

УДК 553.048: 550.8.05

Н.Н. Игнатьев¹, А.Х. Богомолов²**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО КАРОТАЖА
ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ
ОЛОНЬ-ШИБИРСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

При добыче угля подробная геологическая информация о строении угленосной толщи и качестве пластов угля позволяет минимизировать риски, связанные с осложняющими горно-геологическими факторами и изменением качественных характеристик угля. Рассмотрен опыт применения метода механического каротажа в качестве экспресс-метода эксплуатационной разведки на Олонь-Шибирском каменноугольном месторождении. Данные механического каротажа сопоставляли с данными опробования керна и геофизического исследования скважин. В результате выделены критерии для расчленения угленосной толщи месторождения на литотипы. По этим критериям можно выделить общую закономерность для рассматриваемой угленосной толщи: при уменьшении размерности зерен, слагающих породу, увеличивается скорость бурения, с увеличением содержания органического вещества в породе скорость бурения также растет, максимальной скоростью бурения характеризуются угольные пласты. Скорость бурения — определяющий параметр, другие же параметры бурения дополняют ее показания в случае неоднозначности при дешифрировании графика. Для угольных пластов определена зависимость скорости бурения от зольности пласта. При этом наиболее корректно зависимость подходит для пластов мощностью более 1 м. На основе данных эксплуатационной разведки с использованием механического каротажа для некоторых участков выяснена морфология угольных пластов, а также сложность их строения и зольность, что позволило уточнить запасы и качество по геологическим блокам. При итоговом сравнении подтвердилось увеличение точности подсчета с применением метода механического каротажа. Практическая значимость результатов исследования заключается в улучшении качества эксплуатационной разведки на месторождении при снижении затрат.

Ключевые слова: бескерновое бурение, механический каротаж, уголь, определение зольности, эксплуатационная разведка, добыча угля.

Mining coal requires detailed geological information about the structure of the coal seam and the quality of coal seams that allows to minimize the risks associated with the complicating mining and geological factors and changes in the quality characteristics of coal. The article discusses the experience of applying the mechanical logging method as an express method of operational exploration in the Olon-Shibirsk coal deposit. The mechanical logging data were compared with core sampling data and geophysical well surveys. As a result, criteria for dividing the coal-bearing sequence of the deposit into lithotypes were identified. According to these criteria, it is possible to identify a general pattern for the considered coal seam: drilling speed increases with decreasing grain size, drilling speed also increases with increasing the content of organic matter in the rock, the maximum drilling speed is characterized by coal seams. The drilling speed is the determining parameter, while the other drilling parameters complement its readings in case of ambiguity in the interpretation of the graph. For coal seams, the dependence of drilling speed on ash content was determined. At the same time, the dependence is most correct for coal seams with thickness more than one meter. On the basis of operational exploration data using mechanical logging for some areas, the morphology of coal seams, as well as the complexity of their structure and ash content, which allowed to specify the reserves and quality by geological blocks. In the final comparison with the fact was confirmed an increase in the accuracy of calculations using the method of mechanical logging. Practical significance of the results of the study is to improve the quality of operational exploration in the field while reducing costs.

Key words: non-core drilling, mechanical logging, coal, ash content estimation, operational exploration, coal mining.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирант; *e-mail*: n.ignatiev@oilmsu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, доцент; *e-mail*: ah_bogomolov@mail.ru

Введение. Важность геологических данных при добыче полезных ископаемых сложно переоценить. На этапе детальной разведки вскрываются лишь некоторые самые крупные геологические нарушения, поэтому для исправного функционирования горнодобывающего предприятия необходимо проводить эксплуатационную разведку [Миронкин и др., 2002; Кулак и др., 2015]. Однако всегда необходимо искать баланс между количеством данных и стоимостью их получения. Подробная геологическая информация позволяет избежать огромного числа рисков, но стоимость геологоразведочных работ составляет существенную часть себестоимости добываемого сырья, поэтому недропользователи стараются ограничиться необходимым минимумом для увеличения рентабельности [Сидоренко, 2011].

