



УДК 553.98

АУТИГЕННЫЙ ДОЛОМИТ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ – ПОКАЗАТЕЛЬ РЕЖИМА АКТИВНОГО СИНГЕНЕТИЧНОГО НАФТИДОГЕНЕЗА



**А. Д. Коробов, Е. Ф. Ахлестина, Л. А. Коробова,
М. П. Логинова, А. Т. Колотухин, В. М. Мухин**

Коробов Александр Дмитриевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии и геохимии горючих ископаемых, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, korob@yandex.ru

Ахлестина Екатерина Фоминична, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Отделения геологии НИИ ЕН, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ahlestinakf@yandex.ru

Коробова Людмила Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, korob@info.sgu.ru

Логинова Марина Павловна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, mp.loginova@mail.ru

Колотухин Анатолий Трофимович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, kolotuhinat@yandex.ru

Мухин Владимир Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, muchin@info.sgu.ru

Статья посвящена роли водородослевого материала баженовской свиты в образовании аутигенного доломита. Последний мог возникнуть в обстановке конвергентности двух процессов: гидротермального («выклинивающегося» в тыловых зонах) и катагенетического (фонового), порожденного кондуктивным теплопереносом. Развитие водородослевого доломита *in situ* показывает, что материнские породы пережили этап интенсивной (завершающей) генерации углеводородов (УВ).

Ключевые слова: водоросли, липиды, липоидные компоненты, аутигенный доломит, баженовская свита, гидротермы, источник магния, углеводороды.

**Aautygenic Dolomite High-carbon Radials Bajenovskaya
Switches – Indicator of the Regime Active Singenic
Naptidogenesis**

**A. D. Korobov, E. F. Ahlestina, L. A. Korobova,
M. P. Loginova, A. T. Kolotukhin, V. M. Mukhin**

Alexander D. Korobov, ORCID 0000-0002-9497-5030, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, korob@yandex.ru

Ekaterina F. Ahlestina, ORCID 0000-0001-5680-9472, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, ahlestinakf@yandex.ru

Lyudmila A. Korobova, ORCID 0000-0001-5900-7010, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, korob@info.sgu.ru

Marina P. Loginova, ORCID 0000-0003-2044-8040, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, mp.loginova@mail.ru

Anatoly T. Kolotukhin, ORCID 0000-0001-9247-864X, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, kolotuhinat@yandex.ru

Vladimir M. Mukhin, ORCID 0000-0002-99-39-7815, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, muchin@info.sgu.ru

The article is devoted to the role of algal material of the Bazhenov suite in the the formation of authigenic dolomite. Authigenic dolomite could form in the environment of convergence of two processes: hydrothermal («wedging out» in the rear zones) and catagenetic (background) generated by conductive heat transfer. The development of the algal dolomite *in situ* shows that the source rocks experienced the stage of intensive (final) hydrocarbons generation.

Key words: algae, lipids, lipoid components, authigenic dolomite, Bazhenov suite, hydrothermal fluid, source of magnesium, hydrocarbons.

DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-50-53

Проведенные за последние десятилетия исследования показали, что связь основных литологических характеристик баженовской свиты с нефтеносностью не устанавливается. Очевидно, первичные седиментационные факторы не имеют определяющего влияния на нефтеносность баженовской свиты. Совершенно иные результаты дает анализ распределения по площади палеотемператур периодов структурной перестройки – главного параметра, определяющего характер протекания эпигенетических, в том числе нефтегазогенерирующих, процессов рифтогенных осадочных бассейнов. Температура в сочетании с другими факторами играла чрезвычайно важную роль в возникновении продуктивных коллекторов баженовской свиты.

Гидротермы, порожденные тектонической перестройкой Западно-Сибирской плиты в позднем мелу – раннем палеогене, оказывали свое воздействие на нефтематеринские породы. Вы-



соконагретые растворы вызвали формирование новообразованных минералов и одновременно были ответственны за генерацию УВ, скорость возникновения которых резко увеличивалась. По мнению Е. А. Предтеченской, А. Д. Коробова и других геологов, вторичные доломиты из числа широко развитых здесь карбонатов являются индикаторами вертикальной миграции горячих глубинных флюидов. Последние проникали в осадочные толщи тектонически активизированных зон, где в значительной степени обуславливали нафтидогенез.

