

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЛОЧНОЙ МОДЕЛИ ПЛАСТА (НА ПРИМЕРЕ КУТИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Г.П. Сидорова¹, П.М. Маниковский¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: druja@inbox.ru

Аннотация: Рассмотрена методика прогнозирования качественных показателей углей на основании подготовленных полных и пластовых блочных моделей буроугольных месторождений. Основная цель работы — создание блочной модели пласта «I» Кутинского буроугольного месторождения с качественными характеристиками блоков. В качестве маркерных показателей моделирования определены высшая и низшая теплота сгорания углей и зольность. Отражено выполнение двух задач: создание цифровой блочной модели полезного ископаемого (ПИ) с качественными показателями углей и ее дальнейшее использование в процессе организации добычи; анализ корреляции качественных показателей углей в созданной цифровой блочной модели на основе данных геологоразведочных работ (ГРП) 1959 г. с обобщенными данными эксплуатационной разведки 2020 г. Используются спроектированные цифровые блочные модели пласта ископаемых углей с интерполированными качественными характеристиками ПИ, построенные на основе данных геологической разведки 1959 г. Исследования показали удовлетворительную сходимость результатов, полученных при блочном моделировании пласта и при эксплуатационной разведке месторождения, выполненной в 2020 г. Также на основе удовлетворительной сходимости данных, авторы предложили гипотезу о применимости методов интерполяции для оценки не только качественных характеристик ПИ, но и показателей безопасности в пределах одной литологической структуры.

Ключевые слова: уголь, блочная модель, угольный пласт, теплота сгорания углей, зольность углей, Кутинское буроугольное месторождение, интерполяция, показатели качества углей.

Благодарность: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 2-27-20057, <https://rscf.ru/project/22-27-20057>.

Для цитирования: Сидорова Г. П., Маниковский П. М. Прогнозирование качества угля с применением блочной модели пласта (на примере Кутинского буроугольного месторождения) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12. – С. 55–66. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_55.

Prediction of coal quality using block model of a seam: A case-study of Kuti lignite deposit

G.P. Sidorova¹, P.M. Manikovskiy¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: druja@inbox.ru

Abstract: The article describes the quality prediction procedure for coal based on the complete and seam-wise block models of lignite deposits. The goal of the study is to construct a block model of seam I of Kuti lignite deposit with quality characteristics of the blocks. The marker variables of the modeling are the high and low heat values, as well as the ash content of coals. The article describes meeting of two objectives: creation of a digital block model of coal with quality characteristics and the use of the model in mining process; correlation and analysis of the coal quality characteristics in the digital block model based on the geological exploration data of 1959 and generalized exploration data of 2020. The digital coal seam block models in this study use the interpolated coal quality characteristics from the geological exploration data of 1959. The analysis shows a good agreement between the results of the block modeling of a coal seam and the data of operational exploration accomplished at the test deposit in 2020. Based on this agreement, the authors put forward a hypothesis on applicability of the interpolation methods in assessment of both mineral quality and mining safety within the limits of a lithological unit.

Key words: coal, block model, coal seam, coal heat value, ash content, Kuti lignite deposit, interpolation, coal quality characteristics.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 2-27-20057, <https://rscf.ru/project/22-27-20057>.

For citation: Sidorova G. P., Manikovskiy P. M. Prediction of coal quality using block model of a seam: A case-study of Kuti lignite deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12):55-66. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_55.

Введение

Современная ситуация развития отраслей горного производства как в Российской Федерации, так и во всем мире характеризуется наличием определенных устойчивых тенденций, появившихся в ответ на условия, в которых предприятия вынуждены развиваться. К основным тенденциям, влияющим на развитие горного производства, можно отнести:

1. Постоянно ухудшающиеся горно-геологические условия разработки месторождений ПИ, которые явились следствием отработки наиболее богатых месторождений ПИ, и вынужденное вовлечение в разработку месторождений с меньшей концентрацией ПИ или же с более низким его качеством [1 – 2].

2. Стремительный прогресс развития средств механизации, автоматизации, цифровизации и роботизации отраслей. В области механизации и роботизации

в процесс производства интегрируется все большее число механизмов, работающих с использованием средств дополненной и виртуальной реальности, дистанционного управления. В области автоматизации горного производства и геологоразведочных работ (ГРР) стало обыденностью использование постоянно возрастающего числа датчиков, отслеживающих те или иные параметры работы оборудования или средств мониторинга окружающей среды. Анализ собранных данных при помощи алгоритмов нейронных сетей и использование искусственного интеллекта позволяет интерпретировать данные совершенно различным образом, что в конечном итоге помогает инженерам принимать более взвешенные решения. Сфера цифровизации рассматривается авторами в основном со стороны внедрения в процесс управления горным производством

программного обеспечения (ПО). При помощи ПО на основе совокупности исходных данных предприятия создают цифровые двойники месторождений и проектируют на основе этих данных стратегию развития горных работ, моделируют планы развития горных работ и варианты развития предприятия в целом [3–5].

