

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Краснова Елизавета Андреевна

Изотопная геохимия углерода и кислорода для решения задач поисково-разведочных работ на нефть и газ

1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2025

Диссертация подготовлена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

Научный консультант: *Ступакова Антонина Васильевна*, доктор геолого-минералогических наук, доцент

Официальные оппоненты: *Габдуллин Руслан Рустемович*, доктор геолого-минералогических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, профессор

Нурғалиев Данис Карлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», проректор по направлениям нефтегазовых технологий, природопользования и наук о Земле

Пунанова Светлана Александровна, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН, лаборатория ресурсной базы нефтегазового комплекса, главный научный сотрудник

Защита диссертации состоится «21» ноября 2025 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.8 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, ауд. А-621.

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3520>.

Автореферат разослан «__» сентября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.016.8,
кандидат геолого-минералогических наук

Е.Н. Полудеткина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В современной нефтяной геологии особую значимость приобретают изотопно-геохимические исследования, которые являются ключевым инструментом решения фундаментальных научных и прикладных задач. Изотопная геохимия в нефтяной геологии основана на изучении вариаций изотопного отношения различных элементов, что позволяет реконструировать процессы формирования и преобразования залежей углеводородов и проследить эволюцию углеводородных систем. Изучение закономерностей распределения изотопного состава углерода и кислорода в породе, в исходном органическом веществе (ОВ), в углеводородных флюидах открывает возможности для решения широкого круга задач на разных этапах геолого-разведочных работ. К ним относятся определение источников вещества и флюидодинамических связей в пределах месторождений нефти и газа, стратиграфическое расчленение разреза с выявлением зон массового захоронения углерода в осадочных породах, оценка роли флюидных процессов при термической эволюции осадочных толщ и другие задачи нефтегазовой геологии. Благодаря чувствительности изотопных маркеров углерода и кислорода к климатическим изменениям, термическим преобразованиям пород и флюидов, изотопно-геохимические исследования приобретают всё большую популярность при решении различных вопросов, связанных с генезисом природного вещества и процессов, происходящих в ходе геологической эволюции.

Развитие методик изотопных исследований и совершенствование технологической базы создали предпосылки для массового получения данных об изотопном составе лёгких элементов органических соединений. Это, в свою очередь, привело к накоплению значительного объёма информации, что требует её систематизации и обобщения для формирования современной научной базы. Такая база должна опираться не только на развитую аналитическую инфраструктуру, но и на актуальные теоретические концепции, обеспечивающие интерпретацию и применение полученных данных. Качественная интерпретация и применение изотопно-геохимических данных требует разработки критериев их применимости, а комплексное использование вместе с другими методами увеличивает достоверность создаваемых геологических моделей. Критерии применимости изотопно-геохимических методов необходимо учитывать в каждом конкретном случае при изучении органического вещества, условий и масштабов генерации-эмиграции углеводородов, взаимосвязи породы и флюидов. Комплексный подход к решению задач современной нефтяной геологии, дополненный изотопно-геохимическими

исследованиями повышает качество результатов геолого-разведочных работ на нефть и газ. Систематизация данных и обоснование изотопных маркеров, фиксирующих работу углеводородной системы, расширяет спектр решаемых задач.

Цели и задачи исследования Целью работы является систематизация и применение изотопно-геохимических данных для повышения эффективности решения прикладных задач нефтяной геологии. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. *Определить изотопно-геохимические критерии на основе изотопных отношений углерода в органическом веществе, углерода и кислорода в породах и флюидах для решения задач поиска и разведки месторождений нефти и газа.*

2. *Применить изотопные маркеры углерода и кислорода в породах для выделения реперных геологических горизонтов, пригодных для локальной и региональной корреляции разрезов осадочных бассейнов.*

3. *Использовать изотопные маркеры углерода органического вещества для определения возможных источников углеводородов и их привязки к условиям осадконакопления в разрезе осадочного бассейна.*

4. *Применить изотопные маркеры углерода флюидов для их корреляции по разрезу и площади, а также для сопоставления с возможными источниками их образования.*

5. *Использовать изотопные маркеры углерода в органическом веществе, углерода и кислорода в породах и флюидах для оценки флюидодинамических связей в пределах отдельных месторождений и степени влияния вторичных термогенных процессов на изменение изотопных характеристик в разрезе осадочного чехла.*

Фактический материал и личный вклад автора. Фактическую основу диссертации составляют данные, собранные автором в 2015–2025 гг. в рамках сотрудничества с научными и производственными организациями по комплексному изучению нефтегазоносности недр. Целью большинства работ был прогноз нефтегазоносности отдельных участков осадочных бассейнов. Изотопно-геохимический анализ применялся в комплексе методов, подтверждая результаты стандартных методов интерпретации геолого-геофизических данных. Выводы, полученные при интерпретации изотопных маркеров, проверялись на соответствие существующим геолого-геофизическим моделям и представлениям других исследователей. Образцы пород, органического вещества и флюидов для изотопно-геохимических исследований, представленных в работе, были отобраны автором лично или совместно с коллегами, с учётом критериев пригодности материала для выделения и анализа изотопных маркеров. Образцы карбонатов палеогеновых

отложений Крыма предоставлены Е.А. Лыгиной и Н.В. Правиковой (МГУ), меловых отложений Северо-Западного Кавказа — Е.В. Яковишиной и С.И. Бордуновым (МГУ), кембрийских отложений Сибирской платформы — В.Э. Павловым (ИФЗ РАН). Образцы газов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения были предоставлены В.С. Якушевым и Н.Р. Аветовым (Губкинский университет), черноморских мелководных метановых сипов – Малаховой Т.В., Будниковым А.А., Ивановой И.Н. и Мурашовой А.И., отобранные в рамках проекта РФФ № 23-27-00379.

На всех этапах комплексных исследований автор выступал как организатор, руководитель и непосредственный исполнитель изотопно-геохимических работ, осуществлял интерпретацию данных, адаптацию существующих методик к геологическим моделям и формулировал выводы. Конкретные объекты исследования приведены в соответствующих главах. В результате проанализировано более 2000 образцов пород, органического вещества и флюидов из различных регионов России и зарубежных стран. Автором сформированы коллекции изотопных маркеров по разным осадочным бассейнам и комплексам, отличающимся геологическими условиями формирования.

Научная новизна. Предложенный в работе подход к оценке критериев применимости изотопных маркеров углерода и кислорода для подтверждения результатов поисково-разведочных работ на нефть и газ позволил продемонстрировать высокую эффективность изотопного анализа стабильных элементов в органическом веществе и породах углеводородных систем в качестве индикатора геологических событий и процессов формирования скоплений нефти и газа.

Впервые на основе изотопных маркеров кислорода и углерода уточнена стратификация отдельных разрезов на территории Крыма, Северо-Западного Кавказа и Восточной Сибири и зафиксированы интервалы, соответствующие глобальным событиям планетарного масштаба и резким климатическим изменениям в геологическом прошлом.

Новым положением является связь изотопного состава отдельных фракций органического вещества с генетическими типами отложений, что было продемонстрировано на примере верхнеюрских отложений Западной Сибири и Баренцева моря. Сходство изотопно-фракционных групп в различных регионах свидетельствует о схожести обстановок их осадконакопления.

Впервые для диагностики природы газов была отработана методика отбора материала, пригодного для изотопного анализа, что позволило достоверно определять источники газопроявлений как на поверхности, так и в скважинах.

Защищаемые положения:

1. Изотопные маркеры углерода и кислорода являются индикаторами геологических событий и процессов формирования скоплений нефти и газа; критерии их взаимоотношения используются для анализа геологических процессов и флюидодинамических связей как в разрезе осадочного чехла, так и на уровне отдельных месторождений, выступая дополнительным методом, подтверждающим результаты геолого-геофизических и геохимических исследований.

2. Резкие изменения изотопных маркеров кислорода и углерода в карбонатных отложениях сеноман-туронского и эоценового возраста Крыма, турон-коньякских отложениях Северо-Западного Кавказа, а также в верхнекембрийских отложениях Сибирской платформы фиксируют положение интервалов разреза, соответствующих периодам изменения палеогеографических обстановок осадконакопления, климатическим изменениям и времени проявления глобальных событий планетарного масштаба.

3. Изотопно-фракционный состав углерода битумоидов органического вещества в юрских отложениях Западно-Сибирского бассейна служит индикатором условий осадконакопления. Последовательная смена генетических типов отложений, формировавшихся в аллювиально-озёрных, мелководных и глубоководных морских условиях, фиксируется в соответствующем обогащении лёгким изотопом углерода ^{12}C органического вещества. Связь изотопно-фракционного состава углерода битумоидов с генетическими типами отложений, прослеженная в верхнеюрских отложениях Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов, подтверждает сходство обстановок осадконакопления в этих регионах в соответствующие геологические периоды.

4. Использование изотопных маркеров углерода газов позволяет установить их природу и проследить связь газовых флюидов из различных горизонтов осадочного чехла. Изотопные характеристики газов, полученных из бухты Ласпи Чёрного моря, указывают на их термогенное происхождение и миграцию к поверхности из более глубоких горизонтов. Для залежей Ямбургского месторождения изотопный состав газов свидетельствует о трёх источниках генерации: сеноманском, валанжинском и микробальном приповерхностном. Изотопный состав газов баженковского горизонта Салымского мегавала соответствует газам, сгенерированным баженковской

нефтегазоматеринской толщей, а также газам, мигрировавшим из более глубоких комплексов.

5. Изотопно-геохимическая характеристика образцов пород и флюидов на месторождении Красноленинского свода подтверждает флюидодинамическую связь углеводородов в отдельных залежах викуловской свиты и доюрского комплекса с органическим веществом баженовской свиты, а также свидетельствует о термическом преобразовании исходного органического вещества.

Практическая значимость. Практическое применение изотопно-геохимических исследований состава изотопов углерода и кислорода породы, органического вещества и флюидов позволяет существенно расширить комплексный анализ процессов нефте- и газообразования, а также функционирования всех элементов углеводородной системы. Аномалии изотопного состава лёгких элементов служат надёжными маркерами для фиксации реперных стратиграфических границ, используемых при корреляции геологических разрезов, отслеживании смены обстановок осадконакопления и выделении различных генетических групп отложений. Изотопные маркеры различных типов флюидов и органического вещества из разных нефтегазоносных комплексов являются достоверным критерием для построения флюидодинамических моделей различного масштаба. Выявленные закономерности изотопных характеристик органического вещества верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского осадочных бассейнов имеют ключевое значение для понимания процессов нефтегазообразования и способствуют оценке нефтегазоносного потенциала изучаемых регионов. Полученные автором изотопно-геохимические показатели уточняют и дополняют существующие модели условий и масштабов генерации углеводородов на исследуемой территории, что позволяет более точно оценивать перспективы нефтегазоносности.

Материалы и результаты работы используются в учебном процессе и включены в программы курсов «Фракционирование лёгких стабильных изотопов в геологии и геохимии», «Нетрадиционные источники углеводородов», «Микроэлементы нефтей, сланцев и углей осадочных бассейнов», «Бассейновый анализ при поисках углеводородов», «Геохимия горючих ископаемых (доп. главы)» для студентов бакалавриата и магистратуры геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

Достоверность разработанных критериев и полученных результатов была подтверждена в ходе комплексных научно-исследовательских работ, где изотопно-геохимические методы выступали дополнительным инструментом для верификации выводов, полученных другими методами. Впервые апробирована методика

использования изотопных критериев для уточнения флюидодинамической модели залежей на Каменном месторождении Краснотеннинского свода, где по изотопному составу углерода органического вещества, воды и углеводородов установлена гидродинамическая связь залежей в различных горизонтах осадочного чехла. Полученные выводы об источнике углеводородов и возможных путях их миграции вдоль основного разлома, секущего весь комплекс осадочных пород, были подтверждены литолого-геохимическими и геолого-геофизическими методами. Результаты хемотратиграфических исследований ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) на примере карбонатных разрезов подтверждались палеонтологическими, литолого-геохимическими методами, результатами U-Pb-датирования детритовых цирконов и корреляцией с палеомагнитными исследованиями. Результаты, полученные с использованием маркеров изотопного состава углерода органических соединений, были верифицированы с помощью дополнительных геохимических методов (биомаркерного анализа, пиролитических исследований и другие).

Достоверность изотопно-геохимических исследований обеспечивается формированием представительной коллекции фактического материала, использованием современного оборудования для масс-спектрометрии лёгких газообразующих элементов и аттестацией по международным стандартам. Надёжность полученных результатов подтверждается их хорошей корреляцией с данными, полученными независимыми методами. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых изданиях.

Апробация результатов и публикации. По теме диссертации опубликовано 29 научных работ, включая главы в трёх коллективных монографиях и 25 статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных WoS, Scopus, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ. Основные результаты исследований докладывались на всероссийских и международных конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 243 страницах и состоит из введения, шести глав и заключения. В работе представлен 81 рисунок, 8 таблиц, библиографический список включает 461 источник, из которых 289 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность, сформулированы цели и задачи исследования, представлены фактический материал и личный вклад автора,

отражены научная новизна, положения, выносимые на защиту, практическая значимость, степень достоверности и апробация результатов.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ

Изотопная геохимия в настоящее время становится неотъемлемой частью современных геолого-геохимических исследований, позволяя решать задачи разных этапов ГРР от стратиграфической корреляции разрезов на региональном этапе изучения бассейна, до генетической типизации углеводородов и реконструкции флюидодинамических систем на этапах поиска и разведки месторождений нефти и газа (Рис. 1).



Рис. 1. Основные направления использования изотопных маркеров для решения задач в нефтегазовой геологии.

Изотопный анализ отношений органического и карбонатного углерода с кислородом ($\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$) используется как эффективный инструмент для стратиграфических исследований. С помощью изотопных маркеров выделяются и прослеживаются реперные уровни, которые служат основой для создания структурных карт. Изотопные маркеры $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$ эффективны для внутри- и межконтинентальных корреляций разновозрастных отложений, особенно если бедна их фаунистическая характеристика. Перспективным направлением является корреляция разрезов по изотопным маркерам в высокоуглеродистых формациях (Schlander S. и др., 1976; Юдович Я.Э. и др., 1988; Dickens G. et al., 1995; Hayes J. et al., 1999).

