

На правах рукописи

Шалдыбин Михаил Викторович

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ПРОЦЕССОВ НАЛОЖЕННОГО ЭПИГЕНЕЗА НА ФИЛЬТРАЦИОННО-
ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ**
(на примере нефтяных месторождений Томской области)

Специальность 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков по-
лезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск - 2005

Работа выполнена в Томском политехническом университете

и в Томском филиале Федерального государственного унитарного предприятия (ФГУП) Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья («СНИИГГиМС»)

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук **Н.Ф. Столбова**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Н.П. Запивалов**
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент **С.И. Арбузов**

Ведущая организация: ОАО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа Восточной нефтяной компании» (ОАО «ТомскНИПИ-нефть ВНК»)

Защита диссертации состоится *"17" декабря 2005 года* в *10 часов 30 мин.* в 210 аудитории 1 корпуса ТПУ на заседании диссертационного совета Д 212.269.03 при Томском политехническом университете

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан "_11_"_ноября_ 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук

О.Г. Савичев

Актуальность работы. В настоящее время моделирование залежей углеводородов (УВ) проводится с использованием геолого-геофизических характеристик горных пород в пределах объема скважин, в основном по данным ГИС.

За исключением гидродинамических и сейсмических данных, которые мало связаны с изучением геологии пород-коллекторов, отсутствуют другие возможности исследования объемов продуктивных пластов пород-коллекторов за пределами пространства скважин. Это связано с недостаточным выходом керна при бурении глубоких скважин, изучение которого в основном проводится с целью определения емкостных петрофизических параметров, а литологическая характеристика пород часто ограничивается лишь полевым описанием керна. При этом эпигенетические изменения пород-коллекторов практически не изучаются.

Вместе с тем, как показали исследования Б.А. Лебедева (1992), эпигенетические изменения заметно влияют на формирование пустотного пространства нефтегазоносных отложений и обуславливают значительные изменения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород-коллекторов. Среди эпигенетических изменений пород им выделяются стадияльные и наложенные процессы. Наложенные эпигенетические процессы приводят к появлению в обломочных породах-коллекторах минеральных новообразований, значительно осложняющих их внутреннее строение и, как следствие, процесс извлечения из них нефти и газа.

Изучение геохимии продуктов наложенного эпигенеза является одним из эффективных методов оценки ФЕС пород-коллекторов. Детальные петрографические и литогеохимические исследования обломочных пород могут способствовать более точному картированию и пространственной геометризации зон эпигенеза. Исследования геохимии различных элементов по керну скважин, мало применяющиеся в практике геологических работ, позволяют найти геохимические критерии прогноза зон распределения благоприятных коллекторов. Так, например, исследования геохимического поведения урана и алюминия в терригенных осадочных отложениях Западной Сибири позволяют оценить влияние процессов наложенного эпигенеза на ФЕС пород-коллекторов (Столбов, Столбова, Фомин, 1994).

Диссертация посвящена выявлению минералого-геохимических особенностей продуктов наложенного эпигенеза, образующихся в обломочных породах-коллекторах нефтегазоносных юрских и меловых отложений Томской области.

Цель и задачи исследования.

Цель работы – установить геохимические особенности продуктов наложенного эпигенеза в юрских и меловых нефтегазоносных обломочных породах и выработать геохимические критерии прогноза зон благоприятных коллекторов с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами.

Задачи исследования:

1) по керну глубоких скважин выявить отложения, подвергшиеся влиянию процессов наложенного эпигенеза, изучить их геологию, литолого-петрографические и минералого-геохимические особенности, а также закономерности пространственной локализации;

2) выбрать и обосновать комплексную методику исследования эпигенетически измененных пород-коллекторов;

3) изучить продукты вторичного минералообразования и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов;

4) исследовать особенности поведения урана и алюминия в обломочных породах затронутых процессами наложенного эпигенеза и установить связь их содержаний с ФЕС;

5) установить возможность картирования зон наложенного эпигенеза по геохимическим данным;

6) разработать геохимические критерии выделения зон уплотненных и разуплотненных пород-коллекторов.

Методы исследования и фактический материал.

В основу были положены материалы литолого-петрографических и минералого-геохимических исследований терригенных пород-коллекторов различных районов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, выполненных автором в составе коллектива петролого-геохимической лаборатории кафедры геологии, минералогии и разведки полезных ископаемых Института геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета (ТПУ) под руководством доцента Н.Ф. Столбовой, а также в составе лаборатории активационного анализа Томского филиала ФГУП «СНИИГГиМС» под руководством Ю.М. Столбова. Исследования проводились по договорам с ОАО "Томскнефтегазгеология", с Территориальным агентством по недропользованию по Томской области («Томскнедра»), ОАО «Томскнефть», ОАО «СибНАЦ» и другими научными и производственными организациями в период с 1990 по 2003 год.

С целью решения основных задач исследования была отобрана представительная коллекция образцов керна из нефтегазоносных юрских и меловых отложений Томской области (более 10000 обр.), проведена документация керна свыше 100 скважин, просмотрено и описано 330 петрографических шлифов, изучены уровни накопления и закономерности распределения в обломочных и глинистых породах урана и алюминия. Коллекции терригенных пород были отобраны в кернохранилищах нефтегазоразведочных экспедиций Западной Сибири.