Петрографические наблюдения, подтвержденные рентгенофазовыми исследованиями, показали, что характер развития вторичного доломита в высокобитуминозных породах баженовской свиты неодинаков. В бесприточных скважинах данный минерал не обнаружен. В мало-, среднедебитных скважинах ($Q = 1,60 - 21,60$ т/сут) он наряду с другими минералами более или менее равномерно распределен в основной битуминозной массе, импрегнирует ее, создавая в шлифах своеобразную «картину ночного звездного неба». В случае высоких нефтепритоков ($Q \geq 80$ т/сут) количество новообразованного доломита резко возрастает и меняется характер его локализации. Важно подчеркнуть, что бесприточные скважины находятся на максимальном удалении от разломов, а наиболее продуктивная скважина пробурена непосредственно в зоне тектонического нарушения. Остальные мало-, среднедебитные скважины занимают относительно разломов промежуточное положение.

Возникновение доломита в черных сланцах трактуется разными геологами неодинаково. В частности, Я. Э. Юдович и М. П. Керрис [1] утверждают, что доломит и его железистая разновидность анкерит в целом могут считаться типовыми минералами диагенеза черных сланцев. Выявление различий диагенеза черных сланцев, основанное на составе и количестве карбонатных новообразований, позволило этим авторам выделить три их типа: доманиковский, оксфордский и баженовский. Последний, естественно, представляет для нас особый интерес. Он характеризуется тем, что в осадках было очень мало карбоната или его не было вообще. По мнению С. Г. Неручева с соавторами [2], это является признаком незавершенного диагенеза, в котором аутигенное минералообразование прошло частично и не до конца. По мнению Г. В. Лебедевой [3], такое возможно только в высокоуглеродистых (высокобитуминозных) и малоглинистых осадках, где органическое вещество (ОВ) эффективно затормаживает диагенетическое минералообразование вследствие формирования органоглинистых комплексов. Это приводит к гидрофобизации глинистых частиц, а значит, к уменьшению эффективной пористости. Такое не связанное с цементацией или уплотнением снижение пористости кладет конец диагенетическому минералообразованию [2]. Во многом

схожая картина наблюдается на Пальяновском участке Красноленинского месторождения, где в битуминозных породах баженовской свиты существует острый дефицит глинистых минералов. Из этого вытекает важное следствие: водородослевым доломит баженовской свиты является не порождением диагенеза осадка, а результатом наложенных на уже сформировавшуюся породу процессов.

В условиях структурной перестройки именно разломы и оперяющая их трещиноватость были местом активного высачивания нагретых растворов и наиболее высокотемпературных преобразований пород. Гидротермы обусловили более полное созревание ОВ и поступление дополнительного минерального материала, включая УВ, со стороны. В зонах, удаленных от тектонических нарушений (периферийные (тыловые) участки конвективного теплопереноса), прогрев толщ был намного слабее, а перерождение отложений приобретало изохимическую направленность. Здесь оно начинало носить черты катагенеза, что позволяет говорить о конвергентности двух процессов – гидротермального (гидротермально-метасоматического) и катагенетического, порожденных фоновым кондуктивным теплопереносом. Рассмотрим вторичные преобразования для пород, удаленных от разломов, где они протекали в условиях, близких к закрытой системе.

Касаясь карбонатнакопления, важно подчеркнуть, что наряду с внешним источником магния, необходимого для возникновения вторичного доломита, в породах бажено-абалакского комплекса существует и внутренний его поставщик. Им являются, с одной стороны, смектиты и хлориты (минеральная составляющая), а с другой – разнообразные водоросли (органическое вещество). Однако, учитывая, что в породах баженовской свиты Красноленинского района глинистость не превышает 30%, а содержание ОВ достигает 40% [4], подробнее остановимся на рассмотрении роли низших растений в формировании доломита *in situ*.

Общеизвестно, что водородослевое органическое вещество является наиболее благоприятным для нефтеобразования. Связано это с тем, что главным источником УВ являются липидные и липоидные компоненты, которые могут в значительном количестве присутствовать в водорослях. Поскольку различные группы водорослей характеризуются большим разбросом содержания липидов (1–35%) [5], то и нефтематеринский потенциал ($\Pi_{\text{нм}}$) органического вещества зависит от состава групп водорослей основных поставщиков ОВ. Так, например, кремнистые породы фитогенного генезиса рассматриваются в качестве образований с повышенным $\Pi_{\text{нм}}$, что связано со значительным содержанием липидов в водорослях с кремниевой функцией – диатомовых, золотистых, перидинейх. Сюда же относятся породы, в формировании которых существенную роль играли известковые сине-зеленые водоросли [6].



По данным Ю. В. Брадучан с соавторами [7], основными продуцентами ОВ в баженовском море Западной Сибири были микрофитопланктон (диатомовые, зеленые, золотистые, пиррофитовые водоросли), зоопланктон (радиолярии), а также макроводоросли. В. В. Казаринов [8] в составе ОВ баженовской свиты различает фрагменты витринита, псевдовитринита и липоидные микрокомпоненты, слагающие основную массу коллоальгинита и гумосапросорбониксита (преобладает сапропелевое ОВ). Кроме того, он диагностирует остатки лентовидных водорослей, водорослей типа «кокколитофорид» (синезеленых и золотистых), бурых многоклеточных микроводорослей, крупные остатки слоевищ ламинариевых водорослей и морских трав. Многие из вышеперечисленного встречено нами при описании шлифов, изготовленных из пород бажено-абалакского комплекса.