Комплексный изотопно-геохимический анализ активно используется для генетической типизации органического вещества, что позволяет устанавливать связь с условиями диа- и катагенеза, возрастом отложений и миграционными процессами углеводородов (УВ) (Silverman S. et al., 1958; Bokhovenly C. et al., 1966; Катченков С.М., 1970; Stahl W.J., 1977; Schoell M., 1983; Sofer Z., 1984; Галимов Э.М., 1986; Clayton C., 1991; Sofer Z., 1991; Whiticar M., 1994a; Mansuy L. et al., 1997; Whiticar M., 1999a; Odden W. et al., 2002; Galimov E.M., 2006; Melezhik V.A. et al., 2007; Philp R.P. et al., 2012 и другие). Большой вклад в изучение изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ нефтей и ОВ Западной Сибири внесла научная школа А.Э. Конторовича, демонстрируя широкие вариации состава и свойств органического вещества и связь с фациально-генетической обстановкой (Конторович А.Э., Богородская Л.И., Гольшев С.И., 1985; Конторович А.Э. и др., 1986). Прорывом в этой области стал переход к изотопно-фракционному анализу, который, в отличие от анализа валового ОВ, обеспечивает более надежную генетическую диагностику отложений и флюидов, позволяя выявлять процессы смешения, степень зрелости материнского ОВ и отслеживать признаки миграционных процессов (Галимов Э.М., 1973а, 1981; Кодина Л.А. и др., 1984; Галимов Э.М., 1986; Matsumoto R. et al., 2011). Кроме того, изотопный состав углерода является чувствительным индикатором постседиментационных преобразований, таких как биodeградация, термическое преобразование и окисление (Галимов Э.М., 1981, 1986). Взаимодействие флюидов с породами приводит к характерным изменениям изотопного состава как углеводородов, так и аутигенных минералов, что позволяет оценивать температурные режимы этих процессов (Lister C., 1972; Wheat C. и др., 2004; Beinlich A. et al., 2020). Взаимосвязь характеристик породы, органического вещества и флюида позволяет изучать их генетические связи между собой (Franks S. et al., 2001; Dias R. et al., 2002; Tosqué E. et al., 2005). Анализ изотопного состава УВ, наряду с их другими геохимическими характеристиками позволяет прогнозировать связи между разновозрастными комплексами и оценивать перераспределение углеводородов при многоэтапном формировании залежей, в том числе по разломам.

Созданный в мировой практике задел исследования изотопных маркеров пород, ОВ и флюидов позволяет использовать их для решения задач поиска и разведки месторождений нефти и газа. Изучение особенностей вариаций изотопных маркеров в зависимости от генезиса вещества и его последующем преобразовании расширяет возможности применения изотопно-геохимических исследований в нефтяной геологии.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА АНАЛИЗА ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА.

Изотопные маркеры являются индикаторами геологических событий и процессов, протекающих при формировании нефти и газа. В связи с этим, важной составляющей изотопно-геохимических исследований является определение критериев изотопных маркеров, определяющих сохранность первичного материала и генетическую принадлежность изучаемого вещества.

Методика. Определение изотопных маркеров осуществлялось с учётом стандартных методик, не приводящих к фракционированию, а критерии выбора образцов зависели от цели исследования и в каждом конкретном случае прорабатывались индивидуально (Галимов Э.М., 1986; Torres M. et al., 2005; Yang L. et al., 2012).

Отбор карбонатных образцов для изотопно-хемостратиграфического анализа осуществлялся с интервалом 0,5–1 метр в разрезах, предварительно датированных биостратиграфическими методами. Изотопные исследования органического вещества проводились на основе комплексного анализа нефтей и битумоидов, экстрагированных из кернавого материала потенциально нефтематеринских пород.

В работе предложена новая методика отбора газа из закрытых кернавых туб (Рис. 2) для исследования изотопного состава углерода углеводородных компонентов. Данный подход позволяет проводить корреляцию изотопного и компонентного состава газа с литологическими характеристиками разреза, что существенно повышает детальность интерпретации. Отсутствие следов контаминации определялось по однородности изотопного состава по всей длине тубы.

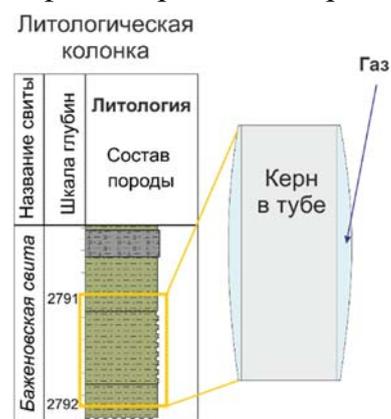


Рис. 2. Методика отбора проб газа из закрытых туб с керном

Критерии достоверности. Для обеспечения достоверности полученных результатов была применена многоуровневая система отбраковки образцов, учитывающая возможное влияние вторичных процессов на изотопный состав углерода. При стратификации разреза эффективность изотопно-геохимических исследований напрямую зависит от сохранности первичного материала и комплексной интеграции анализа результатов с литологическими, биостратиграфическими и магнитостратиграфическими данными (Рис. 3).

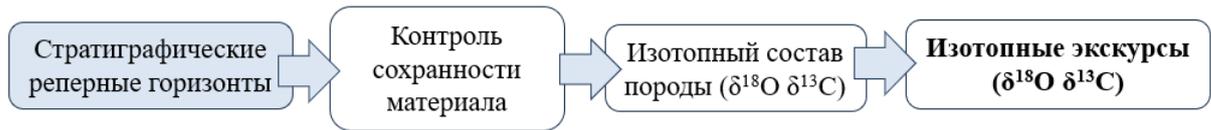


Рис. 3. Схема методического подхода анализа изотопных маркеров для стратификации разреза.

Контроль степени сохранности первичного карбонатного материала осуществлялся в разрезе по сохранности раковин фораминифер, отсутствию фоновых вариаций изотопных составов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$; анализу взаимосвязей химического состава пород (по данным РФА/XRF), а также сопоставлению изотопного состава кислорода с реконструированными значениями морской воды соответствующего интервала. Интерпретация полученных данных основывалась на анализе изотопных экскурсов, отражающих колебания концентрации углекислоты в системе «литосфера–атмосфера–гидросфера».

Для генетической типизации *ОВ* анализировался битумоид, разделённый на аналитические группы по полярности (Рис. 4).



Рис. 4. Схема методического подхода использования изотопных маркеров для анализа трансгрессивных-регрессивной цикличности строения разреза.

Достоверность результатов обеспечивалась строгим контролем сохранности органического вещества, который включал: контроль генетического единства (высокая корреляция $\delta^{13}\text{C}$ смол и асфальтенов ($>0,7$)), обогащение ароматической фракции тяжёлым изотопом относительно насыщенной, а также минимальное различие (до 1‰) в $\delta^{13}\text{C}$ между гексановым и хлороформным экстрактами, что исключало влияние миграционных флюидов (Галимов Э.М., 1986).

Для построения флюидодинамических моделей в работе предложена и апробирована комплексная методика из пяти последовательных этапов (Рис. 5). Полученные на всех этапах изотопные характеристики верифицировались независимыми геохимическими параметрами (биомаркерный анализ, макро- и микроэлементный состав, РЗЭ, литолого-геохимические данные, анализ флюидных включений и другие методы). На первых двух этапах определялась индивидуальная характеристика компонентов системы: проводился изотопно-фракционный анализ битумоидов и углеводородов для типизации исходного органического вещества и

диагностики вторичных преобразований. На третьем этапе определялись изотопный ($\delta^{18}\text{O}$, DH) и химический состав воды для типизации флюидов по их генезису и степени вторичной преобразованности. Оценка флюидодинамической связанности осуществлялась на основе комплексного анализа всех флюидов (УВ, ОВ и воды). Температурные режимы оценивались с использованием геотермометров. Финальным этапом являлся синтез всех полученных данных (генезис, связанность, температуры, вторичные процессы) в единую флюидодинамическую модель, объясняющую текущее распределение флюидов и прогнозирующую их поведение при разработке.

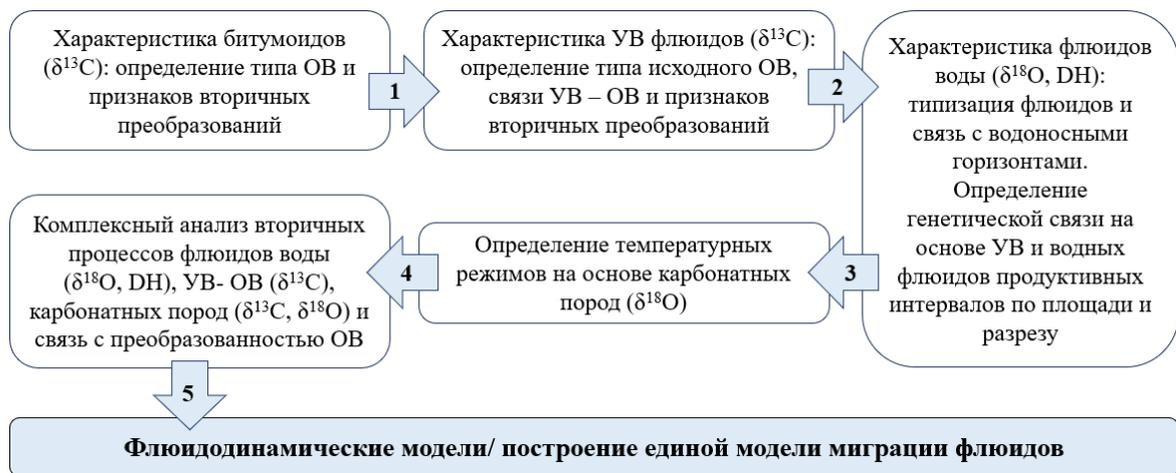


Рис. 5. Флюидодинамические реконструкции. Методические подходы.

Использование изотопных маркеров для решения задач на разных этапах ГРП

Изотопные исследования органического вещества, пород и флюидов широко применяются для оценки нефтегазоносности, типизации ОВ и миграции УВ. В работе предлагается расширить их использование в геологоразведке, что позволит повысить детальность и достоверность получаемых результатов.

На *региональном этапе ГРП*, основной целью которого является оценка геологического строения и нефтегазоносности осадочных бассейнов, изотопный анализ может быть применен как инструмент высокдетальной хемотратиграфической корреляции опорных разрезов.

На *поисково-оценочном этапе ГРП*, направленном на обнаружение новых залежей УВ, изотопные исследования органического вещества и флюида в совокупности с другими геохимическими исследованиями широко используются для определения и типизации НМТ, состава и свойств ОВ и миграции УВ флюидов. Изотопные маркеры легких элементов отражают генетический тип органического вещества и, как следствие, палеогеографические условия его накопления, что

позволяет косвенно судить о фациальной принадлежности отложений и выделять трансгрессивно-регрессивных циклы осадконакопления.

На *разведочном этапе ГРП*, основной задачей которого является детальное изучение месторождений для оптимизации их разработки, ключевую роль играет интеграция всех геологических данных в единую флюидодинамическую модель.

В главе были представлены методические подходы к проведению изотопно-геохимического анализа различных типов геологических образцов, используемых в нефтегазовой геологии, включая новую методику отбора газа из керновых туб. Продемонстрировано расширенное применение изотопных маркеров на всех этапах геологоразведочных работ. Показано, что комплексное использование изотопных данных (по породе, ОВ, флюидам) в интеграции с другими методами позволяет решать задачи стратификации, анализа цикличности, типизации источников и флюидов, оценки миграции и построения флюидодинамических моделей, повышая детальность и надежность прогнозов.

ГЛАВА 3. ИЗОТОПНЫЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ СТРАТИФИКАЦИИ РАЗРЕЗОВ

В работе изотопные маркеры ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) использовались для реконструкции палеотемператур, солёности и биопродуктивности, что позволило выявить и проанализировать глобальные климатические изменения в геологическом прошлом. Применение современных методов изотопного анализа, в частности масс-спектрометрии изотопных отношений (IRMS), обеспечило высокую точность измерений (до $\pm 0,1\%$ для $\delta^{13}\text{C}$ и $\pm 0,2\%$ для $\delta^{18}\text{O}$) и позволило достоверно зафиксировать даже незначительные изотопные экскурсы, связанные с ключевыми климатическими событиями.

Механизмы формирования изотопных экскурсов в фанерозое различны, что обуславливает необходимость индивидуального подхода к их анализу для каждой геологической эпохи.

Изотопная запись углерода в палеозое отражает сложную динамику глобального углеродного цикла, характеризующуюся чередованием периодов относительной стабильности и выраженных изотопных экскурсов. К числу наиболее значимых относятся положительный кембрийский экскурс в карбонатных разрезах SPICE (Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion, ~495 млн лет, до $\delta^{13}\text{C} +5\%$), обусловленный усиленным захоронением изотопно-легкого органического углерода в осадках и обогащению морской воды тяжелым изотопом, и отрицательный экскурс TOCE (Top of Cambrian carbon isotope Excursion, Event), связанный со снижением

биоразнообразия вследствие массовых вымираний (Miller J. et al., 2006, 2014; Landing E. et al., 2011; Ripperdan R., 2002; Chen X. et al., 2023). Эти аномалии имеют планетарное распространение, что позволяет коррелировать их с региональными и глобальными стратиграфическими рубежами и магнитостратиграфическими реперами (Pavlov et al., 2022).

В работе продемонстрировано использование изотопных маркеров на примере опорного разреза верхнекембрийских отложений р. Малой Чуи юга Сибирской платформы. Возраст разреза подтвержден редкими находками фауны (трилобиты, конодонты), результатами U-Pb-датирования детритовых цирконов и корреляцией с палеомагнитными исследованиями (Pavlov V.E. et al., 2024; Gladkochub D.P. et al., 2022; Буякайте М.И. и др., 2019; Yadrenkina A.G. et al., 2010). На примере 192 образцов были выполнены детальные хемотратиграфические ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) и магнитостратиграфические исследования «образец в образец». Полученные результаты (Рис. 6) демонстрируют два выраженных изотопных экскурса: первый (широкий положительный) фиксируется в основании разреза со значениями $\delta^{13}\text{C}$ до +2,9‰, VPDB, и второй, достигающий минимума $-2,3\text{‰}$, VPDB, формирует выраженный отрицательный экскурс на границе ильгинской и устькутской свит.

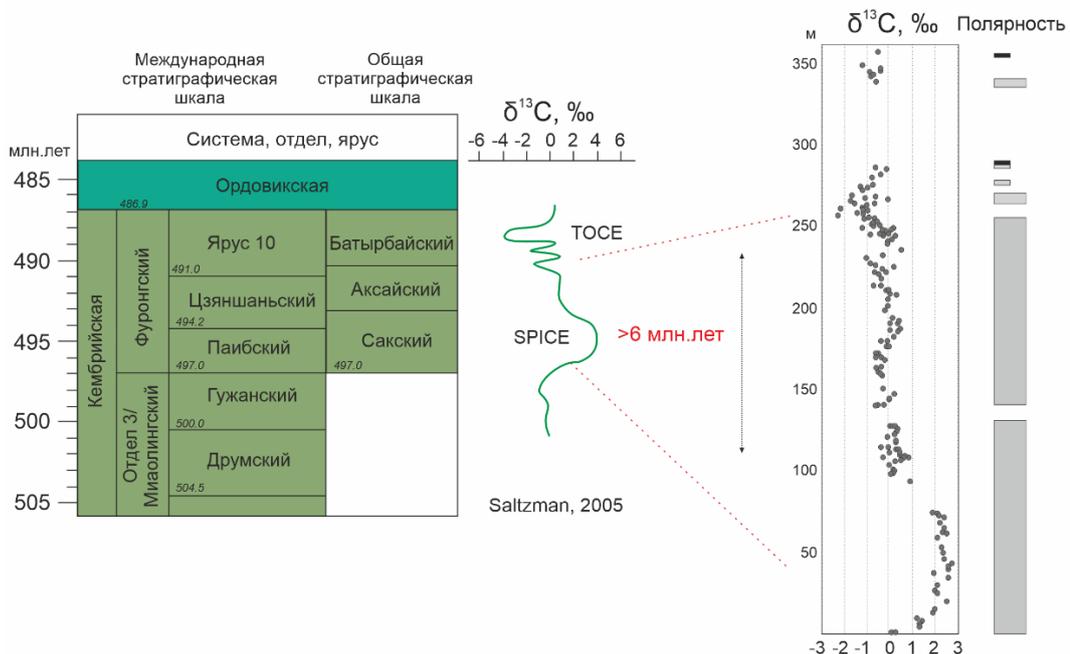


Рис. 6. Результаты изотопного анализа кислорода кембрийских отложений разреза правого берега р. Малая Чуя (Pavlov V.E. et al., 2024). Мощность разреза указана в метрах. Международная хроностратиграфическая шкала, и общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала (Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий, 2019; Gradstein F. et al., 2020).