Использованы также фондовые геолого-геофизические материалы, хранящиеся в геологических фондах нефтегазоразведочных экспедиций Западной Сибири и в Томском территориальном фонде геологической информации. Определения содержаний урана и алюминия (более 30000 элементоопределений) выполнены методом запаздывающих нейтронов (МЗН) и с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в лаборатории активационного анализа Томского филиала ФГУП «СНИИГГиМС» под руководством кандидата технических наук Ю.М. Столбова. Для уточнения диагностики минералов в осадочных породах использовались рентгенофазовые, рентгеноструктурные и кристаллооптические методы анализа. Коллекторские свойства пород оценивались по результатам их петрофизических исследований.

Практическая ценность. Изучены геохимические особенности поведения урана и алюминия в зонах наложенного эпигенеза в юрских и меловых нефтегазоносных отложениях Томской области. Выявлены петрофизические и минера-

лого-геохимические критерии прогноза зон с благоприятными коллекторскими свойствами. Результаты исследований внедрены в производство на нефтегазопроизводственных и добывающих предприятиях Западной Сибири (выделены и рекомендованы к использованию зоны благоприятных коллекторов на изученных месторождениях Томской области).

Научная новизна.

1) Изучены проявления процессов наложенного эпигенеза в обломочных породах-коллекторах нефтяных месторождений Томской области (Вахское, Кошильское, Двуреченское, Западно-Моисеевское, Крапивинское и др.), а также в породах ачимовского горизонта газоконденсатного Уренгойского месторождения.

2) Установлено, что процессы наложенного эпигенеза приводят к формированию различных минеральных новообразований и влияют на изменение ФЕС пород-коллекторов, уплотняя (уменьшая и ухудшая) или разуплотняя (увеличивая и улучшая) их. Для юрских обломочных пород рассчитаны изменения ФЕС, обусловленные развитием новообразованной минерализации.

3) Показана возможность картирования зон наложенного эпигенеза по геохимическим данным – уровням концентрации урана и алюминия.

4) Выявлено, что зоны уплотненных и разуплотненных пород могут быть выделены с использованием геохимического показателя U/Al_2O_3 .

5) Выполнен анализ взаимосвязи зон разуплотнения выделенных по литолого-геохимическим данным и материалам сейсмических исследований.

Основные защищаемые положения.

1) Процессы наложенного эпигенеза на изученных нефтяных месторождениях проявлены в карбонатизации, сульфидизации, битуминизации, регенерации кварца и полевых шпатов, каолинитизации и слюдизации обломочных пород-коллекторов. При этом карбонатизация, сульфидизация, битуминизация и регенерация кварца ухудшают фильтрационно-емкостные свойства пород, а каолинитизация и слюдизация – улучшают.

2) Процессы наложенного эпигенеза в разной степени развиты на изученных месторождениях, а интенсивность их проявления в породах-коллекторах обусловлена масштабами химических изменений, что отражается в геохимическом поведении урана и алюминия.

3) Установлена связь зон разуплотнения пород-коллекторов с отрицательными литогеохимическими аномалиями, выделенными по величине U/Al_2O_3 .

Апробация работы. Защищаемые положения и основные результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных международных симпозиумах им. академика М.А. Усова в Томском политехническом университете (1994-2000 гг.), на научно-практических конференциях «Проблемы геологии Сибири» (Томск, 1994), «Перспективы нефтегазоносности слабоизученных комплексов отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты» (Томск, 1995), «Актуальные вопросы геологии и географии Сибири» (Томск, 1998), Международных научных симпозиумах «Молодежь и проблемы геологии» (Томск, 1997-1998),

«Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона: гуманитарные, естественные и технические аспекты» (Тюмень, 1999), на конференции молодых специалистов ОАО «Томскнефть» ВНК (Стрежевой, 2002) и др., а также на научных семинарах в ТПУ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения. Она содержит 179 страниц машинописного текста, в том числе 66 иллюстраций и 20 таблиц. Список литературы включает 126 наименований.

Во введении кратко изложены цель и задачи исследования, актуальность и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена обзору научных данных, касающихся проблем эпигенеза в терригенных породах-коллекторах и возникновения в них пустотного пространства. Здесь же рассмотрена геохимия урана и алюминия и показана возможность использования этих элементов для картирования зон наложенного эпигенеза и оценки ФЕС пород-коллекторов.

Во второй главе охарактеризована методика исследований и показан использованный в исследованиях геологический материал.

В третьей главе подробно описаны результаты литолого-петрографических исследований обломочных пород продуктивных нефтяных месторождений Томской области, а также Уренгойского газоконденсатного месторождения Западной Сибири, рассмотрено влияние вторичного минералообразования на ФЕС коллекторов.

Четвертая глава посвящена изучению геохимических особенностей продуктов наложенного эпигенеза.

В пятой главе освещаются результаты оценки ФЕС пород по литогеохимическим данным, охарактеризованы минералого-геохимические критерии прогноза зон благоприятных пород-коллекторов.

В заключении даны результаты обсуждения исследований по защищаемым положениям работы.