Учитывая высокую конкуренцию на рынке твердого топлива, проблема прогнозирования качества добываемого угля приобретает все большую важность. Один из наиболее важных показателей качества угля — его зольность, так как содержание минеральных примесей в органическом веществе угля влияет на его теплотворную способность, что важно как для энергетических марок углей, так и на пригодность углей для коксования в металлургии.

Классический и наиболее точный метод геологической разведки — бурение с отбором керна для последующих лабораторных испытаний. Однако этот метод весьма затратен как с финансовой точки зрения, так и с точки зрения затрат труда и времени. Дополнением, а в некоторых случаях альтернативой исследований керна, служат геофизические методы исследования скважин (ГИС) [Гриб, Никитин, 2015]. Благодаря широкому набору методов эти исследования позволяют косвенно получить информацию о различных характеристиках изучаемой толщи.

Известный угольщик-геофизик В.В. Гречухин был одним из пионеров в области использования методов ГИС при геологической разведке [Гречухин, 1965]. Он активно внедрял скважинные геофизические методы в процесс разведки угольных месторождений. Благодаря усилиям Владимира Васильевича и его коллег геофизические методы в обязательном порядке применяются при разведке угольных месторождений, что существенно улучшило качество геологоразведочных работ на уголь [Гречухин, 1990].

Однако методы ГИС часто требуют особых условий бурения скважин и специального геофизического оборудования, что выливается в дополнительные затраты при проведении разведки.

В статье приводятся результаты изучения возможности применения механического каротажа в качестве экспресс-метода исследования угленосной толщи и зольности угля непосредственно в процессе бурения скважины на каменноугольном

месторождении, а также новые данные о строении угленосной толщи и пластов угля Олонь-Шибирского каменноугольного месторождения Тугнуйской угленосной депрессии.

Подобный метод с 2008 г. используется и на буругольном разрезе Билина в Чехии для геологической разведки [Мах, 2012].

Материалы и методы исследований. В основу работы легли данные бурения скважин эксплуатационной разведки, полученные одним из авторов в период с июля 2016 г. по август 2019 г., а также записи механического каротажа в процессе бурения этих скважин. Бурение проводилось буровыми станками «Atlas Copco Pit Viper 271» с использованием трехшарошечного долота диаметром 250 мм, запись параметров бурения проводилась контроллерами буровых установок (КОБУС) от фирмы «Blast Maker». Под механическим каротажом мы подразумеваем параметры, снимаемые в процессе бурения с бурового станка, а именно: скорость проходки скважины или скорость бурения, скорость вращения бурового снаряда, момент вращения, давление на забой, давление в системе воздушной промывки. Наиболее показателен параметр скорости бурения, так он имеет сильную корреляционную связь с физико-механическими свойствами пород, что будет описано далее.

Для сопоставления данных механического каротажа с результатами геологоразведочных работ предыдущих лет скважины эксплуатационной разведки бурили в ближайшей окрестности (≤ 5 м) от мест расположения геологоразведочных скважин. Для определения места бурения на буровых станках использовалась GPS-аппаратура, работающая в RTK (real time kinematic) режиме, что позволяет определять положение с высокой точностью.

Данные механического каротажа мы сопоставляли с каротажными кривыми ГИС, полученными в результате геологоразведочных работ, и данными кернового опробования. Сопоставление проводилось по абсолютным высотным отметкам, а в случае необходимости коррелировалось на основании положения кровли и почвы угольных пластов.

Для сопоставления данных механического каротажа и зольности угольных пластов использована кривая ГГК-С, так как зольность на этапе доразведки принимали по данным указанного метода.