Анализ изотопных маркеров $\delta^{13}\text{C}$, палеомагнитных данных и сопоставление с глобальными изменениями $\delta^{13}\text{C}$ позволили подтвердить и детализировать записи геохимических аномалий SPICE и TOCE (Буякайте М.И. и др., 2019; Gradstein F. et al., 2020; Pavlov V.E. et al., 2024). Более того, результаты вариаций $\delta^{13}\text{C}$ позволили уточнить возрастной диапазон формирования изученного разреза: от ~497–496 до ~490 млн лет назад, что свидетельствует о продолжительности накопления не менее 6 миллионов лет.

Изотопная запись углерода в мезо-кайнозойское время характеризуется выраженными экскурсами, тесно связанными с океаническими аноксическими событиями (ОАЕ) и биосферными кризисами. Одно из подобных событий (ОАЕ-2) прослеживается в верхнесеноман-нижнетуронских отложениях, характеризующееся высокими концентрациями органического углерода (ТОС = от 1–2 до 20%) и положительным экскурсом изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$) (Scholle P. et al., 1980; Arthur M. et al., 1987, 1988).

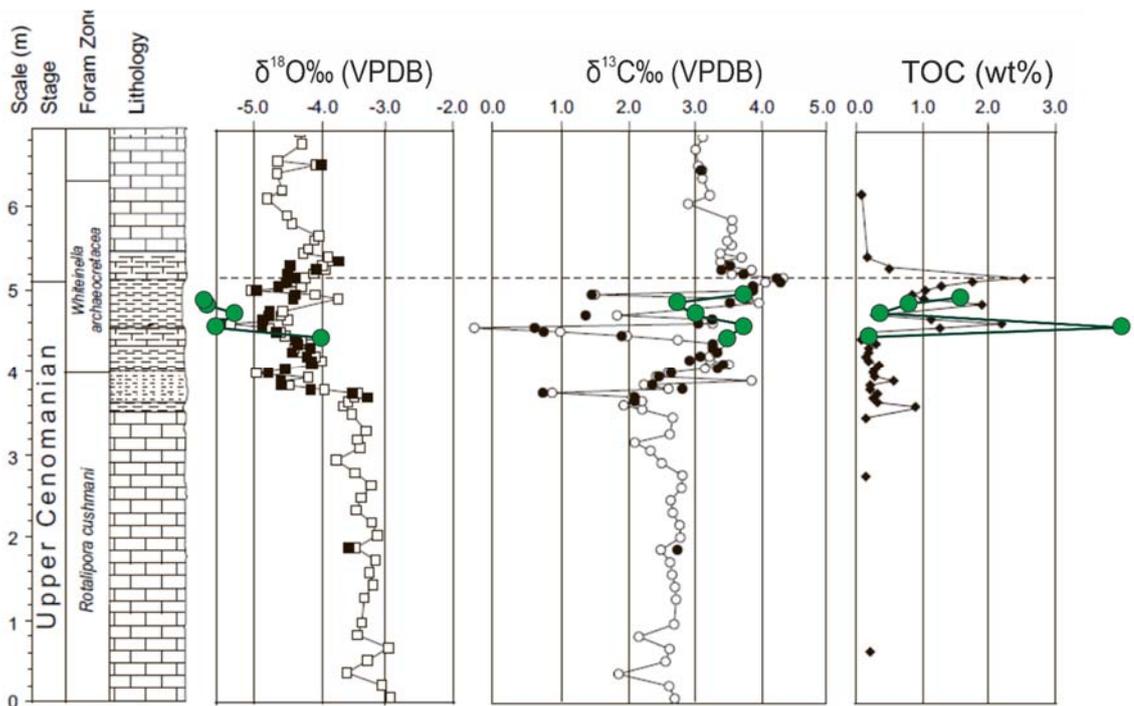


Рис. 7. Сравнительная характеристика изотопных отношений углерода и кислорода и содержания органического вещества сеноман-туронских отложений в изученном разрезе (зеленый маркер) и данных Крымских разрезов (черный и белый маркеры) (Fisher J. et al., 2005) по (Латыпова М.Р. и др., 2019b, 2020 с дополнениями).

Пример идентификации подобной границы выполнен на основе изотопно-геохимических исследований разреза по реке Биюк-Карасу в Центральном Крыму, что позволило подтвердить его приуроченность к глобальному аноксическому

событию ОАЕ-2. Стратификация разреза осуществлялась с использованием комплекса фораминифер и детальной литолого-геохимической характеристики отложений (Латыпова М.Р. и др., 2019а).

В результате комплексного анализа были выделены пять типов прослоев, среди которых прослой 1 и 4 отличались наиболее тёмной окраской, полным исчезновением фораминифер рода *Rotalipora*, повышенными значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ (+4‰, VPDB), пониженными значениями $\delta^{18}\text{O}_{\text{CaCO}_3}$ (-7‰, VPDB) и высоким содержанием органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}} = 4,14$ мас.%). Полученные значения изотопного состава углерода и кислорода сопоставимы с ранее опубликованными данными по разрезам Горного Крыма и Восточного Кавказа (Рис. 7) и характерны для отложений, сформировавшихся в бескислородной обстановке во время океанического аноксического события ОАЕ-2 (Найдин Д.П. и др., 1994; Fisher J. et al., 2005).

В течение всего фанерозоя глобальные климатические флуктуации, как правило, сопровождались положительными изотопными экскурсами в периоды оледенения и отрицательными — в периоды потепления (Brenchley P.J. et al., 1994; Marshall J.D. et al., 1997). Перестройки океанической циркуляции оказывали влияние на распределение кислорода и питательных веществ, что отражалось на продуктивности и захоронении органического углерода (Saltzman M.R. et al., 2005; Bergström S.M. et al., 2006, 2009, 2010). Например, на основе данных изотопного состава кислорода $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов документально зафиксированы несколько значительных похолоданий в позднем туроне и существование ледников (Bornemann A. et al., 2008; Miller K. et al., 2005; Voigt S. et al., 2004; Stoll H. et al., 2000). Этот интервал подробно изучен на территории Восточно-Европейской платформы и в Крыму, а также представлен ограниченным количеством данных по Большому Кавказу (Гаврилов Ю.О. и др., 2009; Kopaevich L.F. et al., 2016; Vishnevskaya V.S. et al., 2019; Zakharov Y.D. et al., 2018, 2020).

Продемонстрировано поведение изотопных маркеров в позднегуронское-раннеконьякское время в ходе колебания климата. Впервые проведены детальные реконструкции условий осадконакопления на основе комплексных литологических, биостратиграфических и хемотратиграфических исследований отложений натухайской свиты ($\text{K}_{2\text{nt}}$) Северо-Западного Кавказа (разрез Шапсугского карьера). Анализ 22 образцов из 80-метровой толщи позволил выделить четыре изотопные зоны, которые были успешно сопоставлены с известными глобальными событиями, зафиксированными в европейских разрезах (Рис. 8, (Jenkyns H. et al., 1994; Gale A., 1996; Voigt S. et al., 1997; Wiese F., 1999; Jarvis I. et al., 2006; Walaszczyk I. et al., 2010).

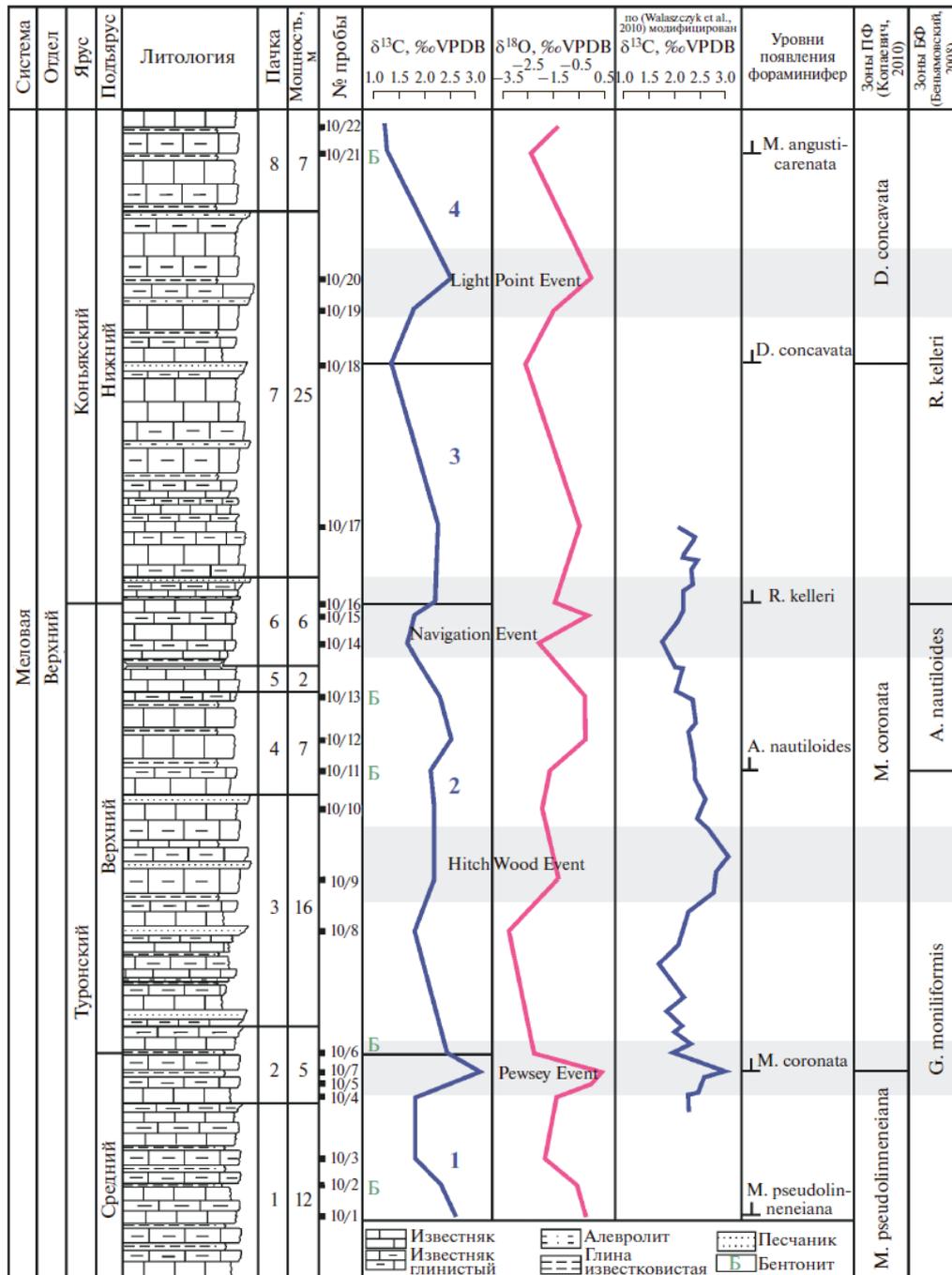


Рис. 8. Изотопные отношения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. На кривой $\delta^{13}\text{C}$ выделены изотопные зоны 1–4 (Яковичина Е.В. и др., 2022). Приведены названия изотопных событий, установленных в западно-европейских разрезах: Pewsey Event, Hitchwood (Hyrphantoceras) Event, Navigation Event, Light Point Event. Б – прослои бентонитовых глин. Пояснения указаны в тексте.

В разрезе были выделены четыре зоны по изотопным характеристикам: Зона 1 (верх среднего турона): фиксирует максимум $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$ до 3‰, VPDB), коррелируемый с событием Pewsey Event. Зона 2 (верхний турон): включает два ключевых маркера — Hitch Wood Event в основании ($\delta^{13}\text{C}$ до 2,3‰, VPDB) и

Navigation Event ($\delta^{13}\text{C}$ до 1,5‰, VPDB), который отмечает границу туронского и коньякского ярусов. *Зона 3* (нижний коньяк): характеризуется стабильно повышенным фоном значений $\delta^{13}\text{C}$. *Зона 4* (нижний коньяк): содержит максимум $\delta^{13}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$ до 2,5‰, VPDB), сопоставимый с событием Light Point Event. В изученном разрезе наблюдается так же чёткая корреляция изотопного отношения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ с уменьшением палеотемператур, что связано с повышением биопродуктивности в бассейне на фоне пониженных температур (Галимов Э.М., 1986).

Таким образом, комплексный подход позволил не только подтвердить стратиграфические границы (средний/верхний турон, турон/коньяк), но и реконструировать палеоклиматические изменения, сопоставив с рядом изотопных событий, установленных в разрезах Западной и Восточной Европы соответствующего возраста.

С позднего палеоцена (~58 млн лет назад) до раннего эоцена (~50 млн лет назад) на поверхности Земли наблюдалась выраженная тенденция к потеплению, достигшая максимума в течение раннеэоценового климатического оптимума (ЕЕСО, около 2 млн лет) (Vijl P. et al., 2009; Westerhold T., 2009; Zachos J. et al., 2007b, 2001). В этот период происходил ряд кратковременных событий глобального потепления (гипертермальных), сопровождавшихся выбросом обеднённого лёгким изотопом углерода ^{12}C в круговороте океан-атмосфера (Lourens L. et al., 2005; Zachos J. et al., 2005; Nicolo M. et al., 2007; Kirtland Turner S. et al., 2013; Littler K. et al., 2014). Эти события фиксируются в морских и континентальных отложениях раннего палеогена как негативные экскурсы по $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$.

В это же время в истории Крыма происходило общее прогибание территории и формирование пострифтового осадочного чехла в пределах мелководного шельфового бассейна (Никишин А.М. и др., 2006; Nikishin A.M. et al., 2015). На фоне основной фазы складчатости в Понтидах (северо-восток Турции) на территории Предгорного Крыма отмечаются предэоценовое угловое несогласие и периоды активизации тектонических движений (Ч Г.С.С.С.Р.К., 1969; Горбач Л.П., 1972; Горбач Л.П. и др., 1982; Воронина А.А., 1989; Никишин А.М. и др., 2006; Лыгина Е.А., 2009; Закревская Е.Ю., 2011; Nikishin A.M. et al., 2014).

Проведенные в настоящей работе комплексные литологические, биостратиграфические и изотопно-геохимические исследования пограничных мел-эоценовых отложений г. Ак-Кая (Центральный Крым) показали, что формирование базального горизонта эоцена приурочено к раннеэоценовому климатическому оптимуму и совпадало с фазой региональной тектонической активности и палеосейсмических событий в Понтидах. Анализ коллекции образцов мергелей

маастрихтского возраста (слои 1 и 2) и нуммулитовых известняков ипрского яруса (слои 3 и 4), залегающих с несогласием (Рис. 9), выявил различие в условиях их формирования: маастрихтовые породы формировались при температурах 19–22 °С, а эоценовые — при повышенных температурах до 33 °С, по данным пересчёта $\delta^{18}\text{O}$ (Бадулина Н.В. и др., 2016; Лыгина Е.А. и др., 2019, 2022).