Установлено [9], что продуктивность бажено-абалакского комплекса Пальяновского участка Краснотенинского месторождения контролируется интенсивностью наложенного гидротермального преобразования, наиболее чутким индикатором которого является вторичный доломит. В этой связи возникает закономерный вопрос: не являются ли генерация нефти и аутигенное доломитообразование в породах баженовской свиты сопряженными процессами? Если допустить такое, то необходимо выяснить, содержат ли водоросли наряду с липидными и липоидными компонентами в своем составе кальций и магний, необходимые для автономного синтеза доломита в условиях гидротермального прогрева.

Исследования Б. И. Чувашова [10] показали, что водоросли, присутствующие в породах баженовской свиты (золотистые, зеленые, синезеленые и др.), относятся к категории известковых. Среди известковых водорослей известны разновидности, в которых отмечается кальцит с максимально известным для организмов содержанием $MgCO_3$ – до 30–35% [11, 12]. Связано это с их прижизненной способностью концентрировать соли магния [13]. При этом комплексные соединения Mg в растениях вообще и в водорослях в частности имеют более высокое содержание элемента, чем вещества конкретных клеток, например хлорофилла. Если количество магния в хлорофилле составляет 2,7%, то концентриро-

вание Mg в комплексах по сравнению с целыми клетками повышается в 10 раз [14]. Однако, несмотря на то что известковые водоросли в значительном количестве аккумулируют углекислый магний, в ископаемом состоянии магния обычно мало. Объясняется это тем, что в стенках растительных клеток $MgCO_3$ находится в виде изоморфной примеси $CaCO_3$ и легко вымывается при фоссилизации [15]. Видимо, в этом состоит одна из причин низкого содержания доломита в микроводорослевой породе Пальяновской площади, за исключением скважин, которые располагаются в зоне разлома. Зольный состав водорослей, которые постоянно встречаются в породах баженовской свиты и наблюдаются в исследованных нами скважинах Пальяновского участка, приводится в таблице. Из таблицы, составленной по материалам А. И. Ведринского и В. А. Ковды, видно, что во всех водорослях наряду с кальцием (6,91–23,10%) присутствует магний (1,70–5,58%).

Неоднократно отмечалось, что продуктивность баженовской свиты и возникновение аутигенного доломита контролируются степенью прогрева пород. Это соответствует экспериментальным исследованиям Дж. Р. Гольдсмита (Goldsmith) и Д. Л. Графа (Graf) [16], установившим, что для образования нормального доломита необходима повышенная температура (~200°C). При более низких температурах возникает протодоломит, близкий по структуре к доломиту. Протодоломиты содержат больше $CaCO_3$, чем настоящие доломиты. Важно подчеркнуть, что в обстановке тектоногидротермальной активизации Западно-Сибирской плиты происходит формирование углеводородов в нефтегазоматеринских толщах при следующих температурах [17]: нефть (60–170°C) → нефть+газоконденсат (150–200°C).

На основании вышеизложенного и наших наблюдений можно сделать принципиальные выводы:

1. Водорослевый аутигенный доломит баженовской свиты не является продуктом диагенеза. Он возник автономно за счет прогрева высокобитуминозных пород, содержащих Mg и Ca.

2. Факт наличия или отсутствия водорослевого доломита *in situ* свидетельствует о том, переживала или нет высокобитуминозная материнская толща баженовской свиты этап завершающей генерации УВ.

Зольный химический состав водорослей

| Название группы (вида) водорослей | Зола, % | В % к золе | | | | | | | | | Литературный источник |
|-----------------------------------|---------|------------------|-------------------|-------|------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|-------|-----------------------|
| | | K ₂ O | Na ₂ O | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | SiO ₂ | Cl | |
| Зеленые (среднее из 9) | 25,30 | 5,00 | 12,20 | 23,10 | 1,70 | 0,50 | 1,50 | 8,30 | 2,60 | 10,30 | [18] |
| Бурые (среднее из 56) | 27,80 | 18,20 | 12,30 | 8,60 | 3,20 | 0,70 | 1,20 | 6,30 | 1,00 | 20,00 | |
| Багряные (среднее из 27) | 20,00 | 11,00 | 14,80 | 7,00 | 4,20 | 0,60 | 1,60 | 12,70 | 0,70 | 6,70 | |
| <i>Laminaria saccharina</i> | 31,55 | 25,01 | 20,10 | 6,91 | 4,60 | – | 2,07 | 0,48 | 4,22 | 31,16 | [19] |
| <i>Laminaria digitata</i> | 27,72 | 24,51 | 16,00 | 11,78 | 5,58 | – | 1,88 | 11,08 | 4,08 | 29,30 | |



3. Территории, на которых развит водорослевый аутигенный доломит, необходимо рассматривать как области интенсивной (завершающей) генерации углеводородов баженовскими отложениями.