3. Концентрация внимания владельцев предприятий на максимально достоверной информации о состоянии всех процессов производства на основе постоянного анализа доступных данных.

4. Отсутствие стабильности на рынках, резкие скачки цен как в положительную, так и в отрицательную сторону. Особенно актуальным это стало в период пандемии COVID-19, а также в постпандемийный период, в котором Российская Федерация столкнулась с большим количеством введенных ограничений в сфере закупки оборудования, сырья и возможности реализации продукции, произведенной на своей территории, на внешних рынках.

Настоящая работа в большей степени отсылает нас ко второй тенденции — цифровизации горных работ, в частности, к созданию моделей ПИ на основе исходных данных и к процессу присвоения полученной модели количественных и качественных характеристик ПИ.

Описание

Основной метод, используемый в работе — метод моделирования. Советский математик А.А. Ляпунов, один из основоположников кибернетики, дал следующее определение понятию «моделирование»: это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель).

При этом следует учитывать, что эта модель должна находиться в объективном соответствии с познаваемым объектом, способна замещать его в определенных отношениях и в конечном счете должна предоставлять информацию о моделируемом объекте [6–7].

Более того, существует мнение, что моделирование можно считать промежуточным звеном между теорией и экспериментом, поскольку оно содержит черты, заимствованные из всех приведенных понятий [8–10].

Для создания моделей цифровых рудных тел принято использовать общепринятую в профессиональном сообществе логику моделирования:

1. Создание базы данных (БД) геологоразведочных скважин.

2. Выделение на основе данных геологического опробования рудных интервалов в соответствии с требованиями Государственной комиссии по запасам Российской Федерации (ГКЗ РФ).

3. Объединение смежных рудных интервалов в полигоны (получение контуров рудных тел и полигональной модели ПИ) на основе известных геологических методик.

4. Объединение контуров рудных тел (РТ) в каркасы РТ (получение каркасной модели).

5. Получение блочной модели ПИ и интерполяция в нее данных опробования.

То есть в контексте вопроса оценки каждого блока блочной модели ПИ задача интерполяции — найти неизвестные значения содержания полезного компонента на основе известных данных геологической разведки. Как правило, это данные по интервалам скважинного или бороздового опробования. В рассматриваемом примере происходит присвоение качественных или количественных показателей полезного ископаемого (например, содержание полезного компонента, зольность или тепло-

творная способность углей) в каждом блоке блочной модели [10].

Для создания цифровых моделей пластовых (на примере угольных) месторождений применяют несколько иную методику:

1. Создание БД геологоразведочных скважин.

2. Выделение интервалов опробования по ПИ на основе данных, полученных в результате геологической разведки.

3. Стратиграфическое моделирование участка горных работ на основе собранных геологоразведочных данных литологии месторождения.

4. Выделение особенностей залегания и тектонических нарушений на участке проведения работ.

5. Создание сеточных моделей кровли и почвы/подошвы пластов ПИ.

6. Создание блочной модели пластов ПИ на основе данных стратиграфии и последующая оценка каждого блока (интерполяция качественных характеристик в блоки).

Подробнее рассмотрим описанную выше методику на примере создания цифровой блочной модели угольного месторождения с показателями качества углей. Примером для создания модели будет служить Кутинское буроугольное месторождение, расположенное в непосредственной близости от реки Аргунь, на территории Забайкальского края Российской Федерации. Существует множество качественных характеристик углей, однако в данной работе для интерполяции будут применяться следующие:

- высшая теплота сгорания углей — Q_s^{daf} , МДж/кг;
- низшая теплота сгорания углей — Q_i^r , МДж/кг;
- зольность — A^d , %.

Результаты

По аналогии с алгоритмом моделирования рудных месторождений на пер-

вом этапе моделирования месторождения создадим базу данных геологоразведочных скважин, смоделируем каркас поверхности на основании данных геодезической съемки.

Вторым этапом выделим интервалы опробования по данным ГРР на траекториях скважин. В результате выполненных действий получим трехмерный каркас топографической поверхности района проведения работ с привязкой к местной системе координат МСК-75, зона 4, траектории геологоразведочных скважин и выделенные интервалы опробования (рис. 1).