Работа выполнена в Институте геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета на кафедре геологии, минералогии и разведки полезных ископаемых под руководством к.г.-м.н., доцента Н.Ф. Столбовой.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ. Материалы и результаты исследований изложены в 14 научно-исследовательских и хозяйственных отчетах. Автор был ответственным исполнителем 6 хозяйственных научно-исследовательских работ.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю, доценту ТПУ, к.г.-м.н. Н.Ф. Столбовой за научную, идейную, и моральную поддержку. Автор признателен к.т.н. Ю.М. Столбову, зав. лабораторией активационного анализа Томского филиала ФГУП «СНИИГГиМС», за помощь в освоении и применении ядерно-геохимических методов исследований в нефтяной геологии. Автор благодарен также всем, кто оказывал ценные консультации и давал советы в процессе подготовки работы - Г.Д. Исаеву, И.Н. Ушатинскому, Ю.А. Фомину, В.Д. Волостнову, Ю.В. Киселеву, Е.И. Бочарову,

М.И. Шаминовой, Л.П. Рихванову, В.К. Бернатонису, Б.Д. Васильеву, Н.М. Недоливко и др.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Процессы наложенного эпигенеза на изученных нефтяных месторождениях проявлены в карбонатизации, сульфидизации, битуминизации, регенерации кварца и полевых шпатов, каолинитизации и слюдизации обломочных пород-коллекторов. При этом карбонатизация, сульфидизация, битуминизация и регенерация кварца ухудшают фильтрационно-емкостные свойства пород, а каолинитизация и слюдизация – улучшают.

Эпигенетические или вторичные процессы в породах-коллекторах в разные годы изучали З.Я. Сердюк и А.А. Розин, Б.А. Лебедев, Г.Н. Перозио, И.Н. Ушатинский, О.Г. Зарипов, О.М. Гарипов, Ю.М. Зубков, Н.Ф. Столбова и Ю.М. Столбов, А.В., Ежова, Н.М. Недоливко в Западной Сибири, а также Р.С. Сахибгареев, Л.В. Пустовалов, А.Г. Коссовская и В.Д. Шутов, В.Н. Холодов, О.В. Япаскurt, Б.А. Лебедев, Ю.К. Бурлин, Е.Е. Карнюшина в других регионах страны. Гидрогеологические аспекты проблемы эпигенеза рассматривались А.А. Махначом, С.Л. Шварцевым, Е.А. Жуковской. Значительный вклад в изучение постседиментационных процессов внесли коллективы ряда научных организаций страны – РАН, ВНИГРИ, МГУ, ГАНГ, ЗапСибНИГНИ, СНИИГГиМС и др.

Б.А. Лебедевым (1992) постседиментационные процессы, протекающие в осадочных нефтегазоносных бассейнах, были систематизированы и разделены на стадияльные и наложенные. При этом под стадияльным эпигенезом им понимаются постседиментационные изменения пород, происходящие в них при погружении осадочного бассейна. Он имеет региональный характер и протекает в закрытых системах. Наложенный эпигенез по Б.А. Лебедеву проявляется при поднятии (инверсии) осадочного бассейна с образованием зон тектонических нарушений, по которым происходит проникновение в горные породы агрессивных водно-углеводородных флюидов. Наложенный эпигенез обусловлен системами взаимодействия пород, пластовых вод и УВ, имеет локальный характер и часто проявляется в зонах нефтегазонакопления (Лебедев, 1992).

Изученные породы-коллекторы Междуреченского, Западно-Моисеевского, Крапивинского и Вахского нефтяных месторождений представлены песчаниками, реже алевролитами. Основным нефтевмещающим горизонтом является пласт Ю₁, стратиграфически принадлежащий васюганской свите. На Вахском и Крапивинском месторождениях явления стадияльного эпигенеза в этом пласте выражены в достаточно сильном уплотнении обломочного материала песчаных пород с формированием конформных структур соприкосновения обломков. Стадияльные процессы обусловили также изгиб слюд, коррозию и частичное растворение зерен кварца и алюмосиликатных минералов, преобразование и перекристаллизацию глинистого цемента. В целом седиментационно-диагенетические и катагенетические условия формирования пород-коллекторов продуктивных пластов способствовали достаточно плотной упаковке обломоч-

ного и аутигенного материала при незначительном проявлении в них первичного межобломочного порового пространства.

Основной вклад в формирование ФЕС продуктивного пласта Ю₁ внесли процессы наложенного эпигенеза в системе «породы-воды», при участии СО₂. В результате воздействия углекислых растворов на алюмосиликатные минералы обломочных пород, а также их цемент образовались вторичные глинистая и карбонатная фазы. Их появление и происхождение объясняется равновесно-неравновесным состоянием системы «вода-порода» (Шварцев, 1991). Физическим результатом данного взаимодействия является, то что, во-первых, сформировались вторичные поры выщелачивания и, во-вторых, произошло отложение новообразованных минералов, оказавших в итоге ухудшающее или улучшающее влияние на ФЕС пород. Для пород-коллекторов пласта Ю₁ Вахского, Кошильского и Крапивинского месторождений нефти была выполнена статистическая оценка влияния эпигенетической минерализации на изменение (увеличение или уменьшение) пустотного пространства (рис. 1).

