

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 05.08.2025 г.

Принята к публикации 16.10.2025 г.

EDN: RVIKQJ

УДК 552.54:548.73:551.72/.732(571.5)

Невестенко М.А., Можегова С.В., Петров А.Л., Оленова К.Ю.

Апрелевское отделение Всероссийского научно-исследовательского геологического нефтяного института (Филиал «Апрелевское отделение ВНИГНИ»), Москва, Россия, m.nevestenko@vnigni.ru

ОСОБЕННОСТИ ПИРОЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНЕЗИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД ВЕНД-КЕМБРИЙСКОГО КОМПЛЕКСА ЛЕНО-ТУНГУССКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Обобщены результаты пиролитических исследований карбонатных пород венд-кембрийских отложений, вскрытых параметрическими и разведочными скважинами в пределах восточной части Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Изложены особенности разложения различных карбонатных минералов и их влияние на результаты пиролитических исследований методом Rock-Eval. Для подтверждения этого проведена корреляция геохимических и литологических (рентгенофазовый анализ) исследований. Приведены новые данные о распространении магнезитов в буюской свите верхнего венда.

Ключевые слова: карбонатная порода, магнезит, венд-кембрийские отложения, Rock-Eval, рентгенофазовый анализ, Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция.

Для цитирования: Невестенко М.А., Можегова С.В., Петров А.Л., Оленова К.Ю. Особенности пиролитических исследований магнезитсодержащих пород венд-кембрийского комплекса Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №4. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/39_2025.html EDN: RVIKQJ

Введение

Пиролиз горных пород по методу Rock-Eval впервые предложен в 1970 г. ученым Французского института нефти Дж. Эспиталье и его коллегами [Espitalié и др., 1977]. Время появления пиролизатора совпало с быстрым ростом интереса промышленности к достижениям органической геохимии [Лопатин, Емец, 1987]. Проведение нефтегазопроисловых работ на акватории, бóльших глубинах и в сложных горно-геологических условиях поставили вопрос о необходимости повышения геологической обоснованности и эффективности буровых работ. Пришло понимание необходимости перехода от эмпирического поискового бурения к новой стратегии разведки, которая основывалась бы на изучении процессов нефтеобразования и формирования залежей. Разработанное в органической геохимии учение о происхождении нефти способствовало развитию нефтепоисковой геологии.

Существовавшие на тот момент геохимические методы лабораторных исследований керна и флюидов направлялись на идентификацию нефтегазоматеринских пород, определение

степени их преобразованности (зрелости) и материнского потенциала. В комплексе с другими геологическими данными результаты геохимических исследований позволили установить пути миграции нефти и газа, проводить нефтегеологическое районирование и прогнозирование продуктивности природных резервуаров, что значительно повышало эффективность и успешность нефтегазопроисловых работ. С помощью методов химикобитуминологического анализа, определения изотопномолекулярного состава фракций битумоидов, ИК- и УФ-спектроскопии, анализа химического состава нерастворимой части органического вещества (ОВ) (керогена), анализа его мацерального состава и определения отражательной способности витринита получена детальная и ценная информация о нефтегазоматеринских свойствах пород. Однако аналитические исследования продолжительны по времени, трудоемки и требовали определенное количество дорогостоящего кернавого материала.

В свою очередь, предложенный в 70-е гг. новый метод Rock-Eval отличался экспрессностью, практически не требовал предварительной подготовки образцов (за исключением дробления) и позволял быстро получать значительное количество геохимической информации, используя для анализа небольшой объем вещества. Приборы устанавливались не только в аналитических центрах, но и непосредственно на скважинах, что позволяло быстро выявлять продуктивные интервалы и выбирать объекты для последующих испытаний непосредственно в процессе бурения скважин.

Сегодня пиролитические исследования по технологии Rock-Eval стали неотъемлемой частью комплекса геохимических исследований горных пород. Получаемые данные в совокупности с другими методами геохимического анализа (биомаркерные, изотопные, хроматографические) позволяют выявлять очаги генерации углеводородов, а также активно используются при построении геологических моделей залежей и при моделировании истории геологического развития нефтегазоносных бассейнов.

Особенности термического разложения карбонатных минералов и методы определения их содержания

В целом, технология Rock-Eval представляет собой имитацию природного процесса термического преобразования ОВ материнской породы в лабораторных условиях.

Определение содержания общего органического углерода (Сорг), одной из основных характеристик нефтематеринских пород, по данным пиролитического анализа долгое время не представлялось возможным. В ранней версии пиролизатора Rock-Eval 2 (стандартной, не снабженной дополнительными модулями) количество CO₂, выделяющегося в ходе пиролиза породы (пик S₃), определялось катарометром (детектором по теплопроводности), количество

СО не фиксировалось вовсе [Behar, Beaumont, Pentead, 2001]. При этом, в пик S_3 входил CO_2 , выделяющийся при разложении кислородсодержащих функциональных групп не только керогена, но и карбонатов. Поэтому определение общего органического углерода проводилось в основном химическими методами анализа [Васильев, 2012; Когут, Милановский, Хаматнуров, 2023], такими как:

- полумикрометод сжигания в печи для элементного анализа;
- газометрический метод определения органического углерода с бюреткой Вартца-Штролейна;
- сжигание хромовой смесью по видоизмененному методу Кнопа;
- сжигание в печи с автоматическим нагревом и регистрацией продуктов распада.