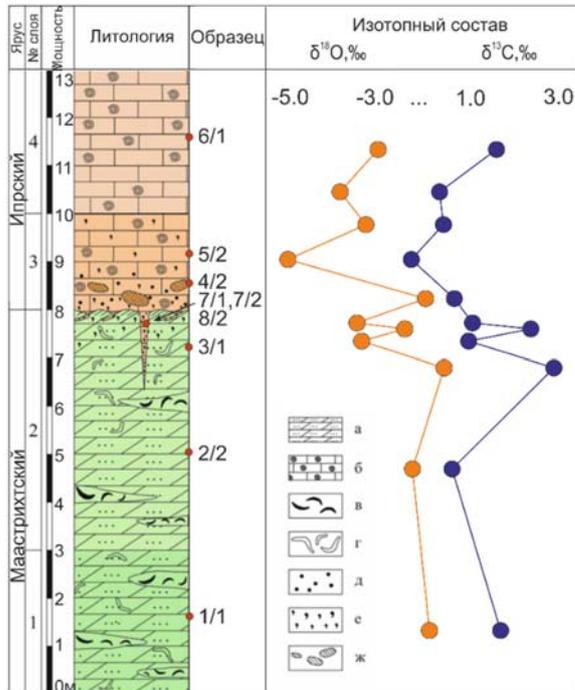


Рис. 9. Разрез пограничных мел-эоценовых отложений г. Ак-Кая со схемой отбора образцов и выполненных исследований (Лыгина Е.А. и др., 2022). Условные обозначения: а – мергели алевритистые; б – известняки нуммулитовые; в – скопления раковинного детрита; г – ходы роющих организмов; д – конкреции фосфорита; е – конкреции глауконита; ж – обломки кровли пород твердого дна.

Кровля маастрихтских пород нарушена системой трещин, заполненных материалом, по изотопному составу ($\delta^{18}\text{O}$) и соотношению Mg/Ca идентичному эоценовым отложениям (образцы 6/1, 7/1, 8/2). Отсутствие доломитизации и других магниезальных минералов исключает влияние вторичных процессов, что позволяет интерпретировать повышенное соотношение Mg/Ca как отражение условий осадконакопления, аналогичных эоценовым отложениям. Схожие результаты получены при изучении разреза ипрских известняков горы Сувлу-Кая (Бахчисарайский район, юго-западный Крым), также приуроченного к ЕЕСО. Здесь средние температуры осадконакопления составили 31 °С (28–33 °С), что согласуется с глобальными реконструкциями (Evans D. et al., 2018).

Палеогеновый разрез в окрестностях Бахчисарая является опорным для Европейской палеобиогеографической области (ЕПО) и важен для межрегиональных корреляций и построения стратиграфических шкал Тетиса (Коробков Н.А. и др., 1964; Закревская Е.Ю., 1993, 2005; King C. et al., 2018). В работе (Лыгина Е.А. и др., 2023) рассмотрена структура ниже- и вышеипрских отложений (верх бахчисарайского и нижняя часть симферопольского регионарус), на основе микрофациального анализа выделены три этапа ипрской трансгрессии с

последующей регрессией. Разрез мощностью 18 м охарактеризован по литологическому и минеральному составу, выделено пять слоёв: 1–4 относятся к бахчисарайскому, 5 — к симферопольскому региоярусу (Рис. 10).

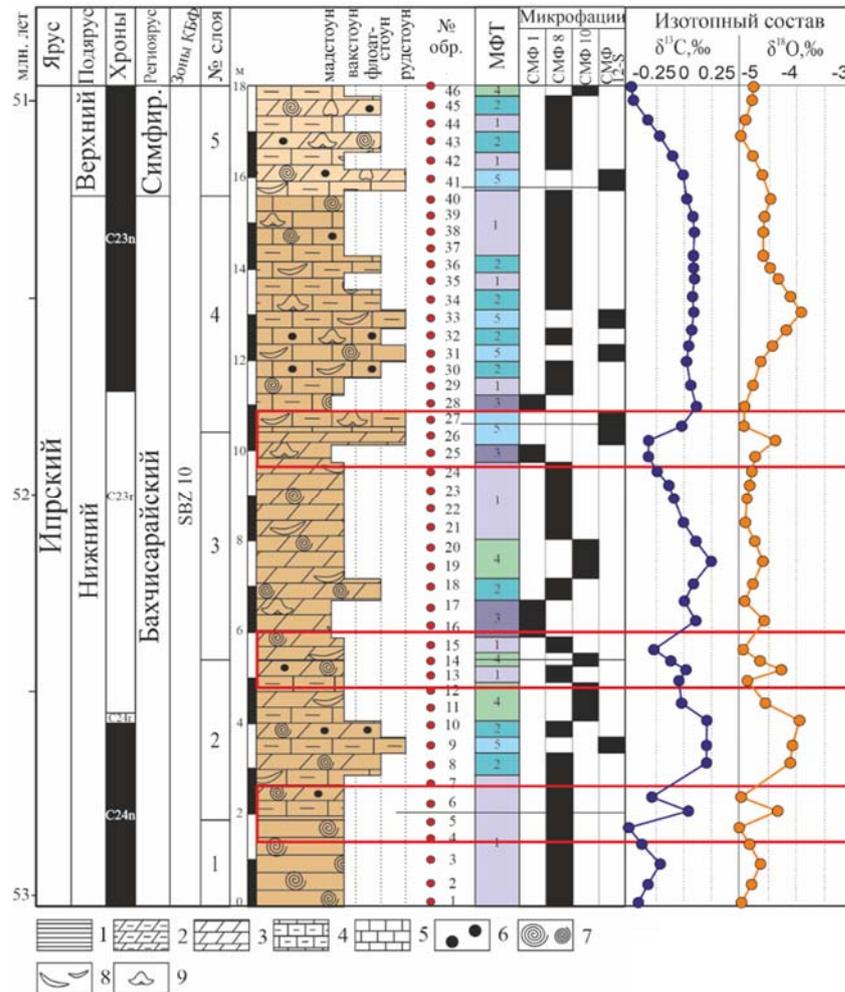


Рис. 10. Результаты изотопного анализа углерода и кислорода ипрских отложений (симферопольского и бахчисарайского региояруса) разреза г. Сувлук-Кая (Лыгина Е.А. и др., 2023 с дополнениями). Условные обозначения: 1 – глина, 2 – глинистый мергель, 3 – мергель, 4 – глинистый известняк, 5 – известняк, 6 – пиритовые конкреции, 7 – нуммулиты, 8 – двустворки, 9 – брахиоподы.

Проведённый комплексный изотопно-геохимический анализ позволил детализировать палеогеографические и климатические условия осадконакопления в карбонатных разрезах Крыма, уточнив этапы трансгрессий/регрессий позднего ипра эоцена и возраст базального эоценового горизонта, синхронного с палеосейсмическим событием. Подтверждено проявление ряда глобальных геохимических событий (ЕЕОС, ОАЕ-2, границы Турон/Коньяк, среднего/верхнего Турона, SPICE, TOCE) в изученных стратиграфических интервалах Крыма, Северо-Западного Кавказа и Восточной Сибири.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА БИТУМОИДОВ КАК ИНДИКАТОРА УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Изотопно-фракционный состав углерода битумоидов органического вещества служит индикатором условий захоронения, отражая изменения генезиса, состава и свойств органического вещества. Выявленные закономерности изотопно-геохимических изменений в автохтонном органическом веществе позволяют устанавливать связь с генетическими типами отложений и определять сходство обстановок осадконакопления в соответствующие геологические периоды. В настоящей работе продемонстрирована закономерность изменения изотопно-фракционного состава углерода битумоидов от условий осадконакопления на примере юрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского нефтегазоносных бассейнов с целью создания генетической модели формирования органического вещества в пределах единого осадочного бассейна.

Изотопно-геохимическая характеристика органического вещества пород юрских отложений Западной Сибири

Объектом исследования стала коллекция из более 400 образцов кернового материала, характеризующих юрские отложения северной и центральной части Западной Сибири — в пределах Красноленинского и Сургутского сводов, Уренгойского и Ямбургского валов, а также Гыданской зоны поднятий. Основой для выбора исследуемых полигонов и обеспечения репрезентативности образцов по фаціальным условиям и генетическим типам отложений послужили карты, стратиграфические разрезы, профили и другие геологические материалы, опубликованные в Атласе для юрского комплекса отложений (Ступакова А.В. и др., 2024).

Влияние фаціальных обстановок на изотопный состав органического вещества

Изучение изотопного состава органического вещества юрских отложений Западной Сибири показало зависимость его вариаций от фаціальных обстановок, контролируемых региональной трансгрессивно-регрессивной цикличностью (Ступакова А.В. и др., 2024). Цикличность, связанная с колебаниями относительного уровня моря, отражается в смене генетических типов отложений, формирующихся на стадиях регрессии, платформенной стабильности и трансгрессии (Рис. 11).

Установление общих закономерностей для различных районов бассейна может свидетельствовать о региональном характере выявленных тенденций, что подтверждает применимость изотопно-геохимических исследований для

верификации трансгрессивно-регрессивных циклитов и фациальных зон осадочного бассейна. В связи с этим в работе был проведён анализ изотопных характеристик битумоидов юрских отложений, сформировавшихся в различных фациальных обстановках Западно-Сибирского бассейна.

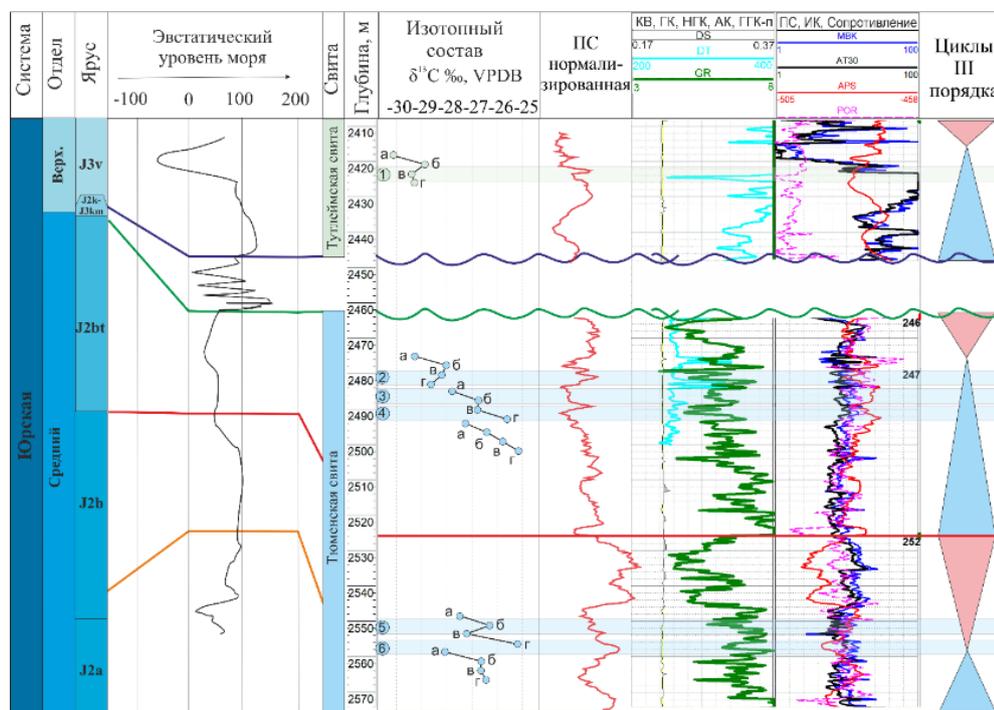


Рис. 11. Корреляция изотопных характеристик битумоидов с трансгрессивно-регрессивными циклитами юрских отложений Красноленинского свода (Краснова Е.А. и др., 2025). Элементы циклитов: голубой – трансгрессивный, красный – регрессивный. Вдоль шкалы глубин цифрами отмечено положение образцов. Буквами отмечен изотопный состав углерода для разных фракций: а – насыщенная фракция, б – ароматическая фракция, в – смолистая фракция, г – асфальтены.

Генезис органического вещества по изотопным маркерам

На основе изотопного анализа битумоидов выделены пять групп автохтонного органического вещества юрских отложений (Г1–Г5), отражающих различные условия осадконакопления в пределах Фроловско-Шаимского, Ямало-Гыданского и Уренгойского фациальных районов (например, Рис. 12).

Обогащение лёгким изотопом углерода отражает увеличение глубины морского бассейна, в котором захоронялось органическое вещество. Вариации внутри каждой группы обусловлены как незначительными различиями в составе исходного ОВ, так и степенью его преобразованности. В различных районах, характеризующихся единой фациальной обстановкой, выявлена общая группа изотопно-фракционных кривых.

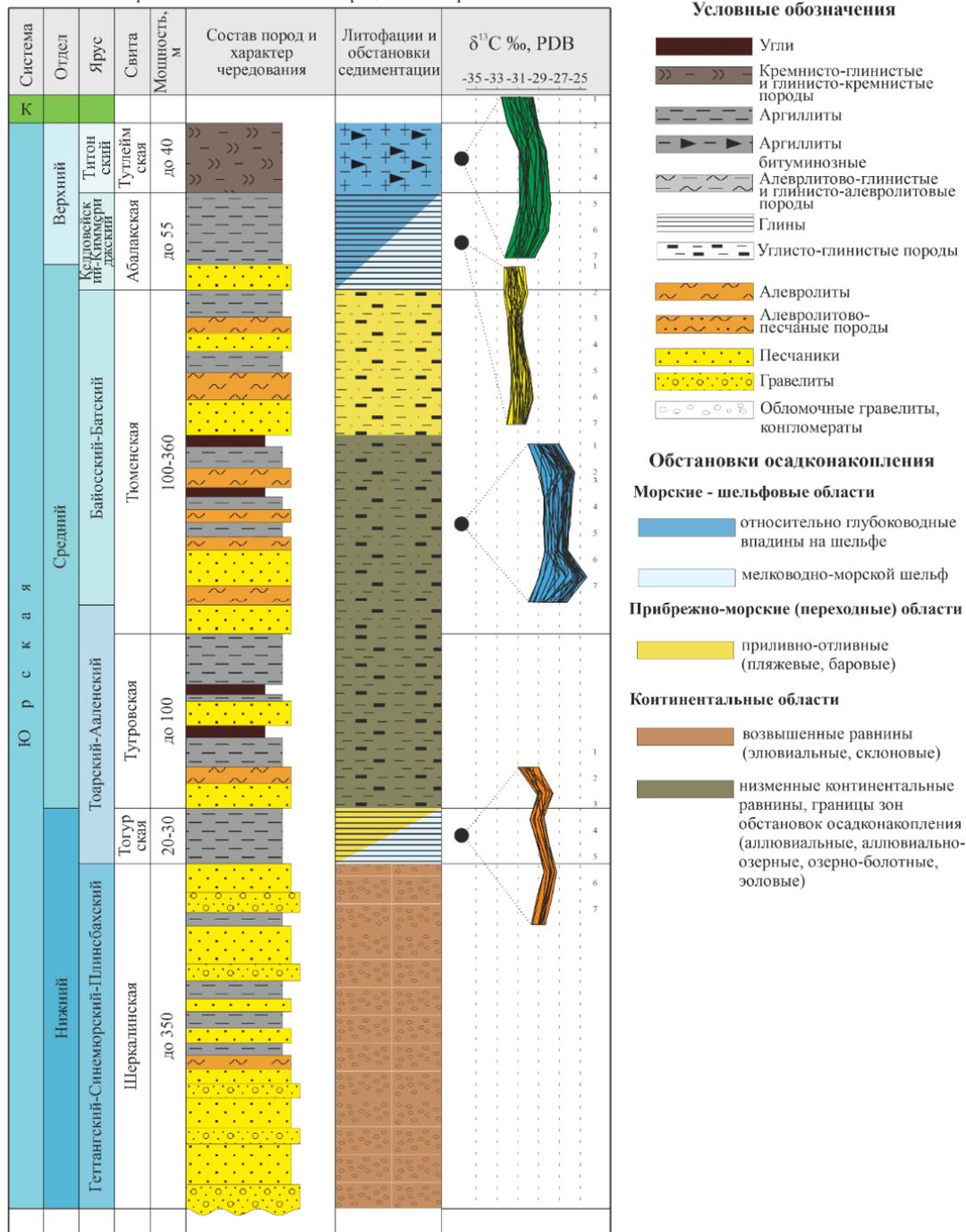
Сводный литологический разрез юрских отложений
Фроловского и Шаимского фациального района

Рис. 12. Группы типов ОБ, выделенных по изотопному составу углерода (Краснова Е.А. и др., 2025). Типы ОБ увязаны со сводным литолого-стратиграфическим разрезом отложений Фроловского и Шаимского фациальных районов (Ступакова А.В. и др., 2024).