Минеральные новообразования представлены глинистыми (каолиниты, иллиты) и карбонатными (кальцит, сидерит) минералами, развивающимися по полевым шпатам, а также хлоритами и слюдами (биотит и мусковит). Последние пространственно располагаются в межзерновых промежутках, а также на месте замещаемых минералов и во вторичных порах. Появление новообразованных минералов отнесено к следующим наложенным процессам: каолинитизации, регенерации кварца и полевых шпатов, карбонатизации и слюдизации (гидросланодизации). Вторичные процессы выражены также в битуминизации и сульфидизации пород, особенно четко проявленных в их трещиноватых и проницаемых (дислоцированных) участках.

Отличительной особенностью **регенерации** кварца в обломочных породах является укрупнение его зерен за счет пустотного межзернового пространства. Регенерация кварца чаще всего наблюдается в наиболее проницаемых зонах пород-коллекторов. Она вызывает повышение объемной доли кварца, увеличение мономинеральности отдельных участков коллектора, образование гранобластовых структур, укрупнение зерен первичного кварца за счет отложения кремнезема. Наиболее сильный рост кремнистых каемок наблюдается со стороны свободного межобломочного пространства пород. При регенерации кварца наблюдается увеличение пористости - с 9,4 до 14,7 %. При этом, в образцах с высокой долей регенерированного кварца пористость понижается до 12,8 %. Регенерация кварца почти не оказывает существенного влияния на проницаемость пород и в целом приводит к ухудшению ФЕС (рис. 1а, 1б).

Карбонатизация или отложение карбонатных минералов (чаще кальцита) в обломочных породах происходит при падении парциального давления и повышении рН среды до 8 и более единиц. Она приводит к резкому ухудшению коллекторских свойств обломочных пород. Ее интенсивность зависит от объемов СО₂, вступивших в соединение с водой, начального содержания алюмосиликатов, количества отлагающегося материала и объема пустотного пространства. Влияние карбонатизации заключается в резком снижении пористости до

3,5 % и особенно проницаемости - почти до нуля (рис. 1в, 1г). В одних случаях она проявляется незначительно, затрагивая лишь частично горную породу - 3-5 % от объема коллектора. В других случаях вторичные карбонаты заполняют все пустотное пространство и их содержание достигает 40-50 %. На Вахском месторождении карбонатизация обуславливает образование столбов и перемычек мощностью в несколько метров, которые разбивают месторождение и залежи на отдельные участки и микрозалежи, усложняя его конфигурацию.

К процессу **битуминизации** отнесены наблюдаемые явления образования твердых продуктов окисления и деградации УВ. Количество битумов в песчаных породах колеблется от 0 до 20 %. Битуминизация приводит к уменьшению эффективного пустотного пространства и, в первую очередь, проницаемости пород. В породах-коллекторах битумы развиваются в межзерновых промежутках, трещинах и по глинизированным полевым шпатам. Твердые продукты окисления УВ образуются в системах наложенного эпигенеза "воды-УВ, "породы-УВ" и "УВ-УВ" (Лебедев, 1992). Образующиеся битумы заполняют пустотное пространство и в первую очередь наиболее проницаемые и трещиноватые участки коллекторов. Тем самым они препятствуют миграции жидких УВ и как следствие ухудшают ФЕС коллекторов. Пористость при заполнении пустот вторичными битумами меняется мало, убывая не более чем на 3 %. В то же время проницаемость резко падает с $13,2 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ до $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ (рис. 1д, 1е).

Сульфидизация (пиритизация) - распространенный процесс, протекающий в системе наложенного эпигенеза «воды-воды». Сульфиды в изученных породах представлены пиритом и марказитом. Содержание пирита в коллекторах может достигать 10-15 %. Редко встречаются участки коллекторов, сложенные им полностью. Пиритизация обычно проявляется в зонах контакта различных сред: в кровле и подошве продуктивных пластов, насыщенных УВ, а также на водо-нефтяном контакте. Она обусловлена, по-видимому, наличием геохимических барьеров и деятельностью сульфатредуцирующих микроорганизмов. Сульфиды локализуются в наиболее проницаемых трещиноватых зонах обломочных и глинистых пород, заполняя трещины и, тем самым, закупоривая их. Поэтому сульфидизация отнесена к числу процессов, ухудшающих ФЕС коллекторов: как пористость, так и проницаемость незначительно уменьшаются (рис. 1ж, 1з).

Каолинитизация. Каолинит является конечным продуктом гидролитического разрушения полевых шпатов и слюд. Благодаря ее развитию формируются высокопористые, разуплотненные породы-коллекторы. Содержание каолинита достигает 7-12 %. Как правило, в сильно измененных породах-коллекторах подавляющее большинство алюмосиликатных зерен (полевых шпатов, обломков кислых пород, глинистых литокластов) замещено каолинитом. Зоны каолинитизации часто являются нефтемещающими (благоприятный минералогический признак). Каолинитизация существенно улучшает коллекторские свойства пород. Пористость возрастает с 10,2 до 17,8 %, а проницаемость почти на порядок – с $6,84 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ до $50 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ (рис. 1и, 1к).