Третий этап — стратиграфическое моделирование участка горных работ. На основе данных залегания полезного ископаемого уточняется глубина залегания пласта: высотные отметки его кровли и подошвы. Кроме того, на этом этапе уточняется количество пластов, вовлеченных в разработку, их стратиграфическое (иерархическое) расположение и характер пласта — материнский или дочерний. Это позволяет на следующем (четвертом) этапе моделирования пластов сгенерировать файл стратиграфической иерархии. Так как на Кутинском буроугольном месторождении в разработку вовлечен один пласт, и стратиграфическое расположение пласта не будет достаточно показательным, чтобы иллюстрировать созданную стратиграфическую иерархию пластов, а также деление материнских пластов на дочерние, приведем пример моделирования учебного пластового месторождения (рис. 2).

В результате этой операции полученный файл стратиграфической иерархии позволяет четко проследить связь пластов и при помощи функционала программного обеспечения (ПО) закодировать каждый из пластов своим цветом. Это позволяет визуально составить представление о геометризации пластов в недрах.

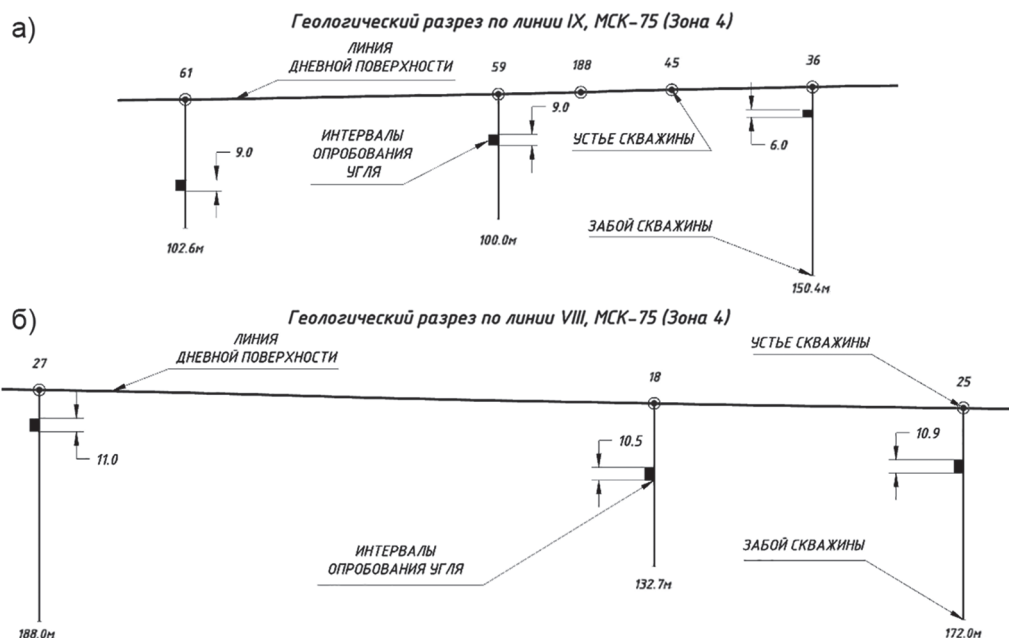


Рис. 1. Схемы геологических разрезов Кутинского бурогоугольного месторождения с визуализацией топографической поверхности, геологоразведочных скважин и интервалов опробования по полезному ископаемому: разрез по линии IX (а); разрез по линии VIII (б)

Fig. 1. Layouts of geological sections and visualization of topographic surface, exploratory wells and mineral sampling intervals at Kuti deposit: section along line IX (a); section along line VIII (b)

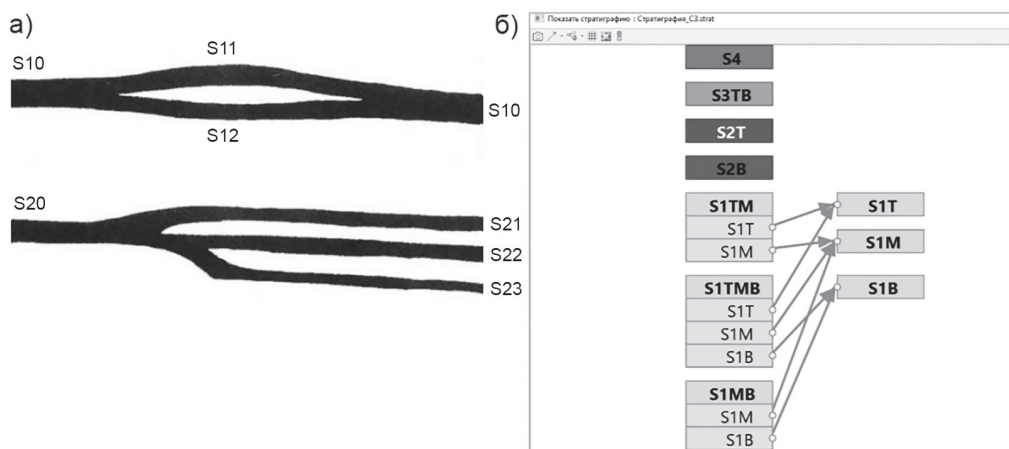


Рис. 2. Стратиграфическая иерархия пластов: деление пластов на материнские и дочерние на основании данных опробования (а); сгенерированный файл стратиграфической иерархии пластов на основе данных геологической разведки (б)