Сущность перечисленных методов состоит в следующем. Подготовленный образец с катализатором помещается в печь и медленно сжигается в токе кислорода при температуре 700-800°C. Продукты сжигания полностью окисляются до CO_2 и H_2O и поглощаются. По изменению массы или другой характеристики поглотительного раствора проводится пересчет содержания органического углерода.

При анализе терригенных пород химические методы позволяли достоверно определять значения Сорг. При анализе карбонатных пород обязательно проводилась дополнительная пробоподготовка – декарбонизация кислотой.

Главным недостатком химических методов определения Сорг являлась трудоемкость и затратность в отношении времени и реактивов. Поэтому для технологии Rock-Eval крайне важно (актуально) предусмотреть возможность определения содержания Сорг. Вопросами влияния минеральной матрицы на результаты пиролитического анализа занимались многие ученые еще в конце прошлого века. Благодаря этим исследованиям появилась новая улучшенная версия прибора Rock-Eval 6, оснащенная отдельной печью окисления и ИК-ячейкой для регистрации СО и CO_2 не только на стадии пиролиза, но и на стадии окисления.

Подобное техническое решение позволило разделять углерод, выделяющийся при сжигании минеральной матрицы (MinC), и определять содержание в породе общего органического углерода (ТОС). Количество CO_2 из органического источника теперь рассчитывалось из пиков S_3 (пиролиз) и S_4CO_2 (окисление), количество CO_2 из минерального источника – из пиков S_3' (пиролиз) и S_5 (окисление).

При разработке новой версии прибора доказано, что для терригенных пород параметр ТОС определяется достаточно точно и хорошо коррелируется с результатами определения Сорг химическими методами [Lafargue, Marquis, Pillot, 1998]. Помимо содержания органического углерода современный метод пиролитического анализа при меньших затратах позволяет получать широкий спектр геохимических показателей. Поэтому с появлением Rock-

Eval 6 химические методы определения Сорг стали реже использоваться в практике геохимических исследований.

Тем не менее несмотря на то, что в последних моделях пиролизатора Rock-Eval предусмотрена возможность определения минерального углерода (MinC), при исследовании литологически разнотипных отложений разные карбонатные минералы способны в той или иной степени влиять на результаты пиролитических исследований.

Основная проблема пиролитических исследований при изучении ОВ карбонатных отложений заключается в большом разнообразии карбонатных минералов, которые разлагаются при разных температурах. Для кальцита и доломита температуры разложения составляют 600-850 [Rodriguez-Navarro и др., 2009] и ~600-880°C [Rat'ko и др., 2011], именно эти значения учтены в версии Rock-Eval 6. Однако некоторые другие карбонатные минералы разлагаются при более низких температурах (в т.ч. менее 400°C). Так, например, в пиролизе это приводит к тому, что CO₂, выделяющийся в результате их разложения, фиксируется раньше и вносит значительный вклад в площадь пика S₃, а не S_{3'}, как это предусмотрено условиями интегрирования. Таким образом, завышаются значения параметра S₃, кислородного индекса ОI, общего органического углерода (ТОС) и занижаются значения MinC. Подобное искажение пиролитических данных приводит к некорректной характеристике материнских свойств ОВ.

Так, например, минерал, карбонат свинца Pb(CO₃) из группы арагонита, – *церуссит*, встречается крайне редко, в породе может находиться в форме различных вкраплений. Он также имеет температуру разложения ниже 400°C. В работе Р.С. Кашапова приведен пример, где в результате пиролитического анализа показано, что образец чистого церуссита имеет достаточно высокие для «пустой» породы характеристики: S₃ – 19,86 мг CO₂/г; РС – 0,56%; ТОС – 0,57%; ОI – 3484 мг CO₂/г Сорг [Кашапов, 2024].

Подобное влияние на результаты пиролиза оказывают и некоторые другие малораспространенные карбонатные минералы. К ним относятся азурит, малахит и другие. Эти карбонаты также исследованы методом Rock-Eval в чистом виде [Baudin и др., 2023; Pillot, Deville, Prinzhofer, 2014]. Они практически не встречаются в нефтегазопроисковой практике, а в основном присутствуют в рудной промышленности.

Отдельного упоминания заслуживают более широко распространенные в осадочных горных породах карбонатные минералы *сидерит* и *магнезит*, образование которых определяется фациями отложений.

Неоднозначная ситуация сложилась вокруг *сидерита* Fe(CO₃). Это аутигенный, редко аллотигенный минерал. Образуется в слабо восстановительных (до нейтральных) и восстановительных обстановках. Рассеянный сидерит вместе с рассеянным пиритом

характерен для песчано-алеврито-глинистых прибрежно-морских, озерно-болотных отложений, обогащенных ОВ [Теодорович, 1958]. При пиролизе сидерита обычно не возникает проблем с определением ТОС.