В процессе глинизации алюмосиликатных минералов, наряду с каолинитом образуются гидрослюды и монтмориллонит. Глинизация чаще всего развивается по натриевым и калиевым полевым шпатам и фемическим алюмосиликатным минералам. Параллельно с глинизацией идет **слюдизация** пород. К слюдизации отнесены процессы образования гидрослюдистых агрегатов по обломкам полевых шпатов и глинистому цементу пород, формирование пленочного хлорита по биотиту, замещение мусковита иллитом и серицитом, появление новообразованных мусковитовых и биотитовых слюд. Слюдизация неоднозначно влияет на пустотное пространство пород: пористость слабо повышается от 8,2 % до 13,6 %, в то время как проницаемость возрастает более чем на порядок - с $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ до $20 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ (рис. 1л, 1м).

Таким образом, все выделенные явления, имеющие эпигенетическую природу, по характеру влияния на ФЕС пород-коллекторов можно разделить на две группы: уменьшающие эффективное пустотное пространство: регенерация (рекристаллизация) кварца и альбита (альбитизация), карбонатизация, сульфидизация и битуминизация; улучшающие фильтрационно-емкостные свойства пород: дислокационные явления (катаклиз, дробление и др.), глинизация и слюдизация алюмосиликатов (каолинитизация, гидрослюдизация).

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Процессы наложенного эпигенеза в разной степени развиты на изученных месторождениях, а интенсивность их проявления в породах-коллекторах обусловлена масштабами химических изменений, что отражается в геохимическом поведении урана и алюминия.

Петрографические и геохимические исследования пород-коллекторов отдельных месторождений показали, что различные минеральные новообразования обусловлены развитием процессов наложенного эпигенеза, а в объеме пород-коллекторов они развиты локально и неравномерно. В целом это приводит к возрастанию геологической неоднородности коллекторов, а практически отражается в усложнении пространственной структуры залежей. Установлено, что в породах-коллекторах Крапивинского месторождения в большей мере проявилась регенерация кварца, наложенная на дислокационные процессы, в то время как карбонатизация развита интенсивно, но локально. Для коллекторов Вахского месторождения ведущее значение имеет глинизация коллекторов при незначительной роли регенерации кварца и карбонатизации. Для пород Кошильского месторождения характерна высокая карбонатизация, а в целом процессы вторичного минералообразования развиты равномерно (рис.2).

Процессы наложенного эпигенеза изменяют химический состав пород и приводят к перераспределению вещества в породах, что отражается в геохимическом поведении элементов и микроэлементов. Так результаты изучения содержаний урана и алюминия в отдельных интервалах проявления минеральных новообразований для данных месторождений позволили определить степень геологической неоднородности, обусловленную процессами наложенного эпигенеза. Подобную неоднородность (или сложность строения залежей) косвенно

можно оценить по содержаниям данных элементов в породах, используя коэффициенты их корреляции с различными вторичными процессами (рис. 2).

