

УДК 553.2.624.131.1:553.9

## КОЛЛЕКТОРЫ ПИРОГЕННОЙ ПРИРОДЫ КАК ФАКТОР ГЕОФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ

Л. А. Абукова\*, И. Ф. Юсупова

Представлено академиком РАН А.Н. Дмитриевским 07.11.2018 г.

Поступило 07.11.2018 г.

Рассматривается Канско-Ачинский бурогольный бассейн; в его песчано-глинистых отложениях (юрского возраста) сконцентрированы огромные запасы твёрдого органического вещества (ОВ), например, средняя толщина пласта Итатский (Бородинское месторождение) составляет 51 м. В палеочагах теплогенерации угольные пласты утратили (полностью или частично) своё ОВ; оно было уничтожено подземными пожарами былых эпох. Потеря больших масс ОВ в локальных участках сопровождалась деформациями угольных (и перекрывающих) пластов, появлением горелых и обрушенных пород, провальных форм рельефа (просадок, воронок, котловин), а главное, образованием эпигенетической пустотности и пирогенных коллекторов. Повышенная флюидопроводимость горелых пород сохранилась до настоящего времени. Участки с горелыми породами обособляются в самостоятельные флюидодинамические структуры с собственными параметрами (коэффициент фильтрации, водопроницаемость и др.). Высказано предположение о том, что пирогенные коллекторы могли возникать в нефтегазоносных бассейнах с угольно-сланцевыми отложениями на определённых стадиях геологического развития; на нефтегазогенерирующих глубинах они способны стать вмещателями катагенных углеводородов.

*Ключевые слова:* теплогенерация, органическое вещество, горелые породы, пирогенные коллекторы, флюидодинамическая неоднородность, углеводороды.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524893277-280>

В зоне сопряжения горных сооружений Алтая и Саян с Западно-Сибирской плитой и Сибирской платформой расположен Канско-Ачинский бурогольный бассейн; в его юрских песчано-глинистых отложениях сконцентрированы огромные массы твёрдого угольного органического вещества (ОВ). Здесь установлено от 16 до 24 угольных пластов, из них с рабочей толщиной (более 2 м) от 3 до 12. Так, средняя толщина угольного пласта “Итатский” (Бородинское месторождение) составляет 51 м, а максимальная 93 м; зольность колеблется в пределах 5–11% [1, 2]. В объёмном отношении доля минерального вещества ещё меньше из-за большей плотности последнего по сравнению с ОВ (плотность около 1,0 г/см<sup>3</sup>); т.е. большинство угольных пластов бассейна практически нацело сложено твёрдым ОВ.

В ходе разработки на месторождениях бассейна обнаружены участки, где угольные пласты утратили (полностью или частично) своё ОВ; оно было уничтожено подземными пожарами былых эпох [1–3]. Подземное выгорание твёрдых каустобиолитов (углей, горючих сланцев и т.д.) широко распространено в природе; оно обусловлено экзотермической

трансформацией ОВ с выделением тепла в определённых условиях. Последствия теплогенерации на приповерхностных глубинах разнообразны: появление высокотемпературных пирометаморфических комплексов (горельников), в их числе глиежей, шлаков, иногда железорудных базальтов, самородного чугуна, а также разнообразных продуктов пиролиза ОВ (углеводороды, битумы и др.) и термальных вод. Теплогенерация обуславливает локальные палеогеотермические несогласия в разрезе, нарушение корреляции между стадиями преобразования угольного ОВ (и пород) с палеоглубинами погружения, а также мозаичное распределение углей разной степени преобразованности, усложнение гидрогеологической обстановки [4–10].