В руководстве пользователя Rock-Eval приведен пример пирограммы образца породы, содержащей сидерит. Температура разложения представленного образца составляет 500°C, поэтому выделяющийся в процессе пиролиза CO₂ интегрируется в пике S₃', что полностью укладывается в концепцию расчета программного обеспечения.

Однако, на практике сидерит, содержащийся в осадочных породах, имеет большой диапазон температуры разложения (от 340 до 520°C). Такая существенная разница обуславливается несколькими факторами [Kądziołka-Gaweł и др., 2025]:

- *наличие примесей или замещений*. Атомы железа могут частично заменяться на Mg²⁺, Mn²⁺ или Ca²⁺. Это изменяет термодинамические свойства минерала. Например, магнезиальный сидерит (с примесью Mg) может быть термически более устойчивым.

- *размер кристаллов и степень кристалличности*. Мелкозернистые или аморфные формы сидерита разлагаются при более низких температурах, чем крупные, хорошо окристаллизованные образцы. Это связано с большей удельной поверхностью и меньшей упорядоченностью структуры в мелких частицах.

Пиролитические исследования пород, содержащих сидерит, и способы учета его особенностей представлены в ряде работ. Например, ранее предложено использовать End-Member Analysis для уточнения температурных границ разложения органической и неорганической углеродной фазы [Ordoñez et al., 2019]. Суть такого анализа заключается в предположении, что образец представляет собой смесь «конечных членов» (end members), каждый из которых имеет уникальную характеристику. Термограммы пиролиза подвергались математической обработке в программе AnalySize, позволяющей разделить перекрывающиеся пики разложения органического и неорганического углерода на одномодальные параметрические распределения с использованием метода наименьших квадратов. Дополнительная обработка позволила скорректировать термограммы и нивелировать влияние минеральной матрицы на результаты пиролиза.

Анализ результатов пиролиза магнезитсодержащих пород венд-кембрийских отложений

Вместе с тем, достаточно мало освещены пиролитические исследования пород, содержащих *магнезит* (MgCO₃), отлагающийся в карбонатных фациях и также имеющий низкую температуру термического разложения.

Магнезит – аутигенный, очень редко аллотигенный минерал. Значительное содержание

магнезита установлено на юге Сибирской платформы в отложениях венд-кембрийской соленосно-карбонатной формации [Ивлев, Пустыльников, Чеканов, 1985], в составе которой в вендской части разреза наряду с пластами-коллекторами выделяются прослои нефтематеринских пород. По этой причине при геохимической характеристике ОВ венд-кембрийских отложений важно обращать внимание на минеральный состав карбонатных пород и при необходимости корректировать полученные пиролитические показатели.

В настоящей работе приведен пример пиролитических исследований пород, содержащих магнезит, вскрытых параметрическими и разведочными скважинами на территории восточной части Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (рис. 1), приуроченной к центральной части Сибирской платформы. В рамках выполнения работ по данной территории с использованием пиролизатора горных пород Rock-Eval изучено более 1500 образцов керна, отобранных из 35 скважин.