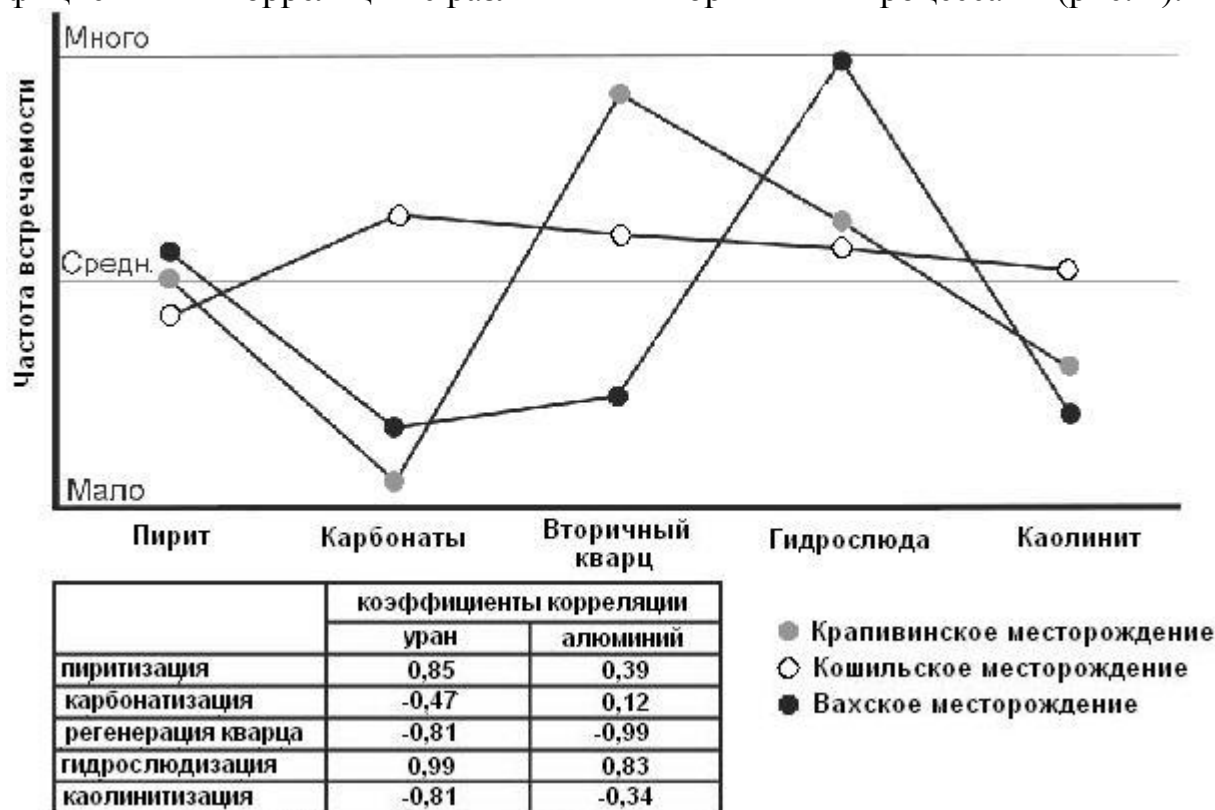


Рисунок 2. Минеральные новообразования в породах-коллекторах пласта Ю¹.

В обломочных породах-коллекторах были рассчитаны средние содержания урана и алюминия в форме Al_2O_3 (таблица 1).

Таблица 1

Средние содержания U и Al_2O_3 , величины U/Al_2O_3 , пористость, проницаемость и карбонатность обломочных пород юрского и мелового возраста юго-восточной части Западной Сибири

Возраст	Кол-во проб	Содержание урана, $n \cdot 10^{-4} \%$	Содержание Al_2O_3 , %	Отношение U/Al_2O_3	Пористость, %	Проницаемость, $n \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$	Карбонатность, %
Ранний мел	30	1,7	13,4	0,13	22,4	390,1	0,8
Поздняя юра	728	1,8	12,3	0,14	13,3	12,1	3,2
Ранняя и средняя юра	178	2,0	12,4	0,16	10,5	5,8	3,5

Содержания урана в обломочных породах-коллекторах изменяются в пределах от $0,9 \cdot 10^{-4} \%$ до $4,0 \cdot 10^{-4} \%$ и в среднем составляют $1,99 \cdot 10^{-3} \%$ для песчаников и $2,6 \cdot 10^{-4} \%$ для алевролитов. Такие содержания урана характерны для пород, не затронутых процессами наложенного эпигенеза. Высокие содержания урана в песчаных породах (более $4 \cdot 10^{-4} \%$) обусловлены либо значительным количеством в них седиментационно-диагенетического ОВ или его компонентов, либо повышенной концентрацией в них обломков акцессорных минералов

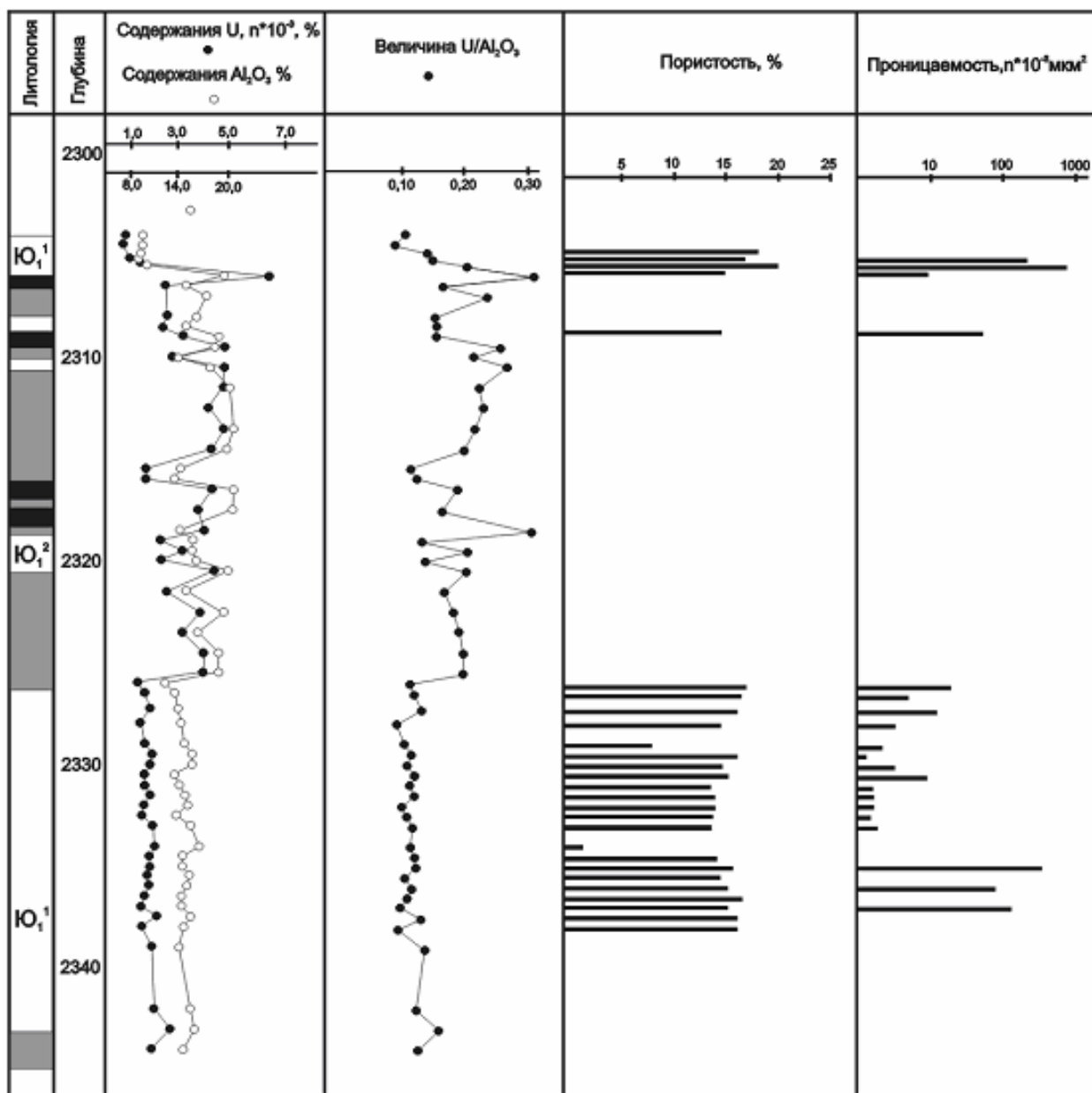
(сфен, циркон и др.). Песчаники позднеюрского возраста (J_3), в которых заметно проявлены процессы наложенного эпигенеза, содержат уран в среднем в количестве $1,75 \cdot 10^{-4} \%$. Наиболее низкие уровни накопления урана соответствуют, как правило, бурым, пористым и рыхлым по текстуре, средне- и крупнозернистым по структуре, нефтенасыщенным песчаникам.