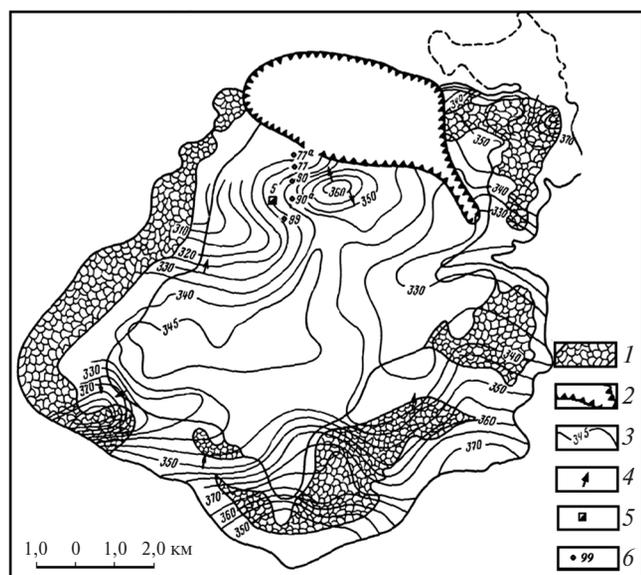
В Канско-Ачинском бассейне подземное выгорание углей происходило в постмеловое время, когда в отдельные периоды геологического развития понижался уровень подземных вод [2, 3]. При этом породные прослои в углях и часть вмещающих пород подвергались обжигу, иногда плавлению с изменением отдельных свойств; на месте выгоревших углей остались горелые породы (рыхлые, щебнистые, реже крепкие, брекчированные). Наряду с горелыми по периферии выгорания встречаются обрушенные породы, представленные щебёнкой и глыбами песчано-глинистых отложений [3]. Горельники в бас-

*Институт проблем нефти и газа  
Российской Академии наук, Москва  
\*E-mail: abukova@ipng.ru*

сейне (на Абанском, Барандатском, Бородинском, Березовском, Урюпском и некоторых других месторождениях) — это породы преимущественно кислого и полукислого составов, морфология их тел линзовидная, реже пластовая. Исходными для них были вмещающие породы юрского возраста: песчаники (30–40%), алевролиты (50–70%), аргиллиты (10–15%). Степень обжига горелых пород была неравномерная; большинство из них отличается повышенной пустотностью, кавернозностью, водопроницаемостью [2].

Масштабы уничтожения ОВ в бассейне были значительны. На Бородинском месторождении (рис. 1) выгорание одноимённого пласта (исходная толщина 25–51 м) привело к образованию горельников на площади 46 км<sup>2</sup> (36% всей территории). На Абанском месторождении пласт “Мощный” (толщина 10–25 м) полностью выгорел на участках общей площадью 100 км<sup>2</sup>, частично — на 90 км<sup>2</sup>; т.е. этот пласт практически исчез из геологического пространства месторождения на площади 190 км<sup>2</sup> [2]. Авторами была проведена оценка массы ОВ, утраченного в пределах Абанского месторождения: она составила примерно 1,2–2,3 млн т.

Нарастающая потеря значительных масс ОВ в палеоочагах теплогенерации явилась одним из факторов



**Рис. 1.** Схема распространения горелых пород на Бородинском угольном месторождении Канско-Ачинского месторождения (с элементами гидродинамики) [2]. 1 — зона полного выгорания угля и развития горелых пород; 2 — граница угольного разреза Бородинского (I) месторождения; 3 — пьезоизогипсы первых от поверхности гидрогеологических подразделений (м); 4 — направления движения подземных вод; 5 — дренажная шахта и её номер; 6 — скважина и её номер.

формирования эпигенетической пустотности на месторождениях бассейна и повышенной флюидопроводимости в виде вторичных локальных коллекторов и резервуаров, которая сохранилась до настоящего времени. Это стало причиной выделения горельников в самостоятельные геофлюидодинамические структуры с собственными параметрами (высокие дебиты и водопроницаемость) и единой гидравлической связью с угольными горизонтами [2, 11, 12]. Коэффициент фильтрации этих образований колеблется в широких пределах и сопоставим с песчано-гравийными отложениями (табл. 1). В ходе геологического развития на катагенных глубинах такой тип пустотности может формировать гидравлически взаимосвязанную систему макро- и микрополостей.

Отметим, что горельники трассируют лишь часть (притом самую напряжённую) былого термоградиентного пространства, созданного (в своё время) палеоочагами теплогенерации. Периферийные зоны также испытали воздействие повышенных температур, они были недостаточными для образования горельников, однако могли обеспечить трансформацию ОВ. Это относится как к концентрированному (в угольных пластах, пропластках), так и к рассеянному (во вмещающих песчано-глинистых отложениях) ОВ. В таких периферийных зонах происходило уменьшение массы ОВ, что, как известно, сопровождается возникновением дополнительной пустотности [13].