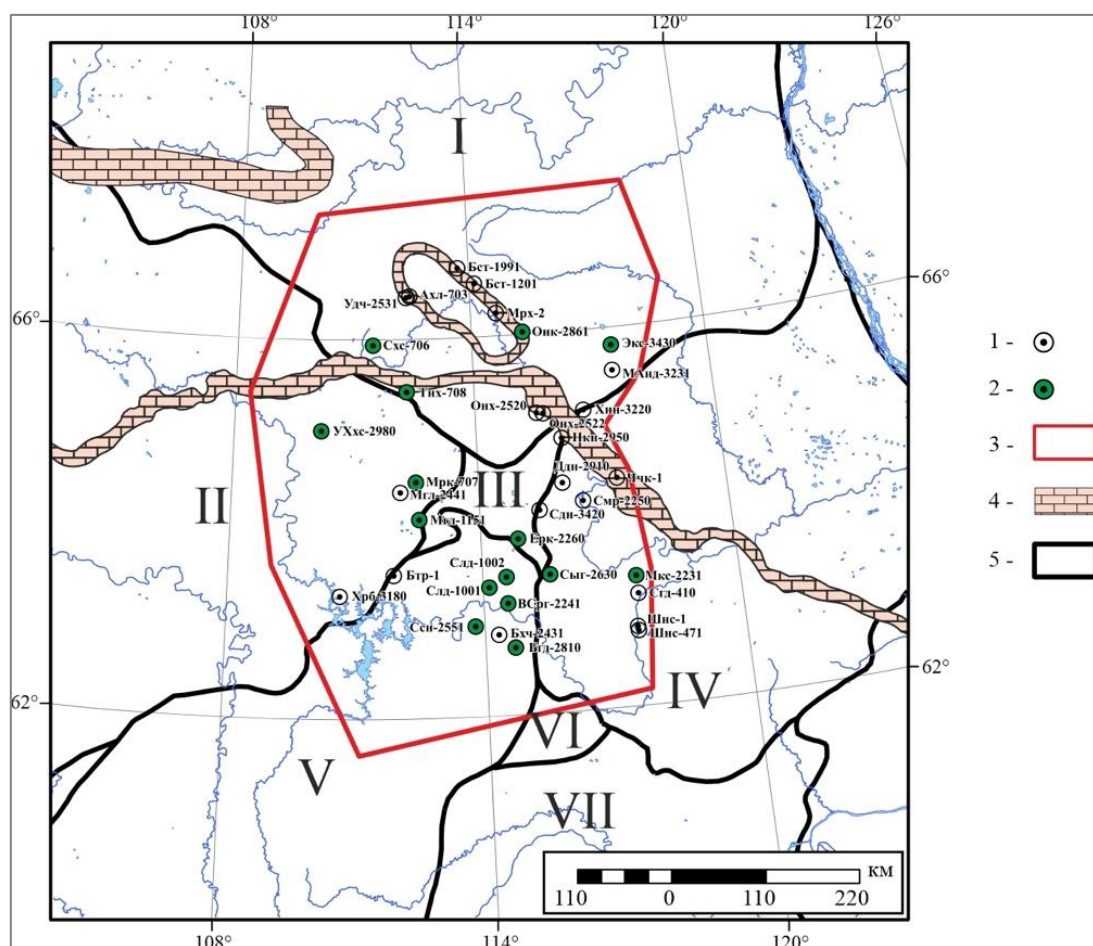


Рис. 1. Схема расположения изученных скважин

1 - исследуемые скважины; 2 - скважины, в кернах которых зафиксирован магнезит; 3 - район работ, 4 - нижне-среднекембрийская барьерная рифовая система; 5 - границы крупнейших тектонических элементов. I - Анабарская антеклиза, II - Курейская синеклиза, III - Сюджерская седловина, IV - Вилюйская гемисинеклиза, V - Непско-Ботубобинская антеклиза, VI - Вилючанская седловина, VII - Предпатомский региональный прогиб.

При детальном анализе полученных пиролитических данных в некоторых образцах бюксской свиты верхнего венда фиксировались относительно повышенные значения ТОС (0,5-6%), практически полностью представленного непиролизуемым углеродом RC, при низких значениях пиков пиролиза и невысокой зрелости ОБ.

Пример пирограмм такого образца из скв. Среднеыгыаттинская 2630 приведен на рис. 2. Как известно, показатель ТОС складывается из суммы PC (органический пиролизуемый углерод) и RC (органический непиролизуемый углерод). Большую часть ТОС может составлять PC, благодаря присутствию в породе подвижных углеводородов и керогена (пики S_1+S_2) или RC, который характеризует остаточный инертный углерод (пик S_4CO_2). Соотношение PC/RC может быть различным и зависит от множества факторов (типа ОБ, степени преобразованности и т.д.). Однако в ходе пиролиза данного образца при достаточно высоком значении ТОС = 5,51% наблюдаются низкие значения пиков S_1+S_2 , которые определены на уровне 0,15 мг УВ/г породы (рис. 2а), что не коррелирует с общими представлениями о содержании органического углерода в исследуемых отложениях. Может ли ОБ второго типа при стадии катагенеза МК₁ (по шкале Н.Б. Вассоевича) практически полностью находиться в инертной форме? При этом, как и предполагается методологией обсчета, основной вклад в показатель MinC вносит пик S_3' (рис. 2б), а в показатель RC – пик S_4CO_2 (рис. 2г). Но судя по кривым, оба этих пика принадлежат одному компоненту, который начинает разлагаться при температуре около 550°C и достигает максимума разложения при 650°C. Учитывая, что в бюксской свите скв. 2630 Среднеыгыаттинская по результатам рентгенофазового анализа (РФА) отмечается содержание магнезита, можно предположить, что именно он является компонентом, разлагающимся как в пик S_3' , так и в пик S_4CO_2 . Декарбонизация образца и определение Сорг методом кулонометрического титрования (0,10%) подтвердили предположение о неорганическом источнике фиксируемого CO₂.

На рис. 3 представлен другой пример искажения пиролитических данных по результатам анализа образцов бюксской свиты из скв. Сюльдюкарская 1002. Изученные отложения верхнего венда в данной скважине представлены карбонатными породами (в основном, доломитом и анкеритом), что согласуется с результатами пиролиза – содержание MinC в среднем около 10%. В интервале 2530-2640 м выделяется пачка магнезитсодержащих пород. По данным РФА содержание магнезита в них составляет 30-80%. Так как магнезит является карбонатным минералом, показатель MinC не должен претерпевать значительных изменений в данном интервале, однако, минеральный углерод все же уменьшается. Происходит это как раз за счет того, что по сравнению с доломитом и анкеритом магнезит разлагается при более низких температурах и выделяемый при этом CO₂ по условиям интегрирования учитывается при расчете не минерального, а органического углерода.