Уран, как и пороодообразующие химические элементы первой и второй групп периодической системы, выносится в процессе углекислотного метасоматоза. Это демонстрируют данные изучения уровней его накопления в нефтегазоносных породах-коллекторах в скважине 95 Вахско-Кошильского нефтяного месторождения. Аномально низкие содержания урана наблюдаются в песчаниках продуктивных пластов $Ю_1^1$ ($C_U-0,8 \cdot 10^{-4} \%$) и $Ю_1^3$ ($C_U-1,5 \cdot 10^{-4} \%$) при среднем содержании урана в песчаных породах поздней юры $1,8 \cdot 10^{-4} \%$ (рис. 3). Таким образом, из интервалов продуктивных пород-коллекторов происходит вынос урана. Установлено, что величина его выноса составляет 30-40 %, реже достигает 70 %. В песчаных породах с содержанием урана около $2,1 \cdot 10^{-4} \%$, процессы разуплотнения не наблюдаются - их пористость не превышает 14-15 %, в то время как разуплотненные породы-коллекторы с низкими содержаниями урана имеют пористость более 16-18 % (рис. 3). Таким образом, зоны выноса урана совпадают с интервалами разуплотненных коллекторов, а значит, с зонами вероятного нефтегазонакопления.

Содержания Al_2O_3 в обломочных породах изменяются от 7,0 % в кварцевых песчаниках до 22,5 % в обломочных породах алевропелитовой размерности и их глинистых разновидностях. Пониженные содержания Al_2O_3 часто наблюдаются в карбонатизированных песчаниках или алевролитах и составляют в среднем около 9-11%. Среднее содержание Al_2O_3 в обломочных породах ранней и средней юры для месторождений Томской области составляет 12,4 %, а для песчаников поздней юры отвечающих по химическому составу полимиктовым, преимущественно кварц-полевошпатовым песчаникам - 12,3 %, (табл. 1).

Установлено, что при развитии вторичного минералообразования содержания урана и алюминия меняются следующим образом: в зонах каолинитизации наблюдается снижение содержания урана до $1,3-1,4 \cdot 10^{-4} \%$ и незначительное повышение концентрации Al_2O_3 с 11 до 12 %. Таким образом, уран в зонах каолинитизации выносится, а увеличение содержания алюминия происходит за счёт глинизации и выноса щелочных петрогенных компонентов из алюмосиликатных минералов пород - полевых шпатов и слюд (рис. 4а, 4б); в породах-коллекторах, насыщенных вторичными слюдами, происходит накопление как урана, так и глинозема (рис. 4г, 4д); в зонах регенерации кварца происходит снижение содержания урана с $1,8 \cdot 10^{-4}$ до $1,4 \cdot 10^{-4} \%$, и Al_2O_3 с 12,3 до 10,8 %. Это обусловлено тем, что в зонах вторичного окварцевания резко возрастает доля чистого кремнезема при отсутствии других примесей (рис. 4з, 4и); в процессе карбонатизации содержания урана резко снижаются в среднем до $1,2 \cdot 10^{-4}$, а Al_2O_3 до 9,35 % (рис. 4л, м). Содержание Al_2O_3 в зонах сильной карбонатизации (40-50 % вторичных карбонатов) обычно не превышает 7-8 %; при

сульфидизации в обломочных породах происходит накопление и урана, и Al_2O_3 (рис. 4о, 4п).



Условные обозначения: - песчаники - алевролиты - аргиллиты

Рисунок 3. Литогеохимический и петрофизический разрезы по скважине 95-Р Северо-Вахской площади (Выполнили: Столбов Ю.М., Шалдыбин М.В., Бочаров Е.И.).