Fig. 2. Stratigraphic hierarchy of seams: parent and child seams based on sampling data (a); generated file of stratigraphic seam hierarchy based on geological exploration data (b)

Четвертый этап — моделирование особенностей залегания и тектонических нарушений, выявленных в результате ГРР. Моделирование нарушений позволяет создать модель, наиболее близкую к реальному залеганию пласта.

На пятом этапе специалист по моделированию создает сеточные модели поверхностей пластов (кровли и почвы) на основе сведений:

- о глубине залегания каждого пласта, полученных по данным лабораторного опробования;
- об отношении каждого интервала опробования к конкретному пласту на основании сгенерированного файла стратиграфической иерархии пластов.

Это позволяет ограничить интервалы опробования верхней и нижней сетками, создать на их основе цифровые модели поверхностей пластов (рис. 3).

На заключительном этапе из цифровых моделей поверхностей проектируется объемное цифровое тело в пределах лицензионного участка — объемная модель пласта [5, 11 – 12]. На его основе создается блочная модель и оценивается одним из методов геостатистики, то есть выполняется интерполяция качественных характеристик полезного ископаемого в блоки блочной модели [6] (рис. 4). Принятый условный размер блока — $10 \times 10 \times 10$ м. Параметрами субблокирования разрешается уменьшение блока в 5 раз по всем осям для придания модели наиболее качественного соотношения с топографической поверхностью.

На рис. 4 четко видны контуры угольного пласта. Темным цветом выделен сам пласт ископаемых углей, серым — вскрышные породы. Для точности оценки и последующей качественной ви-

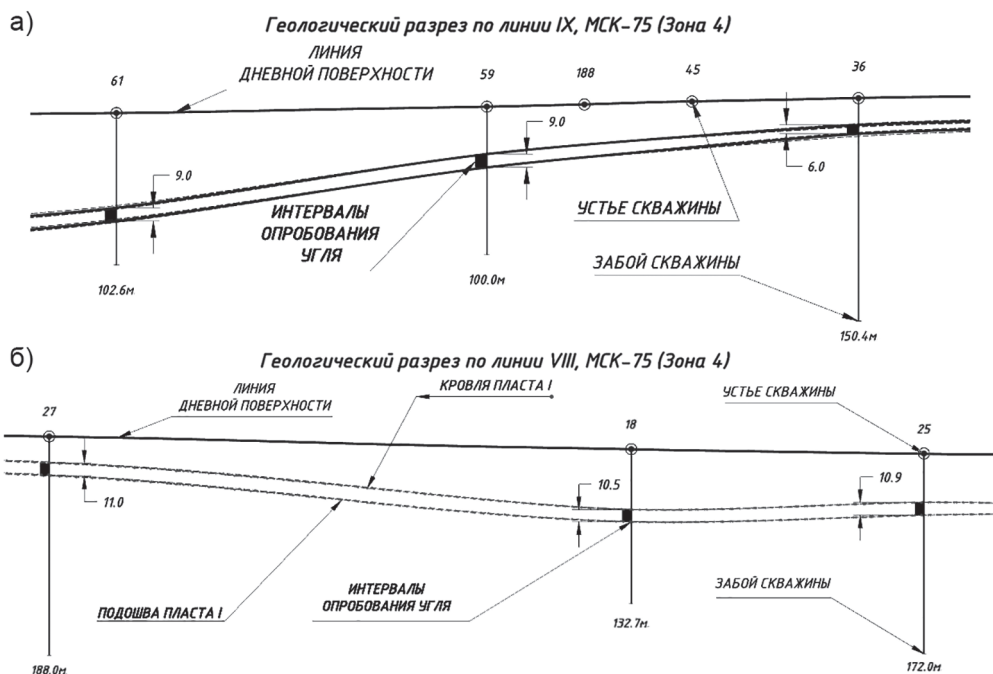


Рис. 3. Схемы геологических разрезов Кутинского бурогоугольного месторождения с визуализацией кровли и почвы пласта I: разрез по линии IX (а); разрез по линии VIII (б)

Fig. 3. Layouts of geological sections and visualization of roof and floor of seam I at Kuti lignite deposit: section along line IX (a); section along line VIII (b)