В основу работы легли данные геологоразведочных работ 1974 г. и доразведки южной части Олонь-Шибирского месторождения в 2010 г., а также данные, полученные авторами непосредственно на месторождении в процессе эксплуатационной разведки:

Всего нами рассмотрена 121 скважина разведочного бурения с отбором керна и комплексом ГИС и 46 скважин бескернового бурения глубиной от 15 до 50 м с использованием механического каротажа, скважины пробурены одним из авторов на

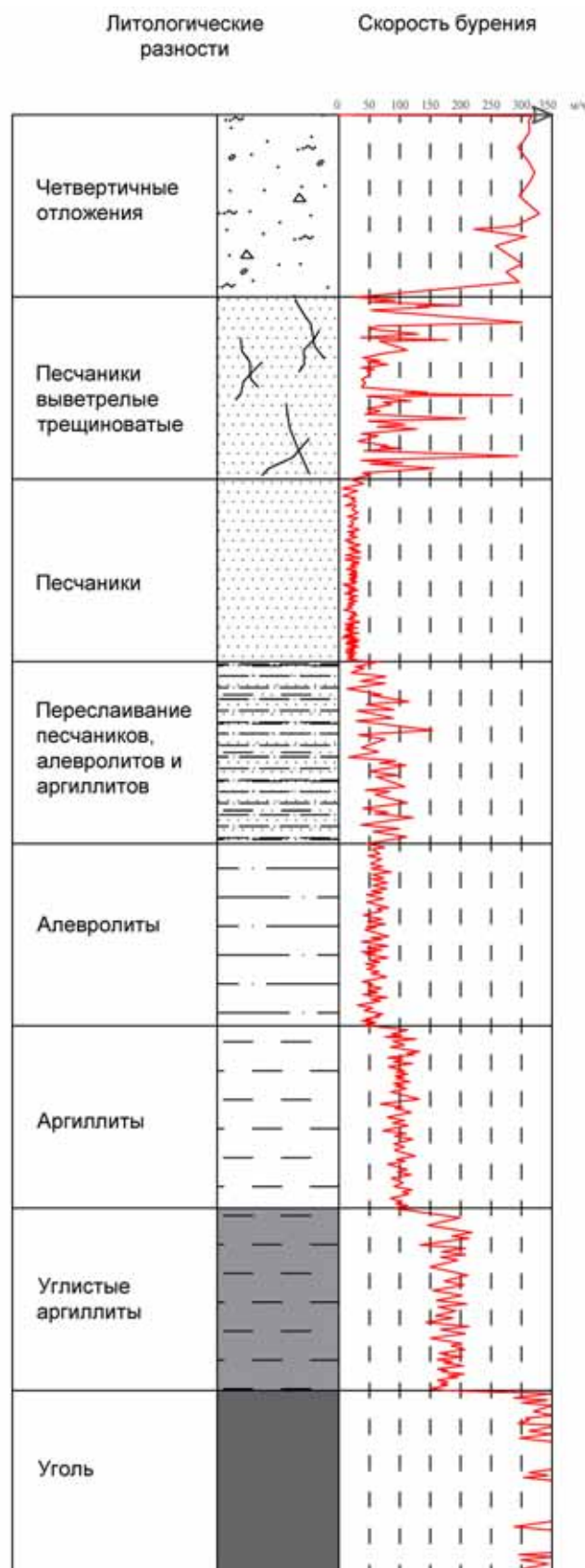


Рис. 1. Характерный вид кривой скорости бурения для пород и углей Олонь-Шибирского месторождения

этапе эксплуатационной разведки месторождения в период с 2016 по 2019 г.

Результаты исследований и их обсуждение.

В результате исследований для каждой литологической разности, охваченной бурением, нами выявлены характерные признаки, см. кривые на графике скорости бурения механического каротажа (рис. 1).