Таким образом, изотопно-фракционный анализ битумоидов юрского комплекса отложений позволил выявить закономерности изменения изотопного состава органического вещества от смены условий осадконакопления в пределах Фроловско-Шаимского, Ямало-Гыданского и Уренгойского фациальных районов Западной Сибири.

Изотопно-геохимическая характеристика органического вещества пород верхнеюрско-нижнемелового комплекса Баренцевоморского региона

Использованный изотопно-фракционный анализ битумоидов для юрских отложений Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна был применён для оценки связи изотопно-геохимического состава органического вещества с фациальными условиями его осадконакопления в Баренцевоморском бассейне. Привязка образцов осуществлялась к фациально-генетическим типам, представленным в работах (Grundvåg S.-A., Olausen S., 2017; Marin D. et al., 2017; Mordasova A.V. et al., 2024; Мордасова А.В., 2018 и другие).

скв. 7321/9-1

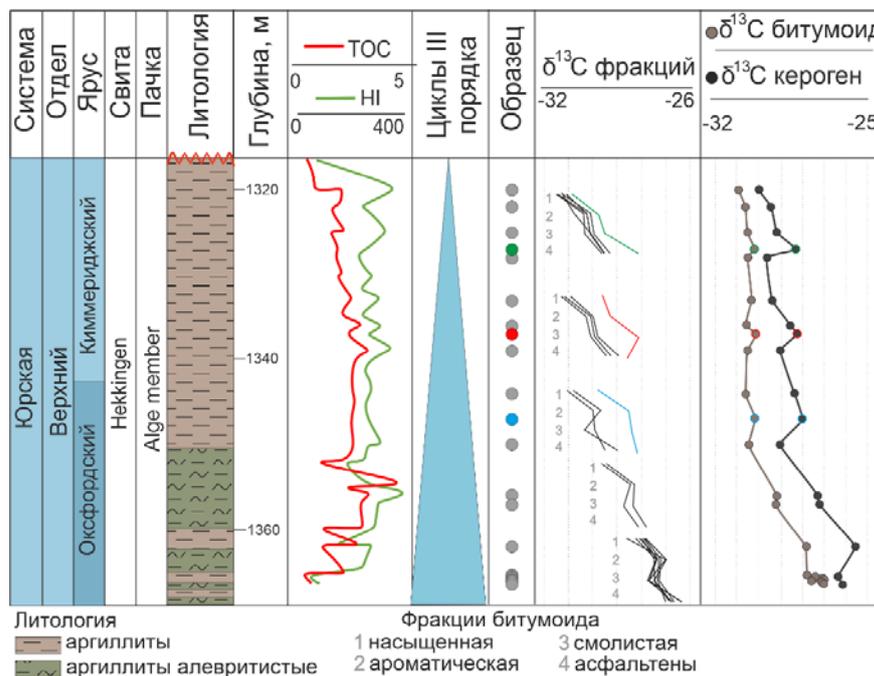


Рис. 13. Корреляция изотопно-геохимических характеристик органического вещества пород в трансгрессивной части верхнеюрского цикла на западе Баренцевоморского осадочно-бассейна.

Проведенный анализ изотопно-фракционных кривых битумоидов 250 образцов верхнеюрских отложений позволил разделить две генетические группы, соответствующие трансгрессивному и регрессивному циклам осадконакопления. По мере приближения к максимуму трансгрессии наблюдается обогащение лёгким изотопом углерода всех фракций битумоида. Значения $\delta^{13}\text{C}$ керогена изменяются от -25% , VPDB в основании цикла до -32% , VPDB в его верхней части, что свидетельствует о возрастании сапропелевой составляющей в составе ОВ (Рис. 13).

В результате проведённого исследования верхнеюрских отложений Баренцевоморского региона была получена тесная взаимосвязь между седиментационной цикличностью и геохимическими особенностями изученных отложений.

Сопоставление изотопных характеристик битумоидов верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов

Выявленные генетические группы по изотопному составу углерода битумоидов для верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов были сопоставлены с целью оценки и сравнения условий их формирования. Обобщённые палеогеографические построения Баренцево-Карского региона в течение мезозойского этапа представлены на Рис. 14.

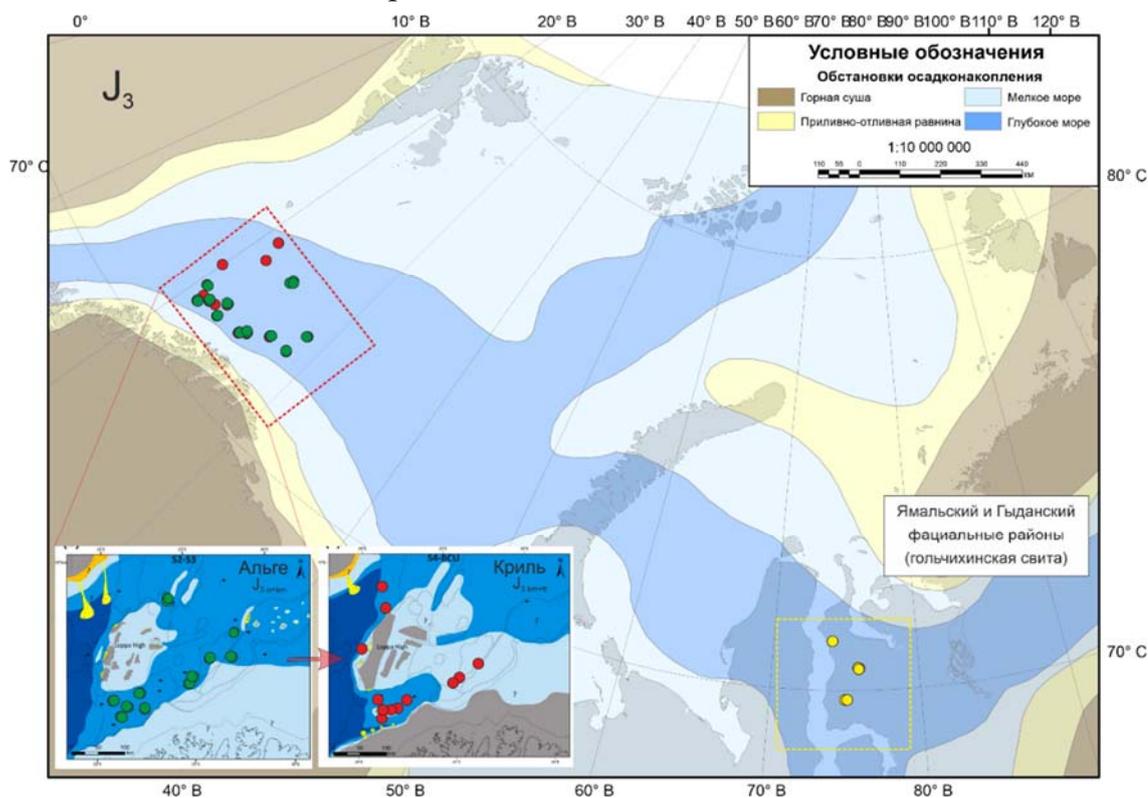


Рис. 14. Модель истории развития юрских осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа, J_3 – позднеюрское время (Суслова А.А. и др., 2025). На схеме обозначены изученные образцы битумоидов: желтые – Ямальской и Гыданской зоны, зеленые - пачки Альге (трансгрессивной) и красные - пачки Криль (регрессивной) формации Хеккинген. Врезки палеогеографических карт взяты из (Marin D. et al., 2017)

Сравнение изотопно-геохимических характеристик верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов показало, что отложения трансгрессивной части циклита (J_{3o+km}) Баренцевоморского шельфа по изотопным данным могут быть соотнесены с верхнеюрскими отложениями (J_{3km}) Фроловского и Шаимского фациального района (тутлеймской свитой) и Ямальского и Гыданского фациальных районов (гольчихинской свитой) Западной Сибири. Регрессивная часть верхнеюрского циклита (J_{3km+tt}) Баренцевоморского шельфа по составу отложений и изотопным маркерам генезиса органического вещества пород сопоставима со

среднеюрскими отложениями (J_{2b}) Гыданского фациального района. Наблюдаемые характеристики подтверждают особенности мезозойского этапа развития Баренцево-Карского региона, в ходе которого наблюдается постепенное увеличение глубины морского бассейна, чередующиеся с периодами относительного понижения уровня моря.

В результате проведенного исследования была получена генетическая картина изотопного распределения углерода битумоидов верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов. Полученная закономерность расширяет возможности анализа органического вещества нефтематеринских пород в пределах осадочного бассейна и значительно повышает целостность понимания процессов, контролирующего формирование нефтегазоносности.

Изотопно-геохимическая характеристика органического вещества и палеогеографическая зональность хадумского горизонта Предкавказского региона

Изотопно-геохимические исследования могут применяться не только для детальной корреляции отдельных разрезов, но и для региональной корреляции выдержанных высокоуглеродистых толщ при бассейновом анализе. Пример использования изотопных маркеров для уточнения региональных моделей приведён для хадумского горизонта потенциально нефтегазоматеринской толщиной олигоцен-нижнемиоценового возраста Предкавказского передового прогиба.

Анализ изотопного состава углерода битумоидов подтвердил и уточнил латеральную изменчивость типа ОБ в пределах хадумского горизонта (Рис. 15): от преимущественно террагенного на западе до аквагенного на востоке, с развитием смешанного типа в переходной Сарпинско-Майкопской зоне (Рыжков В.И., 2016; Шарафутдинов В.Ф., 2003; Яндарбиев Н.Ш. и др., 2017).

Сапропелевый тип ОБ (II на Рис. 15) соответствовал серповидной форме изотопно-фракционной кривой с преобладанием легкого изотопа ^{12}C насыщенной фракции ($\delta^{13}\text{C}$ от -29,5‰ до -31,2‰, VPDB) и асфальтенов ($\delta^{13}\text{C}$ от -28,0‰ до -29,2‰, VPDB). Террагенный тип ОБ, представленный преимущественно на западе и северо-западе Предкавказья (III на Рис. 15), характеризовался линейной формой кривой с изотопным составом углерода насыщенной фракции ($\delta^{13}\text{C}$ от -28,0 ‰ до -29,0‰, VPDB) и асфальтенов ($\delta^{13}\text{C}$ от -27,5‰ до -28,2‰, VPDB). Область II–III характеризуется смешанным типом исходного ОБ с увеличением гумусовой составляющей вверх по разрезу и по латерали в западном направлении в разрезе хадумского горизонта.

Представленное распределение типов ОВ показало хорошую корреляцию с распределением залежей углеводородов разного фазового состава. Применение изотопно-геохимических критериев для идентификации генетических типов ОВ подтверждает возможность применения изотопных маркеров для уточнения палеогеографических обстановок осадконакопления.

Проведенный изотопно-фракционный анализ углерода битумоидов демонстрирует закономерность изменения условий осадконакопления, в которых захоронялось органическое вещество: по мере перехода от континентальных к морским фациям наблюдается обогащение легким изотопом. Эта закономерность продемонстрирована для верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов, а также показана эффективность применения предложенного подхода на примере хадумского горизонта Предкавказья для прогноза типов ОВ и реконструкции палеообстановок.

ГЛАВА 5. ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Изотопные маркеры являются эффективным инструментом для идентификации источников природных газов как на месторождениях, так и при их проявлении на поверхности в результате дегазации недр. В случае приповерхностного отбора газа его источник может быть определён либо путём сравнения геохимических характеристик с данными по газу, ранее отобранному непосредственно из изучаемого пласта, либо на основе геологической модели региона с учётом состава и свойств нефтематеринских толщ.

Изотопно-геохимическая характеристика прибрежных естественных проявлений углеводородов

Наиболее ориентировочные выводы об источнике газа могут быть сформулированы на основе сочетания изотопно-геохимического состава газа и анализа геологического строения региона; такие данные имеют оценочный характер, но являются достаточными для предварительного анализа. В настоящей работе данный подход продемонстрирован на примере анализа газовых углеводородных смесей, отобранных в прибрежной зоне юго-западного Крыма (бухта Ласпи).

Пробы газа отбирались из мелководных метановых сипов в бухте Ласпи. Впервые исследована временная (сезонная и суточная) динамика изотопных характеристик ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_2\text{H}_6}$) и компонентного состава пузырькового газа, что позволяет оценивать режим работы источника газопроявления. Полученные

значения изотопного состава углерода метана и этана ($\delta^{13}\text{C}_{\text{средн}} = -36,0 \pm 0,8\text{‰}$, VPDB $\delta^{13}\text{C}_{\text{средн}} = -37,5 \pm 0,2\text{‰}$, VPDB, соответственно) указывают на значительный вклад термокаталитического газа, мигрирующего по разломным системам (Рис. 16).