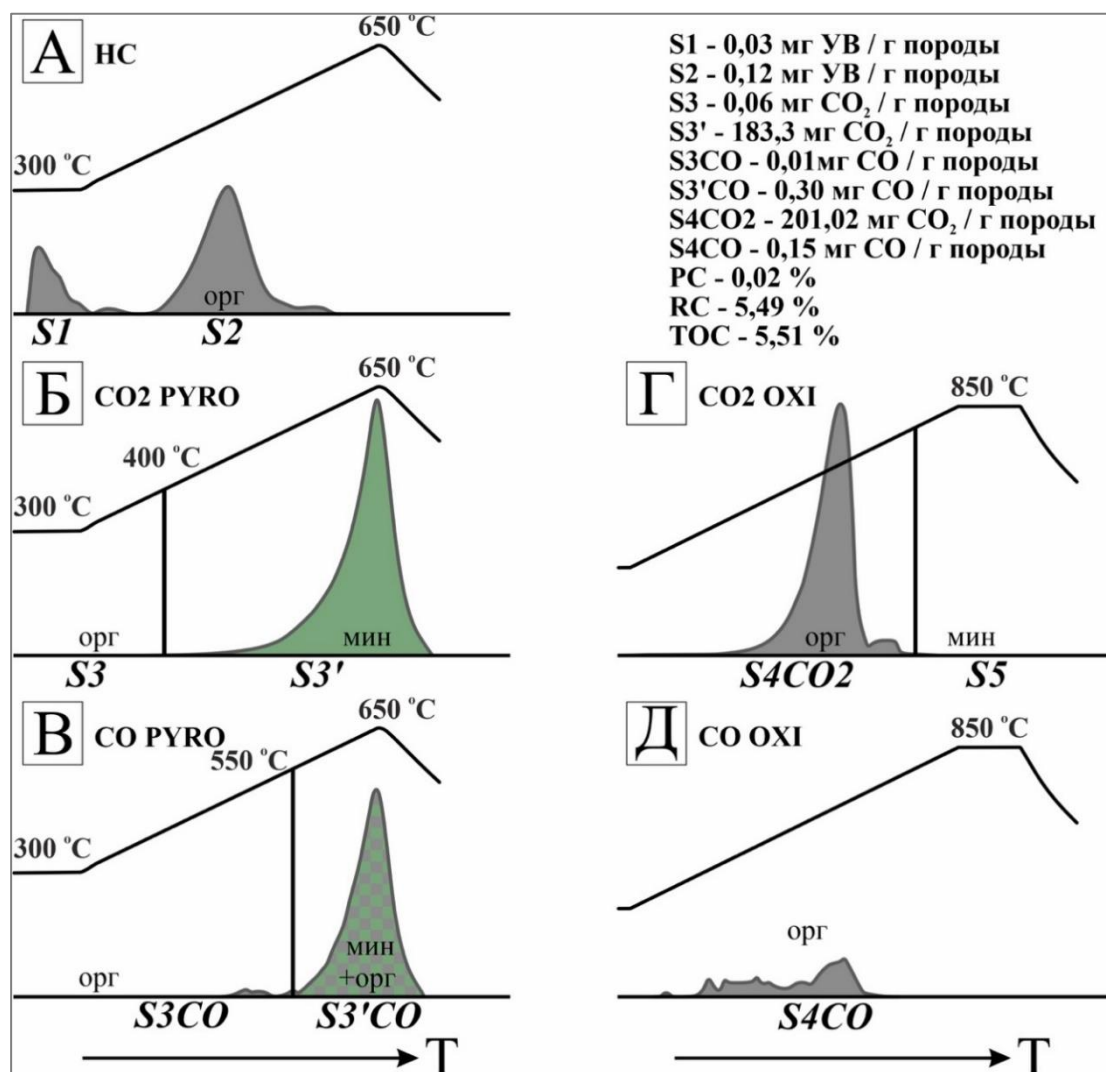


Рис. 2. Интегрирование органического и минерального углерода на кривых пиролиза: HC (а), CO₂ (б), CO (в) и окисления: CO₂ (г) и CO (д) для образца бюксской свиты скв. 2630 Среднеыгваттинская

Кроме того, при наложении данных видно, что именно в этой области параметр TOC представлен исключительно показателем RC, что является аналогом вышеописанного случая из скв. Среднеыгваттинская 2630.

Для проверки данного предположения для образцов из магнезитового интервала дополнительно проводилось определение Сорг напрямую, методом кулонометрического титрования на приборе АН-7529, с предварительной декарбонизацией пород соляной кислотой. В результате получены значения Сорг в диапазоне 0,01-0,22% (на рис. 3 отмечены звездочками), что значительно ниже значений TOC, определенных по методу Rock-Eval. Таким образом, можно сделать вывод, что содержание общего органического углерода, полученное в результате пиролиза, в области распространения магнезитов не является кондиционным и требует корректировки.