Покровные четвертичные отложения сплошным чехлом перекрывают коренные породы, они представлены песками, супесями, суглинками, валунно-галечными и песчано-гравийными образованиями. Рыхлые осадки имеют аллювиальное, пролювиальное и эллювиально-делювиальное происхождение. Из-за малой механической прочности и рыхлой структуры отложений выявлена достаточно равномерная картина с высокой скоростью бурения, достигающей >300 м/ч. Однако при сезонном промерзании грунта их механическая прочность увеличивается, соответственно меняется и скорость бурения по ним. Кроме того, возможно появление неоднородностей на графике каротажа, которые можно объяснить наличием льда в отложениях из-за их разной влажности на момент промерзания.

Выветрелые и трещиноватые песчаники демонстрируют очень неравномерный график скорости бурения, значения на графике изменяются скачкообразно от 50 до 300 м/ч. Такая неоднородность объясняется наличием трещин и ослабленных зон в массиве породы, что значительно влияет на их прочностные свойства.

Песчаники представлены всеми гранулометрическими разностями — от грубозернистых до алевроитовых и характеризуются равномерно низкой скоростью бурения (~ 50 м/ч). Доминирующую роль среди песчаников играют среднезернистые разности кварц-полевошпатового состава с глинистым цементом. Доля песчаников с известково-глинистым и кремнистым цементом незначительна и не превышает 2–3%.

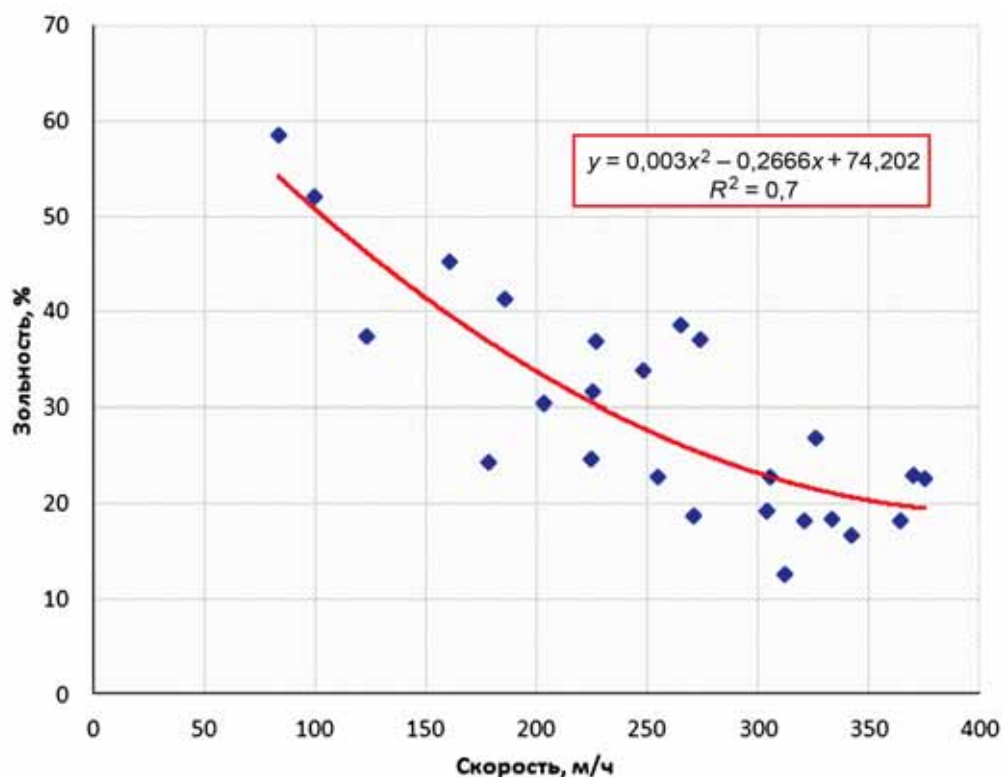
Алевролиты имеют комковатую текстуру и грязно-серую пятнистую окраску. Сложены породы зернами кварца, плагиоклаза, микроклина, цемент гидрослюдистый, реже карбонатно-сидеритовый, характеризуются повышенной равномерной скоростью бурения (> 50 м/ч) относительно песчаников.