На удалении от участков выгорания проявился ещё один фактор улучшения флюидопроводимости. Оказалось, что ослабленные зоны, возникшие при уничтожении больших масс ОВ высокими температурами, нередко распространяются до земной поверхности с образованием провалов, провалов, воронок, котловин, понижений в рельефе с заболачиванием последних. В Канско-Ачинском бассейне воронки проседания обнаружены в зоне выхода угольных пластов под четвертичные отложения; их размер от 1–2 до десятков гектаров, глубина от 20–30 до 50 м [2].

Провальные формы рельефа нередко заполнены водой; на одном из участков Абанского месторождения [3] они образуют группы небольших озёр и водоёмов с запасами воды около 7 тыс. м<sup>3</sup> (табл. 2). Мелкие провальные водоёмы, возникновение которых связывают с подземным выгоранием твёрдых каустобиолитов, известны также в Кузнецком угольном бассейне, угленефтегазоносной Вилуйской синеклизе.

Таким образом, палеоочаги теплогенерации в юрских отложениях Канско-Ачинского бассейна со-

**Таблица 1.** Фильтрационные параметры гидрогеологических подразделений наиболее крупных разведанных угольных месторождений Канско-Ачинского бассейна [2]

Геологические подразделения (стратиграфический индекс)	Преобладающий литологический состав водоносных пород	Удельный дебит, л/с	Водопроницаемость, м <sup>2</sup> /сут	Коэффициент фильтрации, м/сут
Березовское месторождение (участки 1–2)				
Водоносный надугольный горизонт (J <sub>2</sub> <sup>3</sup> –K <sub>1</sub> )	Песчаники	0,09–1,05 0,35	1,7–47,0 19	0,7–3,8 2,1
Водоносная зона трещиноватости горелых пород (ρ <sub>r</sub> N–Q)	Горелые породы (глиежи)	0,07–6,4 2,57	7,0–640 265	1,2–74,2 32,8
Урюпское месторождение				
Водоносный надугольный горизонт (J <sub>2</sub> <sup>3</sup> –K <sub>1</sub> )	Песчаники (2 слоя)	0,48–0,73 0,3	5,8–253 86	0,3–11 3,3
Водоносная зона трещиноватости горелых пород (ρ <sub>r</sub> N–Q)	Горелые породы (глиежи)	1,38–4,57 3,0	126,7–715 438	7,32–135 68,9
Барандатское месторождение				
Водоносный надугольный горизонт (J <sub>2</sub> <sup>3</sup> –K <sub>1</sub> )	Песчаники (1–2 слоя)	0,002–0,3 0,07	0,2–37 7,8	0,02–4 1,0
Водоносная зона трещиноватости горелых пород (ρ <sub>r</sub> N–Q)	Горелые породы (глиежи)	0,05–10,9 2,3	0,17–360,8 165,3	2,2–29,7 10,3
Абанское месторождение				
Водоносный надугольный горизонт (J <sub>2</sub> bg + J <sub>2</sub> km <sub>2</sub> <sup>5</sup> )	Песчаники	0,01–3,17	14,5–437	0,82–26 12,96
Водоносная зона трещиноватости горелых пород (ρ <sub>r</sub> N–Q)	Горелые породы (глиежи)	0,003–7,48 0,82	1–703 93	0,007–29 4,37

**Таблица 2.** Характеристика водоёмов Абанского месторождения КАТЭКа [3]

Название озера	Глубина, м	Площадь, км <sup>2</sup>	Запасы воды, тыс. м <sup>3</sup>
Безымянное 1	1,4	0,092	40
Безымянное 2	1,35	0,046	19
Линьково	17,4	0,138	696
Чёртово	11,2	0,202	157
Луговое	7,4	0,110	248
Кривое	10,4	0,206	472
Карасёво	4,7	0,055	79
Большое	7,0	0,435	1030
Становое	12,2	0,463	2100
Мангорек	2,0	2,900	2300

здали коллекторы пирогенной природы с собственными флюидодинамическими параметрами. Главный фактор появления вторичного ёмкостного пространства — уничтожение больших масс ОВ высокими температурами на приповерхностных глубинах.

Как известно, ОВ делает угольные пласты коллектором, существенно отличающимся от традиционных [14, 15]. В нашем случае очаги теплогенерации обеспечили угольный пласт другим типом коллектора: пирогенные потери угольного ОВ обусловили повышенную флюидопроводимость этих участков, превратив в коллекторы традиционного типа.