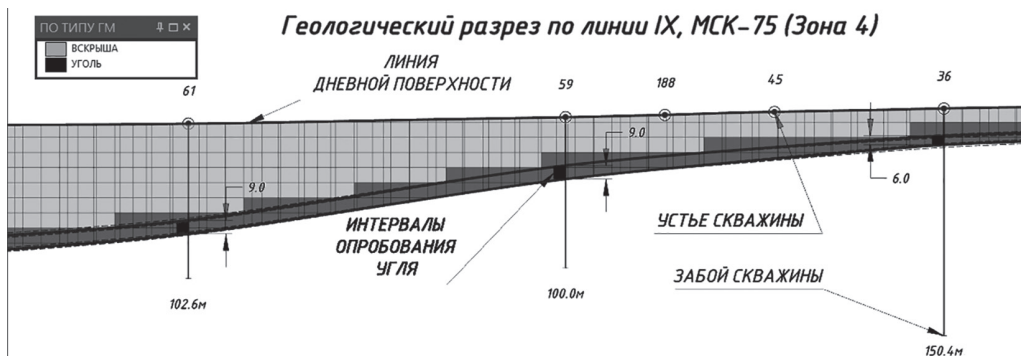


Рис. 4. Стратиграфическая блочная модель Кутинского бурогоугольного месторождения с учетом вскрышных пород

Fig. 4. Stratigraphic block model of Kuti lignite deposit, including overburden rocks

зуализации блочной модели создается также модель пласта без учета перекрывающих пласт пустых пород. Для этого принимаются следующие параметры материнского блока: $5 \times 5 \times 0,2$ м. Результат представлен на рис. 5 [8 – 9, 13].

Таким образом, была выполнена первая задача работы – моделирование пласта «I» Кутинского месторождения бурых углей. В табл. 1 приведен отчет по блочной модели, подготовленный с ис-

пользованием горно-геологической информационной системы (ГГИС) Micromine Origin and Beyond. Отчет позволяет создать представление о выполненной оценке цифровой блочной модели ПИ и подвести предварительный итог оценки месторождения (см. табл. 1).

Данные для моделирования представлены компанией ООО «Приаргунский угольный разрез». Также произведено блочное моделирование угольного пла-

Таблица 1

Отчет по полученной блочной модели с интерполированными характеристиками ПИ, выполненный в ГГИС Micromine Origin and Beyond
Report on block modeling with interpolated characteristics of mineral in MGIS Micromine Origin and Beyond

Объем, м ³	Объемный вес, т/м ³	Тоннаж, т	Зольность, A ^d , %	Высшая теплота сгорания, Q _s ^{daf} , МДж/кг	Низшая теплота сгорания, Q _i ^r , МДж/кг
8 542 308,59	1,2	10 250 770,31	28,89	26,77	14,638



Рис. 5. Блочная модель пласта I Кутинского бурогоугольного месторождения

Fig. 5. Block model of seam I at Kuti lignite deposit

Таблица 2

Показатели качества углей на основе данных эксплуатационной разведки 2020 г.
Coal quality characteristics from operational exploration data of 2020

Зольность, A^d , %	Высшая теплота сгорания, Q_s^{daf} , МДж/кг	Низшая теплота сгорания, Q_i^r , МДж/кг
27,9	28,89	12,85

ста «I», вовлеченного в разработку. Кроме этого, каждому блоку внутри модели пласта присвоены качественные характеристики, — максимальная и минимальная теплотворная способность и зольность. Стоит отметить, что подобным образом, блокам модели можно присвоить и другие качественные характеристики. В табл. 2 приведены показатели качества углей по I пласту на основании данных эксплуатационной разведки, выполненной в 2020 г. (табл. 2).

Для выполнения второй задачи выполнен анализ корреляции качественных показателей углей в созданной цифровой блочной модели на основе данных ГРП 1959 г. с обобщенными данными эксплуатационной разведки 2020 г. (рис. 6).

Анализ показал удовлетворительную сходимость результатов сопоставления данных. Расхождение по зольности A^d составило примерно 4%, по высшей теплоте сгорания Q_s^{daf} — 7%, по низшей теплоте сгорания Q_i^r — 12%.

Описанная в статье методика широко применяется для моделирования

пластовых месторождений в ГГИС, и в частности, при моделировании каменно-угольных месторождений. Однако практики ее применения при моделировании бурогольных месторождений в России и в мире практически нет. Кроме того, учитывая уникальность геологических условий каждого отдельно взятого месторождения, необходимо сказать о том, что последовательность шагов, описанных в статье, может быть пересмотрена, но в целом моделирование бурогольных месторождений укладывается в описанную методику [7, 14–16].

В процессе выполнения работы авторами высказано предположение о применимости подобной методики посредством инструментария современных ГГИС не только для предварительной оценки показателей качества углей, но и для прогнозирования показателей безопасности, таких, как, например, содержание естественных радионуклидов в ископаемых углях.