Аргиллиты состоят из более тонкого материала того же вещественного состава, что и алевролиты, и характеризуются более высокой скоростью бурения, чем более грубозернистые породы (~ 100 м/ч).

Встречаются также переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов, график при этом изменяется скачкообразно в пределах значений, характерных для этих пород.

Углистые породы залегают в непосредственной близости от пластов угля, иногда углистые породы очень тонко переслаиваются с линзами угля.

Рис. 2. График зависимости скорости бурения от зольности пластов угля



Состав обломочной части и цемента аналогичны таковым у алевролитов и аргиллитов. Породы характеризуются повышенными значениями скорости бурения (~200 м/ч).

Угольные пласты представлены каменными гумусовыми углями низкой стадии метаморфизма марки «Д». По физико-механическим характеристикам они резко отличаются от вмещающих пород, что выражается в значительно большей скорости бурения в них (>200 м/ч).

В результате анализа полученных данных можно сделать следующее обобщение: с увеличением размерности зерен, слагающих осадочные породы месторождения, увеличиваются их прочностные свойства, что приводит к уменьшению средней скорости бурения в них. Увеличение содержания органического вещества в породах, напротив, уменьшает их прочностные свойства, что приводит к увеличению скорости бурения от крупнозернистых песчаников к низкозольным углям. На основе этих данных впервые нами была создана методика определения пород и углей тугнуйской угленосной свиты.

Как видно на рис. 1, выделение угольных пластов по данным скорости бурения происходит по скачкообразному увеличению скорости бурения в них. При этом выделение маломощных породных прослоев в пласте угля возможно по локальным минимумам на графике скорости бурения, однако необходимо учитывать и другие параметры бурения, чтобы исключить их влияние на график каротажной кривой, например, вмешательство машиниста буровой установки в процесс бурения.

Отдельно проанализирована зависимость зольности угольных пластов от скорости их бурения. В результате установлено, что при увеличении суммарной зольности угольных пластов уменьшается скорость бурения по ним, что отчетливо видно на рис. 2.

Такое изменение скорости бурения объясняется как наличием породных прослоев в пластах, так и изменением физико-механических характеристик углей при увеличении в них доли минеральных компонентов или золы. При этом отделить внешнюю зольность от внутренней можно по выделению на графике вероятных породных прослоев в пласте угля, однако эта задача из-за малой мощности таких прослоев неоднозначна, для ее решения необходимо принимать во внимание как другие параметры бурения, так и информацию о строении пласта по предыдущим исследованиям.

Таким образом, нами установлено, что мощность, сложность строения и как следствие зольность угольных пластов месторождения могут быть оценены по данным бескернового бурения с использованием механического каротажа. Дешифровать кривые механического каротажа можно как качественно, для определения сложности строения угольного пласта или строения угленосной толщи в целом, так и количественно, определяя зольность пласта.

Однако испытания метода показали, что при бурении по угольному пласту мощностью <1 м результаты для количественного определения зольности могут быть искажены, так как буровой снаряд не всегда достигает характерной для этой



Рис. 3. Локальные расщепления угольного пласта, выявленные на этапе эксплуатационной разведки

зольности скорости бурения, хотя возможность качественного определения строения пласта по-прежнему остается. При этом наиболее точные результаты механический каротаж показывает на пластах большей мощности — от 2 м и более.

Описанный метод активно применяется геологами на месторождении в целях эксплуатационной разведки, при этом накоплены данные, которые позволили детальнее выяснить строение угольных пластов и впоследствии уточнить качество угля и запасы в геологических блоках, рассчитанных по данным геологоразведочных работ.