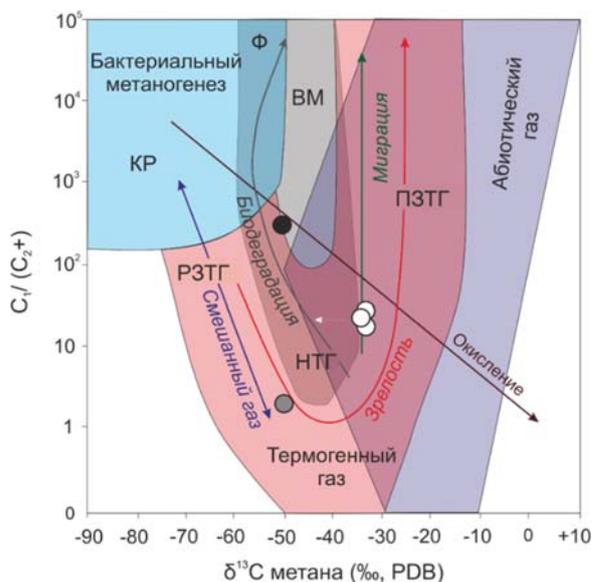


Рис. 16. Вариации $\delta^{13}\text{C}$ метана и отношение концентрации метана и суммы гомологов (Краснова Е.А. и др., 2024a). На диаграмме нанесены генетические поля составов УВ (Milkov A.V. et al., 2018). Образцы газа из бухты Ласты обозначены белым маркером; сипы Кавказского побережья Черного моря, схожие по величине $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ по (Pape T. et al., 2021): черным – сипы Батуми, серым – сипы Колхети.

Источники и происхождение углеводородных флюидов

В пределах Крымско-Кавказского региона к доказанным нефтегазоматеринским толщам относятся отложения кумской свиты (средний эоцен), майкопской серии и караган-чокракского миоцена; потенциальными НМТ также считаются апт-альбские и пограничные сеноман-туронские отложения (Суслова Э.Ю., 2006; Афанасенков А.П. и др., 2007; Габдуллин Р.Р. и др., 2012). Проведённое бассейновое 2D-моделирование подтвердило, что основным региональным очагом генерации углеводородов сапропелевого типа является Индоло-Кубанский прогиб. Предполагается, что очаг генерации также мог существовать и в прогибе Сорокина, так как его формирование происходило одновременно с формированием Индоло-Кубанского прогиба. Наличие anomalно высоких пластовых давлений в майкопских отложениях прогиба Сорокина могло способствовать миграции флюидов из очага нефтегазообразования (Nikishin A.M. et al., 2015; Sydorenko G. et al., 2016). В его глубоких частях породы от мела до миоцена достигли стадии главной зоны газообразования (ГЗГ), генерируя в настоящее время преимущественно газ.

Таким образом, комплексный анализ, включая изотопный состав углерода метана и этана, позволяет заключить, что источником газовых проявлений в Западно-Черноморском бассейне являются верхнеэоценовые-олигоценые и, в глубоких впадинах, миоценовые отложения прогиба Сорокина.

Изотопные характеристики приповерхностных газопроявлений эксплуатационных скважин

Более достоверную оценку генезиса и характеристик органического вещества можно получить при сравнении геохимических параметров приповерхностных проявлений с данными по газу, отобранному непосредственно из изучаемого пласта. В настоящей работе этот подход реализован на примере приповерхностных проявлений на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (север Западной Сибири).

С целью установления источника газопроявлений были проведены исследования заколонных и межколонных газопроявлений на скважинах Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Газопроявления различной интенсивности при бурении и эксплуатации скважин на месторождениях Западной Сибири отмечаются с первых дней освоения региона; их основной причиной часто является нарушение сплошности и таяние многолетнемерзлых пород вокруг скважин, что приводит к выходу внутримерзлотного газа на поверхность (Якушев В.С. и др., 1987; Бондарев В.Л. и др., 2008; Леонов С.А., 2010).

В ходе исследований зафиксированы газовыделения по всей территории месторождения и собрана информация по 74 скважинам, пробуренным на сеноманские и валанжинские отложения. В период с 2016 по 2023 годы авторами было отобрано около 100 проб газа из различных скважин. На диаграмме (Рис. 17) представлены поля компонентного и изотопного состава внутримерзлотного, сеноманского и валанжинского газов (Арз Ф.Э., 1998; Дворецкий П.И. и др., 2000; Якушев В.С., 2015).

В скважинах, пробуренных на сеноманские отложения, отмечается газ меж- и заколонного пространства, мигрирующий из сеноманских ($\delta^{13}\text{C}_{\text{метана}} \sim -50\text{‰}$, VPDB) и внутримерзлотных пластов ($\delta^{13}\text{C}_{\text{метана}} \sim -73\text{‰}$, VPDB). В скважинах, пробуренных на валанжинские отложения – газ из валанжинских ($\delta^{13}\text{C}_{\text{метана}} \sim -35\text{‰}$, VPDB), сеноманских ($\delta^{13}\text{C}_{\text{метана}} \sim -50\text{‰}$, VPDB) пластов и газ бактериального происхождения. Газы межколонных и заколонных проявлений отвечают схожим геохимическим характеристикам, что свидетельствует о едином генетическом источнике.

Приустьевые газопроявления характерны для скважин на сеноманские и валанжинские отложения по всей территории месторождения. Их причинами могут быть: техническое состояние скважин, газ в многолетнемерзлых породах, или миграция глубинного катагенетического газа по разломам. Изотопный анализ отобранных проб выявил несколько источников заколонных газовыделений:

катагенетический (глубинный), связанный с отложениями сеномана и валанжина, и микробный (приповерхностный), ассоциированный с внутри- и подмерзлотными газ-газогидратными пластами, потенциально имеющими промышленное значение.

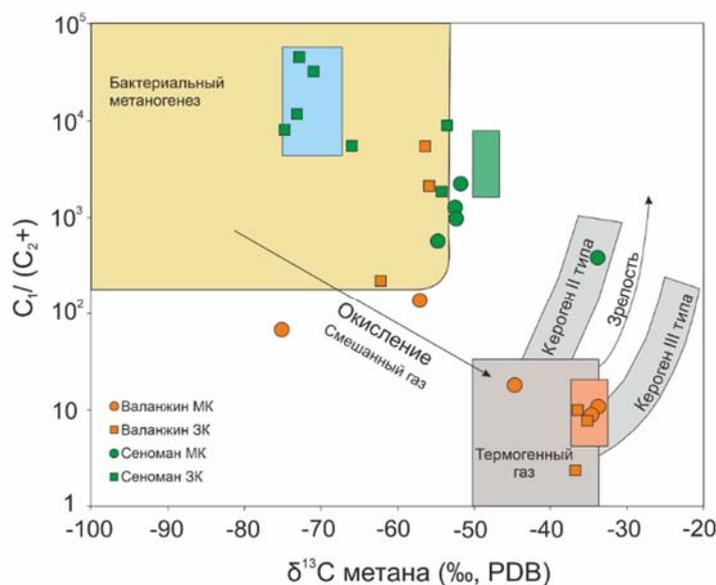


Рис. 17. Вариации компонентного состава газа относительно изотопного состава углерода метана. Поля состава газа нанесены по (Whiticar M., 1994b, 1999b). Закрашенные прямоугольники показывают геохимические характеристики сеноманского (зелёный) и валанжинского (оранжевый) продуктивных горизонтов и газа газогидратов (голубой) по (Якушев В.С., 2009, 2015). ЗК – заколонный газ, МК – межколонный газ.

Изотопно-геохимические особенности газообразных углеводородов в разрезе осадочной толщи

Наиболее достоверную привязку газовых проявлений к продуцирующей их осадочной толще, можно осуществить с помощью методики отбора газа из закрытых керновых туб (Рис. 2). Данный метод был отработан на примере анализа газообразных углеводородов в разрезе баженовской свиты (южная часть Западной Сибири). На основе комплексного изотопно-геохимического анализа был изучен состав газов верхнеюрских отложений представительных 56 проб газа из 4 скважин, расположенных в южной и центральной частях Западной Сибири (две скважины на Подогрудовском мегавале, одна скважина на Каймысовском своде и одна скважина на Салымском мегавале).

С целью установления изотопного состава газа, продуцированного толщей баженовской свиты, был рассчитан линейный тренд теоретического природного изотопного состава газа всех компонентов (Chung H. et al., 1988). Для расчёта кривых

были выбраны пробы газа из одинаковых интервалов для всех скважин, сопоставимых по литологическому составу и наиболее гомогенному составу керогеново-глинисто-кремнистых разностей пород. Важной особенностью всех отобранных образцов является их принадлежность к верхнему интервалу баженовской свиты, где установлены схожие условия для миграции газа. В скважине 3 дополнительно был изучен газ, продуцирующий абалакской свитой.

Литолого-геохимический состав кернового материал был изучен для оценки типа генерируемого ОВ и наличия путей миграции флюидов из нижележащих прослоев. Результаты пиролитических исследований показали, что органическое вещество скважин 1, 2 и 3 по зрелости относится к стадии катагенеза ПКЗ, а скважина 4 – МК2, по классификации из работ (Вассоевич Н.Б. и др., 1976; Espitalie J. и др., 1986).

Все изученные газовые пробы относятся к группе газов, генерированных морским органическим веществом. В результате исследования газов баженовской свиты выделены два генетических типа, сформированных при термокаталитическом разложении органического вещества в схожих условиях. Первый тип ($\delta^{13}\text{C}$ метана = -55 – -50 ‰, VPDB, скважины 1, 2, 4, и несколько образцов 3, Рис. 18) продуцирован баженовской толщей и отнесён к одной генетической категории, образующейся при относительно невысоких температурах (Галимов Э.М., 1973b). Наблюдаемые вариации изотопного состава (обогащение тяжелым изотопом углерода в газе скважины 4) могут быть объяснены различиями в степени преобразованности исходного ОВ (достигающего стадии катагенеза МК2 в скважине 4).

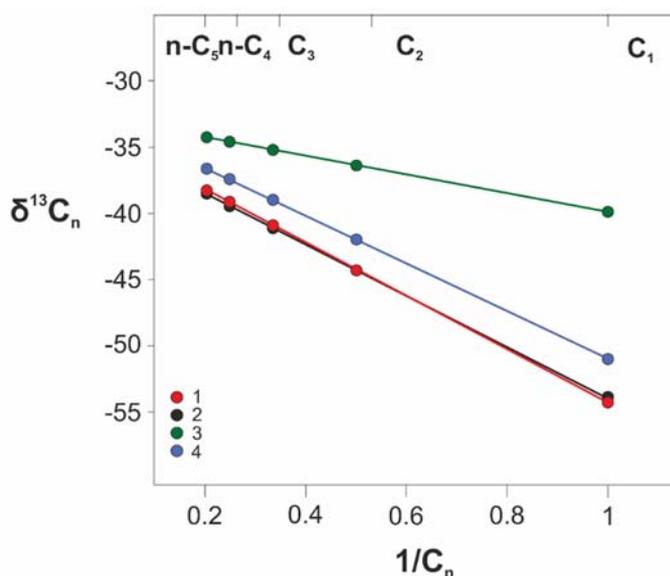


Рис. 18. Сравнение исходного изотопного состава газа баженовской свиты (Краснова Е.А. и др., 2019). Цифрами обозначены средние составы изученных газовых проб в скважинах.

Второй тип газа ($\delta^{13}\text{C}$ метана = -41 – -39 ‰, VPDB, сгенерирован из ОВ низкой зрелости, ПКЗ), выявленный в скважине 3 и в нескольких образцах скважины 2,

характеризуется изотопным составом углеводородов, обогащённым тяжёлым изотопом. Такой состав не типичен для данной стадии зрелости ОВ и не может быть объяснён исключительно степенью его преобразованности, что позволяет отнести этот газ к иной генетической группе. Проанализированный газ, продуцируемый абалакской свитой, по изотопному составу углерода близок к выделяемому второму типу газа ($\delta^{13}\text{C}$ метана = $-43 - -40$ ‰, VPDB).

Для определения источников двух выделенных генетических типов газа и их связи с генерацией в баженовской свите рассмотрена возможная миграция флюидов из подстилающих толщ. В скважине 3 зафиксированы признаки высокотемпературного гидротермального воздействия (жильный кальцит с $T_{\text{крист.}}$ 170–200°C), что не отражается на степени преобразования ОВ (ПК3). Сочетание в скважине 3 газа второго типа и признаков гидротермальной активности может указывать на миграцию газа второго типа из нижележащих горизонтов посредством гидротермальных потоков.

Таким образом, применённая методика позволила детально охарактеризовать газ, продуцируемый баженовской толщей и выделить две генетические группы газа. Установлено, что газ, продуцируемый баженовской свитой, характеризуется вариациями $\delta^{13}\text{C}$ метана = $-55 - -50$ ‰, VPDB, а незначительное обогащение его тяжёлым изотопом связано со степенью преобразованности ОВ до стадии МК2. Зафиксированы признаки подтока миграционного газа второй группы из нижележащих отложений. ($\delta^{13}\text{C}$ метана = $-41 - -39$ ‰, VPDB).

В главе представлены результаты изотопно-геохимического анализа углеводородных газов, отобранных в различных геодинамических условиях: в прибрежной зоне бухты Ласпи (юго-западный Крым), в приповерхностных проявлениях на Ямбургском нефтегазоконденсатном месторождении и в разрезе баженовской свиты юга и центра Западной Сибири. Установлено, что газы бухты Ласпи генерировались органическим веществом морского генезиса, одним из источников которого могли являться верхнеэоценовые и олигоценовые отложения. На Ямбургском месторождении по изотопному составу выделены три генетических типа газа: из сеноманских, валанжинских и мерзлотных (газогидратных) отложений. Впервые применённая методика отбора газа по интервалам позволила идентифицировать генетические группы, оценить изотопный состав газа, продуцируемый баженовской свитой, и зафиксировать признаки подтоков миграционного газа из нижележащих прослоев.

ГЛАВА 6. ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Одними из основных направлений использования изотопных маркеров для решения задач в нефтегазовой геологии является типизация органического вещества, определение генетической связи и построение флюидодинамических моделей (Franks S. et al., 2001; Dias R. et al., 2002; Tosqué E. et al., 2005). Важным фактором является возможность идентифицировать влияние наложенных факторов (окисление, биodeградация, термальное воздействие и др.) при применении изотопно-молекулярного подхода (Галимов Э.М., 1981, 1986). Построение флюидодинамической модели с использованием комплексного изотопно-геохимического анализа проводилось в несколько этапов и продемонстрировано на примере группы месторождений Каменной вершины Красноленинского свода Западной Сибири.

Этап 1. Установление условий формирования органического вещества (битумоида) и его генетическая типизация. По данным соотношений стабильных изотопов $\delta^{13}C$ в битумоиде.

Было проанализировано 80 проб битумоидов, экстрагированных из нефтематеринских толщ тутлеймской и тюменской свит и разделённых на аналитические группы (масла, бензольные и спирто-бензольные смолы, асфальтены). Сопоставлены изотопно-фракционные кривые для определения генетической связи битумоидов путем оценки обобщённого сходства (Фрик М.Г., 1984). По результатам расчёта были выделены три генетические группы и установлено распределение изотопного отношения углерода характерное для флюидов, генерированных сапропелевым и гумусово-сапропелевым типом ОВ.

На первом этапе была получена характеристика битумоидов: установлен тип исходного органического вещества, определены две генетические группы и выделена третья группа, фиксирующая признаки вторичных преобразований.

Этап 2. Установление условий формирования жидких углеводородов и их генетическая типизация. По данным соотношений стабильных изотопов $\delta^{13}C$ нефти.