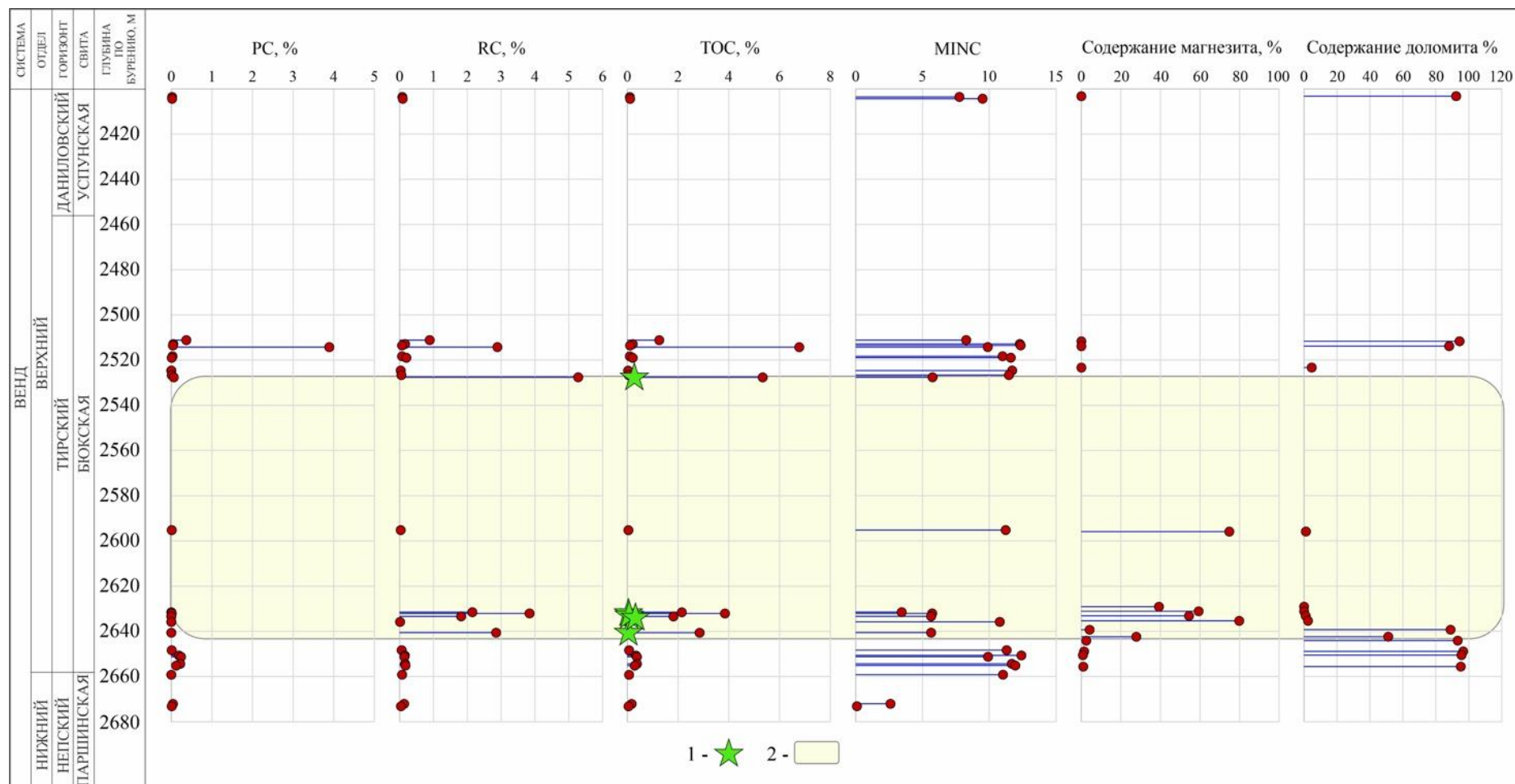


Рис. 3. Геохимический разрез вендских отложений скважины 1002 Сюльдюкарская

1 - значение *Сорг* (АН-7529), 2 - интервал распространения магнезитов.

Выводы

Применение метода Rock-Eval в практике геохимических исследований является необходимым элементом для успешного проведения нефтегазопоисковых работ. Однако, как и при любых исследованиях необходимо внимательно подходить к интерпретации получаемых результатов, так как существуют факторы, способные влиять на качество аналитических данных.

Одним из таких факторов является наличие в минеральном составе пород некоторых типов карбонатных минералов, разлагающихся в процессе пиролиза при температурах ниже 650°C. Для уверенности в результатах пиролитического анализа пород, содержащих карбонаты, необходимо проводить корреляции с данными рентгенофазовых исследований и химических (прямых) методов определения органического углерода.

В результате исследований керн скважин восточной части Лено-Тунгусской НГП получена важная информация о характеристике ОВ пород исследуемой территории. Данные рентгенофазового анализа отложений бюксской свиты показали присутствие магнезита (до 97%) в скважинах восточной части Лено-Тунгусской НГП. Следовательно, распространенность магнезитсодержащих пород не ограничивается югом Сибирской платформы [Ивлев, Пустыльников, Чеканов, 1985], но фиксируется и в центральной ее части. Зачастую для данных отложений магнезит является породообразующим минералом, что необходимо учитывать при дальнейшем изучении территории.

Литература

Васильев В.В. Методы оценки качества нефтегазоматеринских пород: учебное пособие. - Ухта: Ухтинский гос. технический ун-т, 2012. - 55 с.

Ивлев Н.Ф., Пустыльников А.М., Чеканов В.И. О региональном распространении магнезитов в отложениях соленосной формации юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. - 1985. - Т. 26. - № 11. - С. 16-24.