В частности, установлено, что на некоторых участках пласты угля имеют большее число породных прослоев, а также меньшую мощность, чем это установлено геологоразведочными работами ранее. При пересчете качества и запасов угля с использованием новых данных удалось точнее предсказать извлекаемые запасы и их качество, что было установлено при сравнении результатов, полученных на этапах подсчета запасов, эксплуатационной разведки и добычных работ (таблица).

Сравнение запасов и качества угля в геологическом блоке на разных этапах изучения

Параметры	Данные подсчета запасов	С учетом эксплуатационной разведки	Фактические данные
Номер блока	39С1		
Число скважин	3	5	-
Мощность, м	8,55	7,69	7,9
Зольность, %	18,3	20,7	21,0
Запасы, тыс. т	332	298	303

Кроме того, выявлен ряд особенностей строения некоторых пластов, например, локальные расщепления пласта, дизъюнктивные тектонические нарушения в виде взбросов и надвигов, приводящие к удвоению мощности пласта. Эти особенности значительным образом влияют на процесс вскрышных и добычных работ (рис. 3).

В результате можно утверждать, что пласты угля Олонь-Шибирского каменноугольного месторождения на отдельных участках имеют более сложное строение, чем это было установлено в результате геологоразведочных работ. Данные эксплуатационной разведки позволяют уточнить запасы угля, поставленные на государственный баланс, а также качество угля, планируемого к добыче.

Выводы. 1. Рыхление вскрышных пород, как правило, а иногда и угля, на каменноугольных месторождениях производится буровзрывным способом, что подразумевает бурение большого числа скважин по густой сети. Метод механического каротажа при бурении скважин без отбора керна позволяет частично сократить затраты на геологоразведочные работы и получить большой объем

данных об угленосной толще, что обуславливает практическую значимость исследования.

2. Подробно рассмотрена методика применения механического каротажа для изучения строения угленосной толщи и качества углей Тугнуйской угленосной депрессии.

3. Впервые выделены критерии для определения литотипов угленосной толщи Тугнуйской угленосной депрессии по данным механического каротажа.

4. Продемонстрирована возможность и описана методика определения мощности угольных

пластов и оценки зольности пластов каменных углей марки «Д» по данным механического каротажа без отбора керна и применения стандартных методов ГИС.

5. Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности их применения при эксплуатационной разведке, подсчете запасов, потерь и выявлении качества угля при добыче, что способствует повышению эффективности геологоразведочных и добычных работ, а также выполнению требований по рациональному использованию и охране недр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гречухин В.В. Геофизические методы исследования угольных скважин. М.: Недра, 1965. 468 с.

Гречухин В.В. Петрофизика угленосных формаций. М.: Недра, 1990. 471 с.

Гриб Н.Н., Никитин В.М. Изучение показателей качества углей и горно-геологических условий разработки угольных месторождений по результатам геофизических исследований скважин // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. № 4. С. 34–40.

Кулак В.Ю., Волошин В.А., Фрянов В.Н. Оценка влияния качества разведанности угольных месторождений на эффективность проектных решений // ГИАБ. 2015. № 5. С. 13–22.

Мах К. Использование записи механических параметров бескернового бурения (механический каротаж) в

процессе геологической разведки буроугольного месторождения Билина (Чешская Республика) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 4. С. 80–84.

Миронкин В.А., Торсукова К.С., Синьковский В.Н. Проблемы нормирования потерь и разубоживания при открытых разработках в зонах нарушений // ГИАБ. 2002. № 11. С. 180–181.

Рябчиков С.Я., Важанин Р.Е. Совершенствование технологии бурения скважин при разведке угольных месторождений Кузбасса // Изв. Томск. политех. ун-та. 2010. Т. 317, № 1. С. 169–172.

Сидоренко П.Ф. Проблемы повышения достоверности прогноза горно-геологических факторов, осложняющих отработку угольных пластов // ГИАБ. 2011. № 2. С. 55–59.

Поступила в редакцию 29.03.2021

Поступила с доработки 05.04.2021

Принята к публикации 03.08.2021