Был проанализирован изотопный состав углерода разнополярных фракций 60 проб нефтей (пласты: доюрского комплекса (ДЮК), тюменской свиты (ЮК 2-9), аналога абалакской свиты (П), викуловской свиты (ВК) и базального горизонта, аналог шеркалинской свиты (БГ)). На основе анализа изотопно-фракционных кривых нефтей и битумоидов выделены три генетические группы. Первая группа характеризуется серповидным трендом и наиболее лёгким изотопным составом

углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{нас.}}$ от -30 до -31‰, VPDB для нефтей, $\delta^{13}\text{C}_{\text{нас.}}$ от -28,5 до -29‰, VPDB для битумоидов), что типично для органического вещества сапропелевого типа. Вторая группа отличается обогащением тяжёлым изотопом углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{нас.}}$ от -29 до -30‰, VPDB для нефтей и от -26 до -28‰, VPDB для битумоидов) и сублинейным трендом, указывающим на преимущественно гумусовый тип ОВ; при этом отдельные образцы (верхи тюменской свиты) демонстрируют серповидный тренд распределения, фиксируя локальное увеличение доли сапропелевой составляющей. Третья группа представляет собой смесь первых двух типов и фиксирует наличие признаков термического воздействия (наблюдается потеря легких изотопов УВ фракции и обогащение ими смол). Существенно, что для изучаемых нефтей не обнаружено корреляций с принадлежностью к определённым возрастным интервалам. Этот факт, в сочетании с наличием смешанной по изотопному составу группы битумоидов, свидетельствует о существовании единой флюидодинамической системы и активном смешении флюидов из различных по генезису и возрасту нефтематеринских толщ в пределах осадочного чехла.

На втором этапе с использованием изотопно-молекулярного метода диагностики источника нафтидов для исследованных битумоидов и нефтей установлены два генетических типа вещества, а также группа, формирующаяся в результате их смешения. Эти группы соответствуют сапропелевому органическому веществу с различной примесью гумусовой составляющей. Полученные распределения изотопно-фракционных кривых фиксируют следы вторичных процессов.

Этап 3. Оценка гидродинамической связи. По данным изучения геохимических параметров δD и $\delta^{18}O$ в воде.

Была выполнена оценка гидродинамической взаимосвязи по площади месторождения и между пластами по разрезу, результаты которой представлены в статье коллектива авторов (Большакова М.А. и др., 2021). Для оценки кондиционности проб попутной воды и влияния техногенного фактора были проанализированы данные: по перфорациям и перестрелам скважин. По результатам оценки было выделено 23 кондиционных образца, результаты анализов которых (химического и изотопного состава воды) были использованы при изучении флюидодинамических связей на месторождении Красноленинского свода.

Изотопно-геохимический анализ вод Красноленинского свода позволил идентифицировать техногенные (метеорные) воды ГРП ($\delta D \sim -115\%$, $\delta^{18}O_{\text{SMOW}} \sim -16\%$) и пластовые воды различных горизонтов. Горизонты ВК1 и ВК2-3 характеризуются значительным разбросом значений $\delta^{18}O_{\text{SMOW}}$ (-14,9...-7,0‰) и

δD (-110,8...-65,2‰), что указывает на смешанный генезис; в ряде проб выявлен положительный сдвиг $\delta^{18}O_{SMOW}$ (до +3‰). В целом, для пластовых вод всего разреза (пласты ВК, П, ЮК₂, БГ₂) установлен прогрессирующий с глубиной положительный сдвиг $\delta^{18}O_{SMOW}$ (от +3‰ до +7‰), свидетельствующий об усилении изотопного обмена с породой при возрастающих температурах. Особо выделяются воды доюрского комплекса (ДЮК), для которых выделяются две группы: одна близка к водам ВК/П пластов, а в другой фиксируется уникальный отрицательный сдвиг $\delta^{18}O_{SMOW}$ (до -27,2‰). Данный сдвиг, нетипичный для пластовых вод, объясняется активным изотопным обменом с газовой фазой CO₂, поступающей из глубоких горизонтов по открытым разломам.

На третьем этапе было выявлено отсутствие латеральной связи между основными продуктивными горизонтами (базальным, тюменским, доюрским), определено наличие зон восходящей вертикальной фильтрации и гидротермальное влияние глубинных, обогащенных CO₂ флюидов на доюрский комплекс.

Этап 4. Определение вторичных преобразований. По данным комплексного изучения геохимических параметров $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ в карбонатном материале.

Исследование изотопного состава карбонатных прожилок в терригенных породах осадочного чехла выявило признаки интенсивных вторичных преобразований под воздействием гидротермальных растворов (Карпова Е.В. и др., 2021). Об этом свидетельствует значительный сдвиг изотопного состава кислорода в карбонатах (до $\delta^{18}O = 6,2‰$, SMOW или -24‰, VPDB), указывающий на высокотемпературный изотопный обмен с флюидом. Рассчитанные палеотемпературы кристаллизации кальцита в микротрещинах (110–210 °С) существенно превышают фоновые температуры вмещающей породы (40–80 °С), что подтверждает идею просачивания гидротермальных растворов вдоль разломов и микротрещин. Выводы о гидротермальной деятельности подтверждаются и другими методами: минералого-петрографическими данными (наличие новообразованного сфалерита и барий-содержащих минералов) и анализом флюидных включений в кварце, показавшим температуры гомогенизации до 260 °С (Карпова Е.В. и др., 2021).

На четвертом этапе комплекс изотопных, минералогических и термобарогеохимических данных подтверждает просачивание высокотемпературных флюидов по зонам трещиноватости.

Этап 5. Обобщение данных и построение флюидодинамической модели формирования группы месторождений Красноленинского свода (Западная Сибирь). По данным комплексного изучения геохимических параметров $\delta^{13}\text{C}$ в нефтях и битумоидах, $\delta^{18}\text{O}$ и δD в воде, $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатном материале и полученных ранее геологических данных.

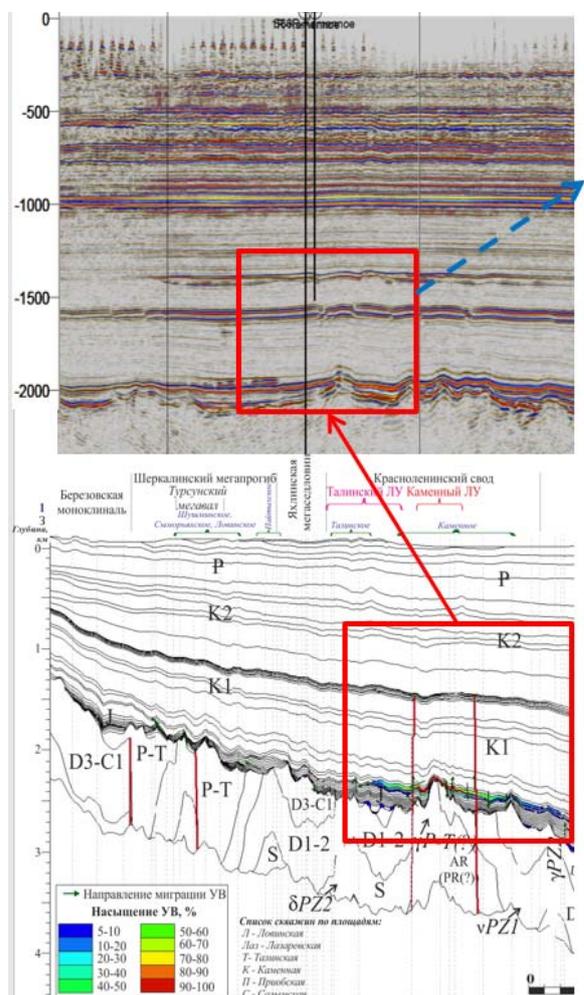
Для построения комплексной флюидодинамической модели месторождений Красноленинского свода был проведен синтез геолого-геохимических данных, включая анализ истории разработки скважин, изотопный состав и свойства флюидов (нефть, битумоиды, пластовые воды), а также минералого-петрографические и термобарогеохимические исследования. В результате сопоставления полученной геохимической информации с геологической интерпретацией района работ были сделаны выводы о наличии проводящих каналов, разломов структурных поверхностей, которые могли или могут в настоящее время выступать в качестве путей миграции углеводородов. Было показано, что распределение типов органического вещества по катагенетической зрелости, установленных по пиролитическим параметрам в отложениях тюменской свиты, соответствует выделенным группам нефтей по изотопному составу углерода и биомаркерным параметрам (Осипов К.О. и др., 2023). Первая группа отвечает высокой степени зрелости вещества, вторая группа – средней, третья группа – низкой зрелости.

Комплексные аналитические исследования флюидов, расчёт генетических коэффициентов, в том числе изотопных маркеров, параметров вторичных преобразований нефтей, учитывающих процессы биodeградации и контаминации, позволили оценить термическую историю преобразования исходного ОВ (Карпова Е.В. и др., 2021; Осипов К.О. и др., 2023; Тихонова М.С. и др., 2021; Фомина М.М. и др., 2021 и другие). Совокупность этих данных, согласованная с литологическими и сейсмическими исследованиями, доказывает наличие проницаемых флюидопроводящих каналов (разломов), связывающих разновозрастные горизонты. На основе этого была построена новая принципиальная флюидодинамическая модель месторождения (Рис. 19).

Наличие в терригенных породах карбонатов нескольких гидротермальных генераций в зонах разломов (викуловская и бажен-абалакская свиты) подтверждает идею миграции высокотемпературных флюидов по тектоническим нарушениям, которые, в свою очередь, зафиксированы сейсморазведкой. Доказательства импульсного (стадийного) заполнения резервуара включают обнаружение нескольких палеопервоверхностей водонасыщения в викуловской свите и данные о

многократном прогреве доюрского комплекса, синхронном с тектоническими перестройками.

Миграция УВ по разломам



Принципиальная модель строения Каменного ЛУ

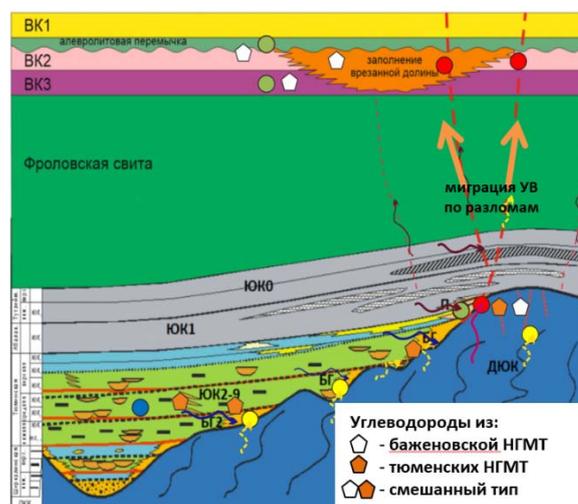


Рис. 19. Принципиальная модель флюидодинамических связей в пределах Каменной вершины Красноленинского свода (Краснова Е.А. и др., 2024b).

В результате проделанной комплексной геолого-геохимической работы была уточнена принципиальная модель формирования залежей исследованного месторождения и проведено сравнение с ранее предложенной схемой миграции углеводородов на Красноленинском своде (Гончаров И.В. и др., 2016). В отличие от ранее существовавших представлений о непроницаемости фроловских глин, предложенная модель доказывает существование вертикальной миграции по тектоническим нарушениям. Эта миграция носит импульсный (стадийный) характер и включает смешение флюидов из нескольких источников, углеводородов из юрской и доюрской толщ. Также периодически происходит подток гидротермальных флюидов, в том числе и с CO_2 из пород фундамента.

Таким образом, в настоящей главе было представлено использование изотопных маркеров, как уточняющего метода при построении геолого-геохимических моделей. Проведённое комплексное всестороннее изотопно-

геохимическое исследование источника нефти, битумоидов, воды и пород осадочного чехла в пределах месторождения Краснотеннинского свода Западной Сибири позволило уточнить принципиальную модель формирования залежей месторождения, продемонстрировав миграцию флюидов по вертикали через фроловские глины вверх по многочисленным разломам. Помимо подтока сухого газа, лёгких и средних углеводородов в виде газоконденсатной смеси из доюрского комплекса, также, происходит подток гидротермальных флюидов, в том числе и с CO_2 из пород фундамента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе продемонстрирован комплексный подход решения фундаментальных задач современной нефтяной геологии на основе разработки изотопно-геохимических критериев оценки генезиса и эволюции пород, органического вещества и флюидов. Разработанные изотопно-геохимические маркеры ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) и их апробация на относительно хорошо изученных другими методами объектах позволили продемонстрировать возможности применения изотопных маркеров для решения задач нефтегазовой геологии по трём блокам: стратификация разрезов, геохимическая типизация органического вещества и флюидодинамические реконструкции.

Главные результаты работы в блоке «стратификация разрезов»:

1. По изотопным данным получены новые стратиграфические реперные точки в разрезах эоценовых, сеноман-туронских отложений Крыма. На Северо-Западном Кавказе в разрезе турон-коньякских отложений и в кембрийских отложениях юга Сибирской платформы. В итоге установлены глобальные события планетарного масштаба в эоцене (ЕЕСО), на границах сеномана-турона (ОАЕ-2), турона-коньяка и в верхнекембрийских отложениях (SPICE и TOCE). Выполненная оценка позволила установить этапы трансгрессивных и регрессивных событий, температурных флуктуаций, а также колебания биопродуктивности бассейна.

Главные результаты работы в блоке «геохимическая типизация органического вещества»:

2. На основе анализа массива разнородных данных показана взаимосвязь между седиментационной цикличностью, обусловленной трансгрессивно-регрессивными колебаниями уровня моря, и изотопно-геохимическими особенностями изученных верхнеюрских отложений Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов.

3. Выявлены и систематизированы закономерности распределения изотопов углерода в автохтонном органическом веществе и создана единая генетическая

картина для единых палеогеографических обстановок Западно-Сибирского и Баренцевоморского бассейнов позднеюрского времени.

4. Применённая впервые методика отбора газа из определенного интервала позволила на основе изотопного состава углерода детализировать и типизировать генетические группы газовых углеводородов баженовской свиты центральной части Западной Сибири.

5. Выявлена взаимосвязь приповерхностных газовых углеводородных проявлений с источником их генерации в прибрежной части юго-западного Крыма (бухта Ласпи) и на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (север Западной Сибири).