Библиографический список

1. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия черных сланцев. Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1988. 272 с.
2. Неручев С. Г., Рогозина Е. А., Зеличенко И. А. Нефтегазообразование в отложениях доманикового типа. Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1986. 247 с.
3. Лебедева Г. В. Вторичные изменения органомонтмориллонитовых соединений в доманикитах // Закономерности размещения коллекторов сложного строения и прогноз нефтегазоносности. Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1985. С. 94–99.
4. Балушкина Н. С., Калмыков Г. А., Кирюхина Т. А. Закономерности строения баженовского горизонта и верхов абалакской свиты в связи с перспективами добычи нефти // Геология нефти и газа. 2013. № 3. С. 48–61
5. Барашков Г. К. Сравнительная биохимия водорослей. М. : Пищ. пром., 1972. 335 с.
6. Баженова О. К., Бурлин Ю. К. Роль исходного органического вещества в формировании нефтематеринского потенциала // Органическое вещество в современных и ископаемых осадках : тез. докл. VII Всесоюз. семинара. Ташкент, 1982. С. 46–58.
7. Брадучан Ю. В., Гурари Ф. Г., Захаров В. А. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность) // Тр. / Ин-т геологии и геофизики. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1986. Вып. 649. С. 27–31.
8. Казаринов В. В. Вещественный состав органического вещества баженовской свиты Западной-Сибирской плиты // Органическое вещество в современных и ископаемых осадках : тез. докл. VII Всесоюз. семинара. Ташкент, 1982. С. 227–228.
9. Коробов А. Д., Коробова Л. А., Морозов В. П., Заграновская Д. Е., Захарова О. А. Аутигенный доломит высокобитуминозных баженовских отложений – показатель завершающей стадии генерации углеводородов // Нефтяное хозяйство. 2017. № 4. С. 41–43.
10. Чувашов Б. И. Состояние изученности и перспективы исследования известковых водорослей // Актуальные вопросы современной палеоальгологии. Киев : Наук. думка, 1986. С. 97–102.
11. Виноградов А. П. Химический элементарный состав морских водорослей // Тр. биогеохимической лаборатории АН СССР. 1935. Ч. 1, т. 3. С. 87–201.
12. Дегенс Э. Т. Геохимия осадочных образований. М. : Мир, 1967. 299 с.
13. Осипова А. И. Условия образования доломитов в Ферганском заливе палеогенового моря // Тр. / ГИН АН СССР. 1956. Вып. 4. С. 344–373.
14. Бойченко Е. А., Саенко Г. Н., Удельнова Т. Н. Эволюция концентрационной функции растений в биосфере // Геохимия. 1968. № 10. С. 1260–1264.
15. Маслов В. П. Водоросли и карбонатоосаждение // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 12. С. 81–86.
16. Goldsmith J. R., Graf D. L. Structure and Compositional Variations in Some Natural Dolomites // Journ. Geol. 1958. Vol. 66. P. 678–693.
17. Коробов А. Д., Коробова Л. А. Нефтегазоперспективный рифтогенно-осадочный формационный комплекс как отражение гидротермальных процессов в породах фундамента и чехла // Геология нефти и газа. 2011. № 3. С. 14–23.
18. Ковда В. А. Минеральный состав растений и почвообразования // Почвообразование. 1956. № 1. С. 6–38.
19. Ведринский А. И. Основы комплексной переработки беломорских ламинарий // Водоросли Белого моря : тр. Архангельского водорослевого НИИ. 1938. Вып. 107. С. 94–112.

Образец для цитирования:

Коробов А. Д., Ахлестина Е. Ф., Коробова Л. А., Логинова М. П., Колотухин А. Т., Мухин В. М. Аутигенный доломит высокоуглеродистых пород баженовской свиты – показатель режима активного сингенетического нефтидогенеза // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 50–53. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-50-53.

Cite this article as:

Korobov A. D., Ahlestina E. F., Korobova L. A., Loginova M. P., Kolotukhin A. T., Mukhin V. M. Auutygenic Dolomite High-carbon Radials Bajenovskaya Swiches – Indicator of the Regime Active Singenic Naptidogenesis. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 50–53 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-50-53.