Пирогенные коллекторы могли возникать в нефтегазоносных бассейнах с угольно-сланцевыми отложениями в определённые стадии геологического развития (докатагенной и постинверсионной), создавая локальные очаги геофлюидодинамической неоднородности геологической среды. На катагенных глубинах такие коллекторы способны стать вмещителями углеводородов и обеспечить формирование неструктурных залежей нефти и газа.

**Источник финансирования.** Статья написана в рамках выполнения работ по программе Президиума РАН № 8 «Углеводороды с глубоких горизонтов в “старых” нефтегазодобывающих регионах как новый источник энергоресурсов: теоретические и прикладные аспекты».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угольная база России. Т. III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (южная часть) / Под ред. В.С. Быкодорова, В.Ф. Череповского. М.: Геоинформцентр, 2002. 488 с.
2. Гаврилин К.В., Озерский А.Ю. Канско-Ачинский угольный бассейн. М.: Недра, 1996. 272 с.
3. Ольховатенко В.Е., Пуляев В.Н., Сенотрусов Г.П. и др. Инженерная геология угольных месторождений Сибири и Дальнего Востока. Томск: Изд-во Томс. ун-та, 1991. 288 с.

4. Сокол Э.В., Максимова Н.В., Нигматулина Е.Н., Шарыгин В.В., Калугин В.М. Пирогенный метаморфизм. Новосибирск: Наука, 2005. 284 с.
5. Калугин И.А., Третьяков Г.А., Бобров В.А. Железородные базальты в горелых породах Восточного Казахстана. Новосибирск: Наука, 1991. 80 с.
6. Юсупова И.Ф. // ДАН. 1992. Т. 324. № 5. С. 1085.
7. Юсупова И.Ф. // Химия тв. тела. 2011. № 6. С. 65.
8. Kus. J. // Int. J. Coal Geol. 2017. V. 171. P. 185.
9. Stracher G.B. The Rising Global Interest in Coal Fires: Earth. 2010. V. 55. № 9. P. 46.
10. Сыроватко М.В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений. М.: Госгортехиздат, 1960. 500 с.
11. Абукова Л.А., Юсупова И.Ф. Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазовых бассейнов. М.: ГЕОС, 2015. С. 19.
12. Юсупова И.Ф., Абукова Л.А. // Химия тв. тела. 2017. № 4. С. 24.
13. Юсупова И.Ф. // ДАН. 1994. Т. 335. № 3. С. 352.
14. Астахов А.В., Винокурова Е.Б., Кецлах А.И. // ДАН. 1987. Т. 294. № 3. С. 626.
15. Шумилов В.А., Аксельрод С.М., Шумилов А.В. Геофизические исследования скважин при разведке и добыче метана угольных пластов. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 148 с.

## PYROGENIC NATURE RESERVOIR ROCKS AS A FACTOR OF GEOFLUIDODYNAMIC INHOMOGENEITY

L. A. Abukova, I. F. Yusupova

*Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS A.N. Dmitrievskii November 7, 2018

Received November 7, 2018

The article considers the Kansko-Achinsky brown coal basin. Huge reserves of solid organic matter (OM) are concentrated in epy Jurassic age sandy-clay sediments. For example, the average thickness of the Borodino field Itatsky layer is 51 m. Attention is drawn to the paleo-centers of heat generation where the coal layers lost (in a whole or partly) their OM. They were destroyed by the underground fires of the past eras. The loss of large masses of the OM in local areas was accompanied by deformations of the coal layers (as well as overlapping ones), appearance of burned and caved ground, failure topographic form (subsidence, funnels, bolsons), and most importantly, the formation of epigenetic cavernosity and pyrogenic reservoir rocks. It is emphasized that the increased fluid conductivity of burned rocks has survived up to the present days. The areas with the burnt rocks are separated into independent fluid dynamic structures with their own parameters (filtration coefficient, water transmissibility, etc.). It has been suggested that pyrogenic reservoir rocks could occur in oil-and-gas basins with coal shale deposits at certain stages of geological development, and at the oil-and-gas generating depths they are able to become reservoirs of catagenic hydrocarbons.

*Keywords:* heat generation, organic matter, burned rocks, pyrogenic reservoir rocks, fluid dynamic inhomogeneity, hydrocarbons.