Дальнейший цикл жизни блочной модели — применение в качестве базово-



Рис. 6. Сравнительный анализ качественных показателей углей по блочной модели на основе данных опробования 1959 г. и данных эксплуатационной разведки 2020 г.

Fig. 6. Comparative analysis of coal quality characteristics from block model based on 1959 sampling and on operational exploration data of 2020

го элемента при оптимизации контуров горных выработок, экономически целесообразных к разработке. Также в будущих работах авторами планируется рассмотреть эффективность полученной блочной модели при выполнении погоризонтного планирования на предприятиях, осуществляющих добычу углей открытым способом, посредством моделирования выемочных блоков на каждом горизонте разреза с имеющимся

прогнозом характеристик ПИ по каждому выемочному блоку [17 – 20].

Авторы выражают благодарность коллективу ООО «Приаргунский угольный разрез» за возможность проведения исследований на Кутинском бурогольном месторождении.

Авторы выражают благодарность компании ООО «Майкромайн Рус» за предоставленное программное обеспечение для выполнения научной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Feng G., Bai J., Zhang Y.* Basic theories and key technologies of rock strata control for residual coal resources mining under complex conditions // Meitan Kexun Jishu. 2020, vol. 48, no. 1, pp. 144 – 149. DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2020.01.018.

2. *Валуев А. М.* О моделях и методах оптимизации в задачах проектирования разработки месторождений открытым способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 197 – 206.

3. *Яковлев А. М.* Апробация алгоритмов автоматизированной обработки геологических баз данных в технологических схемах управления качеством полезного ископаемого // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1. – С. 248 – 257. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_248.

4. *Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М.* Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья // Проблемы недропользования. – 2016. – № 4. – С. 170 – 176.

5. *Кантемиров В. Д., Яковлев А. М., Титов Р. С.* Оценка качественных показателей полезных ископаемых с использованием геоинформационных технологий блочного моделирования // Геоинформатика. – 2020. – № 3. – С. 29 – 37. DOI: 10.47148/1609-364X-2020-3-29-37.

6. *Кантемиров В. Д., Яковлев А. М., Титов Р. С.* Геоинформационные технологии блочного моделирования для оценки качественных показателей полезных ископаемых в условиях переходных процессов горного производства // Вестник ДВО РАН. – 2021. – № 1. – С. 38 – 47. DOI: 10.37102/0869-7698-2021_215_01_03.

7. *Маниковский П. М., Васютин Л. А., Сидорова Г. П.* Методика моделирования рудных месторождений в ГГИС // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2021. – Т. 27. – № 2. – С. 6 – 14. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14.

8. *Pinto F. A. C., Deutsch C. V.* Expected uncertainty as a function of the variogram, data spacing, and other factors / Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015. 2015, pp. 1149 – 1161.

9. *Abramovich A., Stepanov Yu., Janocko Ju.* The influence of the coal mining process on the state of the earth's surface in the district of the block // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, article 01051. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401051.

10. *Babish G.* Geostatistics without tears. A practical guide to surface interpolation, geostatistics, variograms and kriging. Regina, Saskatchewan. 2006, 9 p.

11. *Mohammadpour M., Bahroudi A., Abedi M., Rahimpour G., Khalifani F. M.* Geochemical distribution mapping by combining number-size multifractal model and multiple indicator kriging // Journal of Geochemical Exploration. 2019, vol. 200. pp. 13 – 26.

12. Afeni T. B., Akeju V. O., Aladejare A. E. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit // *Geoscience Frontiers*. 2020, vol. 12, no. 1, pp. 243–253. DOI: 10.1016/j.gsf.2020.02.019.

13. Наговицын О. В., Лукичев С. В. Концептуальный подход к моделированию объектов горной технологии средствами MINEFRAME / Вопросы осушения, геологии и геоинформатики, геомеханики, специальных горных работ и горных технологий. Материалы 12 международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». — Белгород: ВИОГЕМ, 2013. — С. 238–245.

14. Dell'Accio F., Di Tommaso F. On the hexagonal Shepard method // *Applied Numerical Mathematics*. 2019. vol. 150. pp. 51–64. DOI: 10.1016/j.apnum.2019.09.005.


15. Капутин Ю. Е. Системы контроля содержания (Grade control) на горных предприятиях. — СПб.: Недра, 2012. — 330 с.

16. Проценко А. В., Байров Ж. Б., Федотов Г. С., Зартенова Л. Г. Использование экономических показателей в методике среднесрочного планирования горных работ в горно-геологической информационной системе Micromine // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 208–216. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-208-216.

17. Сапронова Н. П., Федотов Г. С. Особенности моделирования пластовых месторождений в среде ГГИС Micromine // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — СВ 1. — С. 38–45.