Главные результаты работы в блоке «флюидодинамические реконструкции»:

6. Установлены связи между нефтематеринской толщей и углеводородами, а также между флюидами разновозрастных комплексов в пределах группы месторождений Краснотуркменского свода в Западной Сибири, что позволило уточнить флюидодинамическую модель изучаемого участка и использовать полученные закономерности при проведении бассейнового моделирования.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность заведующему кафедрой и научному консультанту А.В. Ступаковой за постоянную поддержку и ценные консультации в процессе работы над диссертацией. Искренняя признательность выражается всему коллективу кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ имени М.В. Ломоносова, а также сотрудникам геологического факультета Московского университета Н.А. Харитоновой, Н.В. Лубниной, В.М. Сорокину за полезные и критические обсуждения результатов работы. Особую благодарность за предоставленный материал, помощь в работе и понимание автор выражает А.М. Никишину, Е.А. Лыгиной, Е.В. Яковишиной, С.В. Бордунову, коллегам ИФЗ РАН: В.Э. Павлову; коллегам ФИЦ ИнБЮМ РАН: Т.В. Малаховой, А.И. Хурчак; физического факультета МГУ: А.А. Будникову, И.Н. Ивановой; коллегам РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина: В.С. Якушеву, Н.Р. Аветову. Автор выражает особую признательность коллегам из ГЕОХИ РАН за плодотворные научные дискуссии, а также своим коллегам, аспирантам и студентам А.С. Грязновой, Т.О. Колесниковой, В.А. Шарафутдиновой, М.Л. Махнутиной, А.В. Кусмаевой за поддержку при выполнении исследований. Глубокую благодарность автор выражает семье и близким за неоценимую поддержку на всех этапах работы.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.11 - Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

1. **Краснова, Е. А.** Закономерности изменения изотопного состава углерода органического вещества как индикатор условий осадконакопления / Е. А. Краснова, А. В. Ступакова, А. П. Завьялова, Р. С. Сауткин, А. А. Сулова, Т. О. Колесникова // *Георесурсы*. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 64-73. **(0,9 п.л., авторский вклад 60%)**. Импакт фактор 0,5 (JIF).

2. Большакова, М. А. О классификации нефтегазоматеринских пород. / М. А. Большакова, А. В. Ступакова, Р. С. Сауткин, К. А. Ситар, А. Г. Калмыков, **Е. А. Краснова**, Н. В. Пронина, А. П. Вайтехович // *Георесурсы*. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 54-63. **(1,1 п.л., авторский вклад 15%)**. Импакт фактор 0,5 (JIF).

3. Колесникова, Т. О. Эволюция и условия формирования нефтегазоносности Баренцевоморского и Северо-Карского осадочных бассейнов / Т. О. Колесникова, А. В. Мордасова, А. А. Сулова, А. В. Ступакова, М. А. Большакова, **Е. А. Краснова**, Р. С. Сауткин, Р. М. Гиляев, И. В. Кувинов, А. А. Гильмуллина, К. О. Осипов // *Георесурсы*. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 93-117. **(2,1 п.л., авторский вклад 20%)**. Импакт фактор 0,5 (JIF).

4. Сауткин, Р. С. Формирование месторождений нефти и газа древних нефтегазоносных бассейнов (Восточная Сибирь). / Р. С. Сауткин, А. В. Ступакова, **Е. А. Краснова**, А. А. Сулова, М. Е. Воронин, Д. О. Смирнова, А. В. Мордасова // *Георесурсы*. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 161-173. **(0,7 п.л., авторский вклад 25%)**. Импакт фактор 0,5 (JIF).

5. Ступакова, А. В. Комплексование разномасштабных данных для поиска и разведки месторождений нефти и газа / А. В. Ступакова, Р. С. Сауткин, Калмыков, Г.А., Коробова, Н.И., М. А. Большакова, **Е. А. Краснова**, Корзун, А.В., Мордасова, А.В., А. Г. Калмыков // *Георесурсы*. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 186-205. **(1,0 п.л., авторский вклад 25%)**. Импакт фактор 0,5 (JIF).

6. Сулова, А. А. История развития Баренцево-Карского региона в фанерозое для оценки перспектив / А. А. Сулова, А. В. Мордасова, Р. М. Гиляев, **Е. А. Краснова**, Р. С. Сауткин, Н. И. Коробова, Н. С. Шевчук, А. С. Агаян, А. В. Ступакова, М. А. Большакова, Т. О. Колесникова // *Георесурсы*. – 2025. – Т. 27. – № 2. – С. 74-92. **(1,1 п.л., авторский вклад 25%)**. Импакт фактор 0,5 (JIF).

7. Воронин, М. Е. Геологическое строение и условия формирования мезозойских отложений Восточного Предкавказья / М. Е. Воронин, Р. С. Сауткин, А. В. Ступакова, **Е. А. Краснова**, А. А. Сулова, Р. М. Гиляев // *Научный журнал Российского газового общества*. – 2024. – Т. 46. – № 4. – С. 6-17. **(0,5 п.л., авторский вклад 20%)**. Импакт фактор 0,549 (РИНЦ). EDN: CYNGII

8. **Краснова, Е. А.** Геолого-геохимическая характеристика естественных проявлений углеводородов континентальной окраины юго-западного Крыма, бухта Ласпи / Е. А. Краснова, А. А. Будников, И. Н. Иванова, А. И. Хурчак, А. С. Грязнова, О. В. Крылов, Т. В. Малахова // *Георесурсы*. – 2024. – Т. 26. – № 4. – С. 83-100. doi:10.18599/grs.2024.4.13 (2,4 п.л., авторский вклад 60%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: CQUIIV
9. **Краснова, Е. А.** Использование соотношений стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ в задачах нефтяной геологии / Е. А. Краснова, А. В. Ступакова, Р. С. Сауткин, А. В. Корзун, М. А. Большакова, А. А. Сулова // *Георесурсы*. – 2024. – Т. 26. – № 3. – С. 126-137. doi:10.18599/grs.2024.3.14 (1,6 п.л., авторский вклад 60%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: MHLVNK
10. Коробова, Н. И. Особенности состава и строения продуктивных отложений викуловской свиты Красноленинского свода и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства / Н. И. Коробова, Н. С. Шевчук, Е. Е. Карнюшина, Р. С. Сауткин, **Е. А. Краснова** // *Георесурсы*. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 105-122. DOI: 10.18599/grs.2023.2.8 (1,6 п.л., авторский вклад 20%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: UDXCHU
11. Малахова, Т. В. Мониторинг мелководных сипов у мыса Фиолент (Черное море) / Т. В. Малахова, Л. В. Малахова, А. И. Мурашова, А. А. Будников, И. Н. Иванова, **Е. А. Краснова** // *Океанология*. – 2023. – Т. 63. – № 1. – С. 135-148. doi:10.31857/S0030157423010082 (1,2 п.л., авторский вклад 30%). Импакт фактор 1,826 (РИНЦ). EDN: AGTEEO
12. Малахова, Т. В. Средообразующий эффект пузырьковых газовыделений в Голубой бухте (Севастополь, Черное море): кислородный режим и бактериальные маты / Т. В. Малахова, А. И. Мурашова, И. Н. Иванова, А. А. Будников, Л. В. Малахова, **Е. А. Краснова**, О. Рылькова А., Н. В. Пименов // *Геохимия*. – 2023. – Т. 68. – № 3. – С. 294-305. doi:10.31857/S0016752523030081 (1,1 п.л., авторский вклад 30%). Импакт фактор 1,322 (РИНЦ). EDN: MCZGGW
13. Осипов, К. О. Источники нефтей Красноленинского месторождения / К. О. Осипов, М. А. Большакова, Э. А. Абля, **Е. А. Краснова**, Р. С. Сауткин, А. А. Сулова, М. С. Тихонова // *Георесурсы*. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 161-182. doi:10.18599/grs.2023.2.12 (2,4 п.л., авторский вклад 20%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: HLJFMN
14. Самсонов, Р. О. Оценка углеводородного потенциала Крымского полуострова: состояние и перспективы / Р. О. Самсонов, М. Ю. Карпушин, О. В. Крылов, А. А. Сулова, Т. О. Колесникова, А. Н. Стафеев, Р. С. Сауткин, **Е. А. Краснова**, Я. А. Шитова // *Георесурсы*. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 64-75. doi:10.18599/grs.2023.2.5 (0,9 п.л., авторский вклад 20%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: ICUQRI
15. Стафеев, А. Н. Палеогеографические предпосылки нефтегазоносности хадумского горизонта (нижний олигоцен) Предкавказья. / А. Н. Стафеев, А. В. Ступакова, **Е. А. Краснова**, А. А. Сулова, Р. С. Сауткин, Я. А. Шитова, М. Е.

Воронин // *Георесурсы*. – 2023. – Т. 24. – № 2. – С. 89-104. doi:10.18599/grs.2023.2.7 (1,4 п.л., авторский вклад 35%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: DUGSQX

16. Лыгина, Е. А. Эоценовая сейсмичность и палеогеография Центрального Крыма / Е. А. Лыгина, Н. В. Правикова, Е. Р. Чижова, Т. Ю. Тверитинова, Е. В. Яковишина, А. М. Никишин, М. В. Коротаев, А. В. Тевелев, **Е. А. Краснова**, В. Л. Косоруков, Е. Н. Самарин // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. – 2022. – Т. 5. – С. 68-77. doi:10.33623/0579-9406-2022-5-68-77 (0,9 п.л., авторский вклад 20%). Импакт фактор 0,301 (РИНЦ). EDN: UBNDDF

17. Яковишина, Е. В. Климатические флуктуации и условия седиментации турон-коньякских отложений Северо-Западного Кавказа / Е. В. Яковишина, С. И. Бордунов, Л. Ф. Копаевич, Д. А. Нетреба, **Е. А. Краснова** // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. – 2022. – Т. 30. – № 3. – С. 41-61. doi:10.31857/S0869592X22030061 (1,6 п.л., авторский вклад 25%). Импакт фактор 1,418 (РИНЦ). EDN: LQAOTR

18. Яковишина, Е. В. О границе туронского и коньякского ярусов Северо-Западного Кавказа / Е. В. Яковишина, С. И. Бордунов, Л. Ф. Копаевич, **Е. А. Краснова**, Д. А. Нетреба // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. – 2022. – Т. 4. – С. 34-43. doi:10.3103/S0145875222050179 (0,7 п.л., авторский вклад 25%). Импакт фактор 0,301 (РИНЦ). EDN: QTVSOD

19. Карпова, Е. В. Гидротермально-метасоматические системы как важнейший фактор формирования элементов нефтегазоносного комплекса в баженовско-абалакских отложениях / Е. В. Карпова, А. О. Хотылев, Е. А. Мануилова, А. А. Майоров, **Е. А. Краснова**, О. В. Хотылев, А. Г. Калмыков // *Георесурсы*. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 142-151. doi:10.18599/grs.2021.2.14 (0,9 п.л., авторский вклад 25%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: YRMLDU

20. Большакова М. А. Информационная значимость геохимических и гидрогеологических данных в нефтегазовой геологии / М. А. Большакова, А. В. Корзун, А. В. Ступакова, Р. С. Сауткин, А. Г. Калмыков, Э. А. Абля, **Е. А. Краснова**, Н. А. Харитоновна, М. С. Тихонова, Е. В. Козлова, И. А. Санникова, Т. А. Рязанова, И. Ю. Белкин. // *Георесурсы*. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 214-220. doi: 10.18599/grs.2021.2.21 (0,7 п.л., авторский вклад 20%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: AISKFQ

21. **Краснова, Е.А.** Геологическое строение и палеогеографическая зональность хадумского горизонта Предкавказского региона / Е. А. Краснова, А. В. Ступакова, А. Н. Стафеев, Н. П. Фадеева, Н. Ш. Яндарбиев, А. А. Сулова, Я. А. Шитова // *Георесурсы*. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 99-109. doi:10.18599/grs.2021.2.9 (0,8 п.л., авторский вклад 60%). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: OXSBXY

22. Сулова, А. А. Характеристики нефтегазоматеринских толщ баренцево-Карского региона - основа бассейнового анализа и прогноза ресурсов / А. А. Сулова, А. В. Ступакова, М. А. Большакова, Р. С. Сауткин, **Е. А. Краснова**, К. О. Осипов, Т. Клаусен // *Деловой журнал Neftegaz.RU*. – 2021. – Т. 2. – № 110. – С. 65-71. (0,5 п.л., авторский вклад 30%). Импакт фактор 0,309 (РИНЦ). EDN: LVZXUV

23. **Краснова, Е. А.** Изотопно-геохимические особенности распределения газообразных углеводородов в разрезе баженовской свиты (южная часть Западной Сибири) / Е. А. Краснова, А. Ю. Юрченко, А. Г. Калмыков, М. М. Фомина // *Георесурсы*. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 153-158. doi:10.15372/gig2020139 (**0,6 п.л., авторский вклад 60%**). Импакт фактор 0,5 (JIF). EDN: LGVBNW
24. Аветов, Н. Р. О возможных причинах и природе газовыделений вокруг газовых и газоконденсатных скважин на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения / Н. Р. Аветов, **Е. А. Краснова**, В. С. Якушев // *Вести газовой науки*. – 2018. – Т. 33. – № 1. – С. 33-40. (**0,6 п.л., авторский вклад 30%**). Импакт фактор 0,490 (РИНЦ). EDN: XTDJRV
25. Аветов, Н. Р. Некоторые особенности приустьевых газопроявлений из интервала криолитозоны на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения / Н. Р. Аветов, **Е. А. Краснова**, В. С. Якушев // *Газовая промышленность*. – 2017. – Т. 8. – № 756. – С. 44-47. (**0,3 п.л., авторский вклад 30%**). Импакт фактор 0,242 (РИНЦ). EDN: ZEMTUT

Иные публикации

26. Malakhova T.V. Passive acoustic monitoring for seabed bubble flows: Case of shallow methane seeps at Laspi Bay (Black Sea) / T.V. Malakhova, A.A. Budnikov, I.N. Ivanova, A.I. Khurchak, A.P. Khurchak, **Е.А. Krasnova** // *Journal of the Acoustical Society of America*. - 2024. – Vol. 156. – № 6. - P. 4202-4216. doi:10.1121/10.0034605 (**1,2 п.л., авторский вклад 20%**). Импакт фактор 2,1 (JIF). EDN: RSFLFL

Главы в книгах и монографиях

27. Ступакова А.В. Институт перспективных исследований нефти и газа МГУ имени М.В. Ломоносова. Приоритетные направления деятельности / А. В. Ступакова, Г.А. Калмыков, Р.С. Сауткин, А.А. Сулова, **Е.А. Краснова**, М.Е. Воронин, А.П. Завьялова, М.А. Большакова, А.Г. Калмыков, М.Ю. Карпушин// *Издательский дом Недра, Москва*. – 2025. – С. 44 (**2,1 п.л., авторский вклад 15%**)
28. Ступакова А.В. Палеобассейны. История развития осадочных бассейнов и их нефтегазоносность / А. В. Ступакова, О.В. Бакуев, А.П. Завьялова, А.А. Сулова, В.А. Никишин, Н.И. Коробова, В.В. Волянская, В.В. Чупахина, О.В. Желанова, Р.С. Сауткин, Р.М. Гиладев, А.С. Агаян, Т.О. Колесникова, М.А. Большакова, Н.С. Курдина, **Е.А. Краснова** // *Издательский дом Недра, Москва*. – 2024. – С. 220 (**25,5 п.л., авторский вклад 10%**).
29. Pavlov, V. E. New Carbon-Isotope, Conodont, and Magnetostratigraphic Data from the Key Kulyumbe River Section (NW Siberia) and the Problem of Location of the Cambrian-Ordovician Boundary on the Siberian Platform / V. E. Pavlov, A. V. Dronov, T. Y. Tolmacheva, **Е. А. Krasnova**, A. N. Larionov // *Recent Research on Sedimentology, Stratigraphy, Paleontology, Geochemistry, Volcanology, Tectonics, and Petroleum Geology : in 2 vols. / publisher: Advances in Science, Technology & Innovation*. – Springer, 2024. – Vol. 2. doi:10.1007/978-3-031-48758-3_12 (**0,2 п.л., авторский вклад 25%**).