Кашанов Р.С. Моделирование генерации углеводородов и кинетики процесса пиролитической деструкции органического вещества баженской свиты // Дис. канд. геолого-мин. наук. - Новосибирск: ФГБУН ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, 2024. - 161 с.

Козут Б.М., Милановский Е.Ю., Хаматнуров Ш.А. О методах определения содержания органического углерода в почвах (критический обзор) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. - 2023. - № 114. - С. 5-28. DOI: [10.19047/0136-1694-2023-114-5-28](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-114-5-28)

Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. - Москва: Наука, 1987. - 143 с.

Теодорович Г.И. Аутигенные минералы осадочных пород. - Москва: Изд-во Акад. наук

СССР, 1958. - 225 с.

Baudin F., Bouton N., Wattripont A., Carrier X. Carbonates thermal decomposition kinetics and their implications in using Rock-Eval® analysis for carbonates identification and quantification // *Science and Technology for Energy Transition*. - 2023. - Vol. 78. - P. 38. DOI: [10.2516/stet/2023038](https://doi.org/10.2516/stet/2023038)

Behar F., Beaumont V., Penteado H.L.D.B. Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments // *Oil & Gas Science and Technology*. - 2001. - Vol. 56. - № 2. - P. 111-134.

Espitalié J., Laporte J.L., Madec M., Marquis F., Leplat P., Paulet J. Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution // *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. - 1977. - Vol. 32. - № 1. - P. 23-42.

Kądziołka-Gaweł M., Adamczyk Z., Łukowiec D., Klimontko J., Wojtyniak M., Nowak J. Siderite Decomposition Kinetics - Influence of Time, Temperature, and Isomorphous Impurities // *Minerals*. - 2025. - Vol. 15. - № 4. - P. 428. DOI: [10.3390/min15040428](https://doi.org/10.3390/min15040428)

Lafargue E., Marquis F., Pillot D. Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production, and soil contamination studies // *Oil & Gas Science and Technology*. - 1998. - Vol. 53. - № 4. - P. 421-437.

Ordoñez L., Vogel H., Sebag D., Ariztegui D., Adatte T., Russell J., Kallmeyer J., Vuillemin A., Friese A., Crowe S., Bauer K., Simister R., Henny C., Nomosatryo S., Bijaksana S. Empowering conventional Rock-Eval pyrolysis for organic matter characterization of the siderite-rich sediments of Lake Towuti (Indonesia) using End-Member Analysis // *Organic Geochemistry*. - 2019. - Vol. 134. - P. 32-44. DOI: [10.1016/j.orggeochem.2019.05.002](https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.05.002)

Pillot D., Deville E., Prinzhofer A. Identification and Quantification of Carbonate Species Using Rock-Eval Pyrolysis // *Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles*. - 2014. - Vol. 69. - № 2. - P. 341-349. DOI: [10.2516/ogst/2012036](https://doi.org/10.2516/ogst/2012036)

Rat'ko A.I., Ivanets A.I., Kulak A.I., Morozov E.A., Sakhar I.O. Thermal decomposition of natural dolomite // *Inorganic Materials*. - 2011. - Vol. 47. - № 12. - P. 1372-1377. DOI: [10.1134/S0020168511120156](https://doi.org/10.1134/S0020168511120156)

Rodriguez-Navarro C., Ruiz-Agudo E., Luque A., Rodriguez-Navarro A.B., Ortega-Huertas M. Thermal decomposition of calcite: Mechanisms of formation and textural evolution of CaO nanocrystals // *American Mineralogist*. - 2009. - Vol. 94. - № 4. - P. 578-593. DOI: [10.2138/am.2009.3021](https://doi.org/10.2138/am.2009.3021)

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 05.08.2025

Published 16.10.2025

Nevestenko M.A., Mozhegova S.V., Petrov A.L., Olenova K.Yu.

Aprelevka Branch of the All-Russian Scientific Research Geological Petroleum Institute, Moscow, Russia, m.nevestenko@vnigni.ru

FEATURES OF PYROLYTIC STUDIES OF MAGNESITE-BEARING ROCKS OF THE VENDIAN-CAMBRIAN STRATA OF THE LENA-TUNGUSKA PETROLEUM PROVINCE

The results of pyrolytic studies of carbonate rocks of Vendian-Cambrian strata, penetrated by parametric and exploratory wells within the eastern part of the Lena-Tunguska petroleum province, are summarized. The decomposition characteristics of various carbonate minerals and their influence on the results of pyrolytic studies using the Rock-Eval method are described. To confirm this, a correlation between geochemical and lithological (X-ray diffraction analysis) studies was conducted. New data on the distribution of magnesites in the Upper Vendian Byuk Formation are presented.

Keywords: carbonate rock, magnesite, Vendian-Cambrian strata, Rock-Eval, X-ray diffraction analysis, Lena-Tunguska petroleum province.

