подойти к вопросам исследования целесообразности, технической и технологической возможности и социально-экономической эффективности освоения георесурсов с учетом специфики региона.

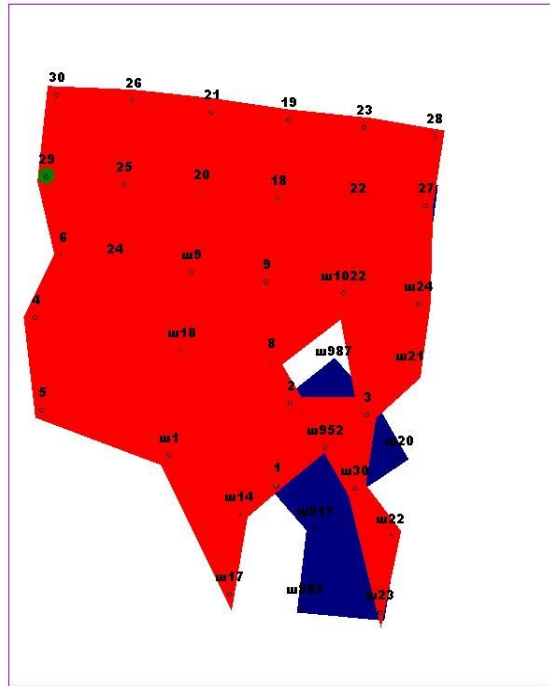
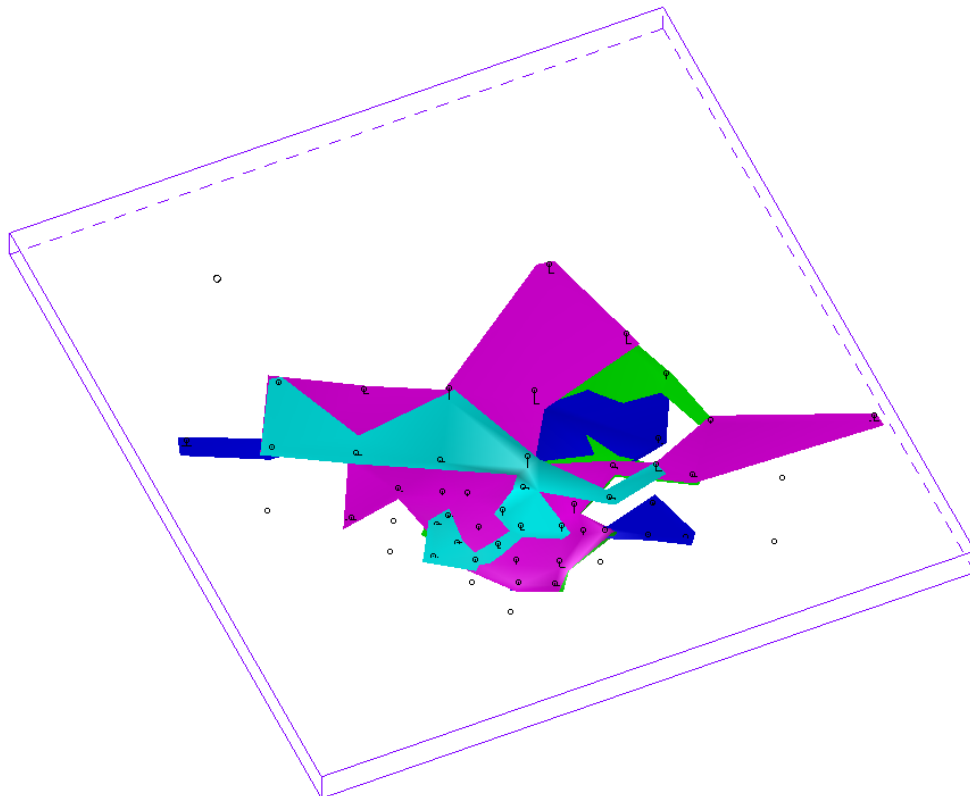
*а**б*

Рис. 4 – Модели Куларского (а) и Уяндинского (б) бурогольных месторождений

Компьютерные модели месторождений способствуют более глубокому анализу, пространственному изучению структурных особенностей массивов, строения угольных пластов и их отдельных пачек, породных прослоев, контуров зон окисления, углов падения, распределения качественных характеристик углей [6 – 9]. Например, при оценке