18. Лукичев С. В., Наговицын О. В., Семенова И. Э., Белгородцев О. В. Mineframe — подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ / Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий. Сборник научных трудов. № 198. — СПб., 2017. — С. 50–59.

19. Gholamnejad J., Azimi A., Teymouri M. Application of stochastic programming for iron ore quality control // *Journal of Mining and Environment*. 2018, vol. 9, no. 2, pp. 331–338. DOI: 10.22044/jme.2018.5952.1409.

20. Басаргин А. А. Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы Micromine // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2016. — Т. 1. — № 2. — С. 151–155. 

REFERENCES

1. Feng G., Bai J., Zhang Y. Basic theories and key technologies of rock strata control for residual coal resources mining under complex conditions. *Meitan Kexun Jishu*. 2020, vol. 48, no. 1, pp. 144–149. DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2020.01.018.

2. Valuev A. M. About models and methods of optimization in the problems of designing open pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 2, pp. 197–206. [In Russ].

3. Yakovlev A. M. Approbation of algorithms for automated processing of geological databases in technological schemes for managing the quality of a mineral. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-1, pp. 248–257. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_248.

4. Kantemirov V. D., Titov R. S., Yakovlev A. M. Possibilities of computer modeling for solving the issues of quality management of mineral raw materials. *Problems of Subsoil Use*. 2016, no. 4, pp. 170–176. [In Russ].

5. Kantemirov V. D., Yakovlev A. M., Titov R. S. Estimation of qualitative indicators of minerals using geoinformation technologies of block modeling. *Geoinformatika*. 2020, no. 3, pp. 29–37. [In Russ]. DOI: 10.47148/1609-364X-2020-3-29-37.

6. Kantemirov V. D., Yakovlev A. M., Titov R. S. Geoinformation technologies of block modeling for assessing the qualitative indicators of minerals in the conditions of transitional pro-

cesses in mining. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*. 2021, no. 1, pp. 38 – 47. [In Russ]. DOI: 10.37102/0869-7698-2021_215_01_03.

7. Manikovskiy P. M., Vasyutich L. A., Sidorova G. P. Methods of modeling ore deposits in GIS. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2021, vol. 27, no. 2, pp. 6 – 14. [In Russ]. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14.

8. Pinto F. A. C., Deutsch C. V. Expected uncertainty as a function of the variogram, data spacing, and other factors. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry. Proceedings of the 37th International Symposium APCOM 2015*. 2015, pp. 1149 – 1161.

9. Abramovich A., Stepanov Yu., Janocko Ju. The influence of the coal mining process on the state of the earth's surface in the district of the block. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article 01051. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401051.

10. Babish G. *Geostatistics without tears. A practical guide to surface interpolation, geostatistics, variograms and kriging*. Regina, Saskatchewan. 2006, 9 p.

11. Mohammadpour M., Bahroudi A., Abedi M., Rahimpour G., Khalifani F. M. Geochemical distribution mapping by combining number-size multifractal model and multiple indicator kriging. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019, vol. 200. pp. 13 – 26.

12. Afeni T. B., Akeju V. O., Aladejare A. E. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit. *Geoscience Frontiers*. 2020, vol. 12, no. 1, pp. 243 – 253. DOI: 10.1016/j.gsf.2020.02.019.

13. Nagovitsyn O. V., Lukichev S. V. Conceptual approach to modeling mining technology objects using MINEFRAME. *Voprosy osusheniya, geologii i geoinformatiki, geomekhaniki, spetsial'nykh gornykh rabot i gornykh tekhnologiy. Materialy 12 mezhdunarodnogo simpoziuma «Osvoenie mestorozhdeniy mineral'nykh resursov i pozemnoe stroitel'stvo v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh»* [Issues of drainage, geology and geoinformatics, geomechanics, special mining operations and mining technologies. Materials of the 12th International Symposium «Development of mineral resources deposits and underground construction in difficult hydrogeological conditions»], Belgorod, VIOGEM, 2013, pp. 238 – 245. [In Russ].

14. Dell'Accio F., Di Tommaso F. On the hexagonal Shepard method. *Applied Numerical Mathematics*. 2019. vol. 150. pp. 51 – 64. DOI: 10.1016/j.apnum.2019.09.005.

15. Kaputin Yu. E. *Sistemy kontrolya soderzhaniya (Grade control) na gornykh predpriyatiyakh* [Grade control systems at mining enterprises], Saint-Petersburg, Nedra Системы контроля содержания (Grade control) на горных предприятиях. СПб.: Недра, 2012, 330 p.

16. Protsenko A. V., Bayrov Zh. B., Fedotov G. S., Zartenova L. G. Use of economic indicators in medium-term mine planning in geological and mining information system Micromine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 208 – 216. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-208-216.