For citation: Nevestenko M.A., Mozhegova S.V., Petrov A.L., Olenova K.Yu. Osobennosti piroliticheskikh issledovaniy magnezitsoderzhashchikh porod vend-kembriyskogo kompleksa Leno-Tungusskoy neftegazonosnoy provintsii [Features of pyrolytic studies of magnesite-bearing rocks of the Vendian-Cambrian strata of the Lena-Tunguska petroleum province]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2025, vol. 20, no. 4, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/39_2025.html EDN: RBIKQJ

References

Baudin F., Bouton N., Wattripont A., Carrier X. Carbonates thermal decomposition kinetics and their implications in using Rock-Eval® analysis for carbonates identification and quantification. *Science and Technology for Energy Transition*, 2023, vol. 78, p. 38. DOI: [10.2516/stet/2023038](https://doi.org/10.2516/stet/2023038)

Behar F., Beaumont V., Penteadó H.L.D.B. Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments. *Oil & Gas Science and Technology*, 2001, vol. 56, no. 2, pp. 111-134.

Espitalié J., Laporte J.L., Madec M., Marquis F., Leplat P., Paulet J. Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 1977, vol. 32, no. 1, pp. 23-42.

Ivlev N.F., Pustyl'nikov A.M., Chekanov V.I. O regional'nom rasprostraneni magnezitov v otlozheniyakh solenosnoy formatsii yuga Sibirskoy platformy [Regional distribution of magnesites in salt-bearing strata in the Southern Siberian platform]. *Geologiya i geofizika*, 1985, vol. 26, no. 11, pp. 16-24. (In Russ.).

Kądziołka-Gaweł M., Adamczyk Z., Łukowiec D., Klimontko J., Wojtyniak M., Nowak J. Siderite Decomposition Kinetics - Influence of Time, Temperature, and Isomorphous Impurities. *Minerals*, 2025, vol. 15, no. 4, p. 428. DOI: [10.3390/min15040428](https://doi.org/10.3390/min15040428)

Kashapov R.S. Modelirovanie generatsii uglevodorodov i kinetiki protsessa piroliticheskoy destruktsii organicheskogo veshchestva bazhenovskoy svity [Modeling of hydrocarbon generation and kinetics of pyrolytic destruction of organic matter in the Bazhenov Formation]. *Dis. kand. geologo-min. nauk*. Novosibirsk: FGBUN INGG im. A.A. Trofimuka SO RAN, 2024, 161 p. (In Russ.).

Kogut B.M., Milanovskiy E.Yu., Khamatnurov Sh.A. O metodakh opredeleniya sodержaniya organicheskogo ugleroda v pochvakh (kriticheskiy obzor) [On methods for determining the content of organic carbon in soils (critical review)]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*, 2023, no. 114, pp. 5-28. (In Russ.). DOI: [10.19047/0136-1694-2023-114-5-28](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-114-5-28)

Lafargue E., Marquis F., Pillot D. Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration,

production, and soil contamination studies. *Oil & Gas Science and Technology*, 1998, vol. 53, no. 4, pp. 421-437.

Lopatin N.V., Emets T.P. *Piroliz v neftegazovoy geokhimii* [Pyrolysis in oil and gas geochemistry]. Moscow: Nauka, 1987, 143 p. (In Russ.).

Ordoñez L., Vogel H., Sebag D., Ariztegui D., Adatte T., Russell J., Kallmeyer J., Vuillemin A., Friese A., Crowe S., Bauer K., Simister R., Henny C., Nomosatryo S., Bijaksana S. Empowering conventional Rock-Eval pyrolysis for organic matter characterization of the siderite-rich sediments of Lake Towuti (Indonesia) using End-Member Analysis. *Organic Geochemistry*, 2019, vol. 134, pp. 32-44. DOI: [10.1016/j.orggeochem.2019.05.002](https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2019.05.002)

Pillot D., Deville E., Prinzhofer A. Identification and Quantification of Carbonate Species Using Rock-Eval Pyrolysis. *Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies Nouvelles*, 2014, vol. 69, no. 2, pp. 341-349. DOI: [10.2516/ogst/2012036](https://doi.org/10.2516/ogst/2012036)

Rat'ko A.I., Ivanets A.I., Kulak A.I., Morozov E.A., Sakhar I.O. Thermal decomposition of natural dolomite. *Inorganic Materials*, 2011, vol. 47, no. 12, pp. 1372-1377. DOI: [10.1134/S0020168511120156](https://doi.org/10.1134/S0020168511120156)

Rodriguez-Navarro C., Ruiz-Agudo E., Luque A., Rodriguez-Navarro A.B., Ortega-Huertas M. Thermal decomposition of calcite: Mechanisms of formation and textural evolution of CaO nanocrystals. *American Mineralogist*, 2009, vol. 94, no. 4, pp. 578-593. DOI: [10.2138/am.2009.3021](https://doi.org/10.2138/am.2009.3021)

Teodorovich G.I. *Autigennye mineraly osadochnykh porod* [Authigenic minerals of sedimentary rocks]. Moscow: Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1958, 225 p. (In Russ.).

Vasil'ev V.V. *Metody otsenki kachestva neftegazomaterinskikh porod: uchebnoe posobie* [Methods for assessing the quality of oil and gas source rocks]. Ukhta: Ukhtinskiy gos. tekhnicheskii un-t, 2012, 55 p. (In Russ.).