возможности организации добычи на участке «Соголох» Краснореченского месторождения для упрощения схем доставки угля в Индигирскую группу районов и повышения их энергетической безопасности выполнено сравнение качества углей данной залежи с разрабатываемым Надеждинским месторождением [10]. Произведенное картирование позволило выделить в контурах обрабатываемого на Надеждинском месторождении пласта 32в зоны с разным природным качеством: высокозольные со средней зольностью  $A^d \sim 25\%$ ; менее зольные ( $A^d \sim 15\%$ ) и низкозольные ( $A^d \sim 10\%$ ). Для Краснореченского месторождения (участок Соголох) также свойственна неоднородность распределения зольности угля и теплоты его сгорания на отдельных участках. Но в отличие от Надеждинского, уровень разведанности которого значительно выше, при доразведке первого из них границы запасов угля с разным качеством, полученные по результатам выполненного моделирования, вероятнее всего, изменятся в сторону их усложнения.

Несмотря на установленные различия в свойствах угля, при планировании и ведении горных работ данный факт учитывается не в полной мере. Это приводит к тому, что отгружаемый удаленным потребителям уголь имеет нестабильный во времени уровень качества. Данный факт является одной из причин снижения эффективности работы котельного оборудования. Более точная дифференциация запасов по качеству позволит разработать соответствующие мероприятия технологического и организационного характера для совершенствования процессов управления потребительскими свойствами добываемого и отгружаемого угля.

Продолжение работы по совершенствованию моделирования угольных месторождений арктической зоны Якутии, как одного из важных элементов в системах поддержки принятия решений, должно привести к росту надежности и достоверности процессов управления при освоении георесурсов в интересах социально-экономического развития региона.

### Литература

1. Полянская И.Г. Инновационное недропользование как способ развития Российского Севера / И.Г. Полянская, В.В. Юрак // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]: рецензируемое сетевое периодическое научное издание / ИГД УрО РАН. – 2014. – № 2. – С. 116 - 121.
2. Формирование стратегических приоритетов изучения и комплексного освоения арктических территорий Российской Федерации / Под общ. ред. акад. РАН А.И. Татаркина. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2013. – 374 с.
3. Угольные месторождения арктической зоны Якутии и Чукотки: состояние сырьевой базы и возможности её освоения / Н.С. Батугина, В.Л. Гаврилов, Е.А. Хоютанов, В.И. Федоров // Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 5 - 11.
4. Лукичѳв С.В. Системный подход к решению задач горной технологии на основе моделирования ее объектов и процессов / С.В. Лукичѳв, О.В. Наговицын // Проблемы недропользования. – 2016. – № 4 (11). – С. 141 - 151. DOI 10.18454/2313-1586.2016.04.069
5. Повышение энергобезопасности арктических районов республики Саха (Якутия) на основе освоения местных топливно-энергетических ресурсов / Н.С. Батугина, В.Л. Гаврилов, И.Д. Баракаева, Н.Д. Тарский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2014. – № 6. – С. 79 - 85.
6. Using borehole geophysical data as soft information in indicator kriging for coal quality estimation / Webber T., Leite Costa J.F., Salvadoretti P. // International journal of coal geology. – 2013. – № 112. – P. 67 – 75.
7. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modeling variograms and kriging / Oliver M. A., Webster R. // Catena. – 2014. – № 113. – P. 56 – 69.
8. Reducing coal quality attributes variability using properly designed blending piles helped by geostatistical simulation / Beretta F. S., Costa J. F., Koppe J. C. // International journal of coal geology. – 2010. – № 84. – P. 83 – 93.

9. Identifying spatial heterogeneity of coal resource quality in a multilayer coal deposit by multivariate geostatistics / Mohamad Nur Heriawan, Katsuaki Koike // International journal of coal geology. – 2008. – № 73. – P. 307 – 330.

10. Федоров В.И. О качестве углей Надеждинского и Краснореченского месторождений / В.И. Федоров, В.Л. Гаврилов, Е.А. Хоютанов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, г. Якутск, 6 - 8 апреля 2016 г. – Якутск, 2016. – С. 681 - 685.