17. Saponova N. P., Fedotov G. S. Peculiarities of reservoir deposits modeling in the Micromine GIS environment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, special edition 1, pp. 38 – 45. [In Russ].

18. Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Semenova I. E., Belogorodtsev O. V. Mineframe – approaches to solving the problems of design and planning of mining operations. *Innovatsionnye napravleniya v proektirovanii gornodobyvayushchikh predpriyatiy. Sbornik nauchnykh trudov* [Innovative directions in the design of mining enterprises. Collection of scientific papers], no. 198, Saint-Petersburg, 2017, pp. 50 – 59.

19. Gholamnejad J., Azimi A., Teymouri M. Application of stochastic programming for iron ore quality control. *Journal of Mining and Environment*. 2018, vol. 9, no. 2, pp. 331 – 338. DOI: 10.22044/jme.2018.5952.1409.

20. Basargin A. A. Modeling of deposits of ore minerals using the micromine geoinformation system. *Interexpo Geo-Siberia*. 2016, vol. 1, no. 2, pp. 151 – 155. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сидорова Галина Петровна¹ — д-р техн. наук,
профессор, e-mail: druja@inbox.ru,
Маниковский Павел Михайлович¹ — старший преподаватель,
e-mail: manikovskiymp@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0120-1627,
¹ Забайкальский государственный университет.
Для контактов: Сидорова Г.П., e-mail: druja@inbox.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

G.P. Sidorova¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: druja@inbox.ru,
P.M. Manikovskiy¹, Senior Lecturer,
e-mail: manikovskiymp@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0120-1627,
¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.
Corresponding author: G.P. Sidorova, e-mail: druja@inbox.ru.

Получена редакцией 17.10.2022; получена после рецензии 24.10.2022; принята к печати 10.11.2022.
Received by the editors 17.10.2022; received after the review 24.10.2022; accepted for printing 10.11.2022.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

МЕЗОФАЗНЫЕ / ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ В РЕГУЛЯЦИИ МЕХАНИЗМОВ УГЛЕОБРАЗОВАНИЯ (№ 1262/12-22 от 01.11.2022; 43 с.)

Градов Олег Валерьевич — старший научный сотрудник, ФИЦ ХФ РАН, e-mail: o.v.gradov@gmail.com.

Реконструирована последовательность превращений мезофазных/жидкокристаллических компонентов древесины от нативного состояния до процессов образования торфа и угля. Раздельно рассмотрены отличные по клеточной локализации фитохимические источники мезофаз (от лигнина и полисахаридов, таких как целлюлоза, до липидов). Перечислены критерии, по которым обнаруживается близость процессов формообразования мезофаз на основе растительного сырья в ходе углеобразования и самоорганизации в данных системах, в т.ч. с учетом тепловой накачки. Указано на роль мембранных и мембраномиметических интерфейсов в регуляции этого класса процессов. Рассмотрена применимость биогеохимических редокс-критериев (аэробные, субаэральные, аэробные режимы) в анализе диагенеза мезофаз. Констатировано, что, в силу специфической регуляции / обратных связей, эти факторы могут привести к пространственной гетерогенности при углеобразовании, «аутокаталитическим» эффектам и возникновению редокс-колебаний, сопровождающихся локализованной сменой свойств мезофаз — от поддерживающих возгорание до практически «антипиренных».

Ключевые слова: мезофазные / жидкокристаллические компоненты древесины, коксообразование, углеобразование, фитохимические мезофазные прекурсоры, самоорганизация, мембраномиметики, биогенные мезофазные структуры, геохимические аспекты преобразования мезофаз.

ME SOPHASE/LIQUID CRYSTAL STRUCTURES OF WOOD IN THE REGULATION OF CARBON FORMATION MECHANISMS
O.V. Gradov, Senior Researcher, N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, Russian Academy of Sciences.

This work reconstructs the transformation stages of the mesophase / liquid crystal wood components from their native state to the processes of coke and coal formation. The phytochemical precursors of mesophases differing in their cell localization are considered separately. Several criteria are listed by which the similarity between the processes of mesophase formation based on the plant raw materials during carbon formation and self-organization in such systems is observed. The role of membrane and membrane-mimetic interfaces in regulation of the above processes is indicated. The applicability of biogeochemical redox criteria in the analysis of mesophase diagenesis is considered. It is postulated that, due to specific regulation/feedback, the above factors can lead to the spatial heterogeneity during coal formation, «autocatalytic» effects and the emergence of redox oscillations, accompanied by localized changes in the properties of mesophases — from those supporting combustion to practically fire retardant.

Key words: mesophase / liquid crystal wood components, coke formation, coke formation, phytochemical precursors of mesophases, self-organization, membrane-mimetic interfaces, biogenic mesophase structure, geochemical role of mesophases.