Таким образом, существенное снижение содержаний урана происходит в зонах каолинитизации, карбонатизации и регенерации кварца, а увеличение – в зонах слюдизации и сульфидизации, что предопределяет возможность их выделения по уровням концентрации этого элемента. Алюминий во всех процессах остается малоподвижным. Незначительное его накопление происходит лишь в процессе каолинитизации пород-коллекторов.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Установлена связь зон разуплотнения пород-коллекторов с отрицательными литогеохимическими аномалиями, выделенными по величине U/Al_2O_3 .

На основании статистической обработки материала определены средние значения пористости, проницаемости, карбонатности и величины U/Al_2O_3 в различных типах обломочных пород (табл. 1).

Величина отношения U/Al_2O_3 ($n \cdot 10^{-4}$) изменяется от 0,09 в рыхлых нефтенасыщенных песчаниках до 0,18 в неизмененных плотных алевролитах. В среднем она составляет для песчаников нижнемеловых отложений 0,133, а для верхне- и ниже-среднеюрских песчаников соответственно 0,147 и 0,162. Иногда величина U/Al_2O_3 достигает величины 0,34, что, по-видимому, обусловлено высоким содержанием урана в обломках акцессорных минералов.

Содержания урана менее $2,0 \cdot 10^{-4} \%$ и низкая величина U/Al_2O_3 для обломочных пород пласта Ю₁ (J₃) являются практически значимыми геохимическими показателями развития процессов разуплотнения: средняя пористость в таких коллекторах более 13 %, а проницаемость свыше $3 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ (рис. 5). Данный критерий используется для выделения в разрезе зон разуплотненных коллекторов и для прогноза возможных зон нефтегазонакопления пласта Ю₁.

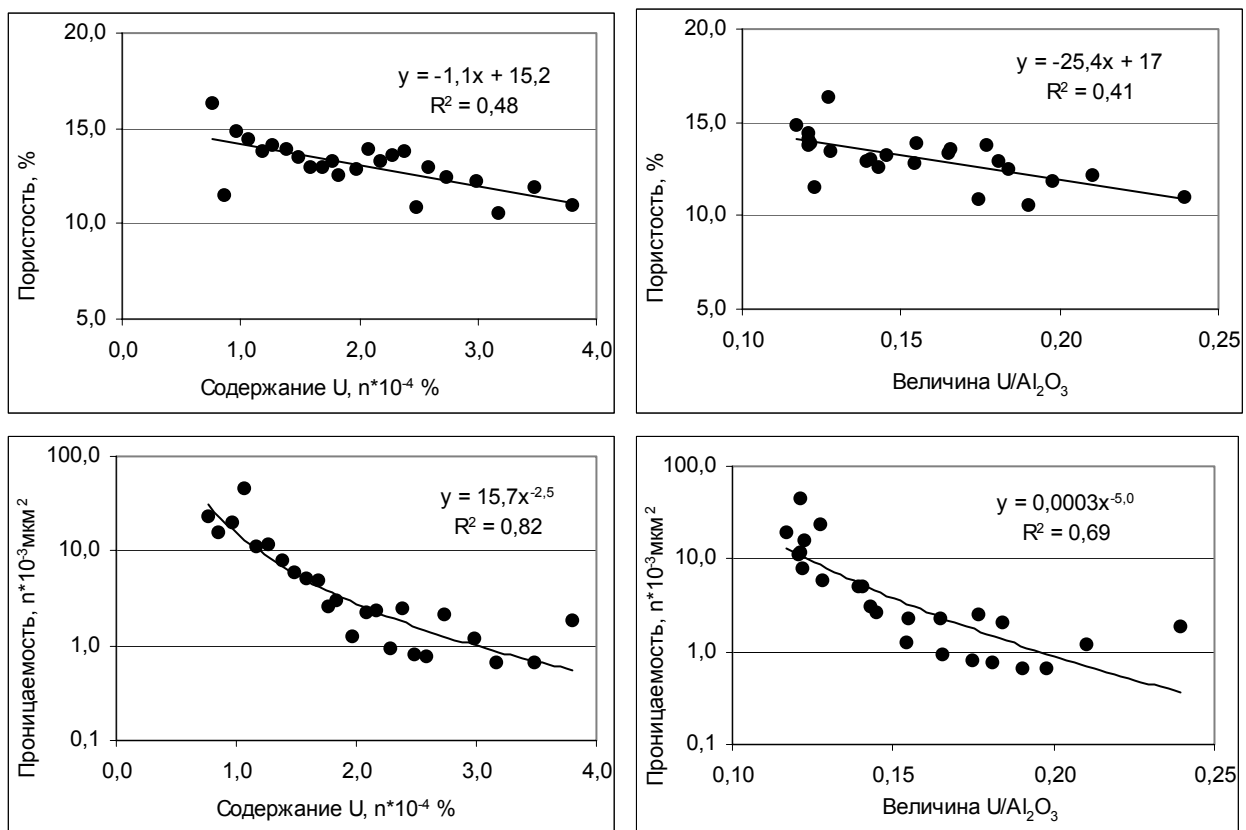


Рисунок 5. Зависимость пористости и проницаемости от содержаний урана и величины U/Al_2O_3 ($n \cdot 10^{-4}$) в породах-коллекторах поздней юры (728 проб).

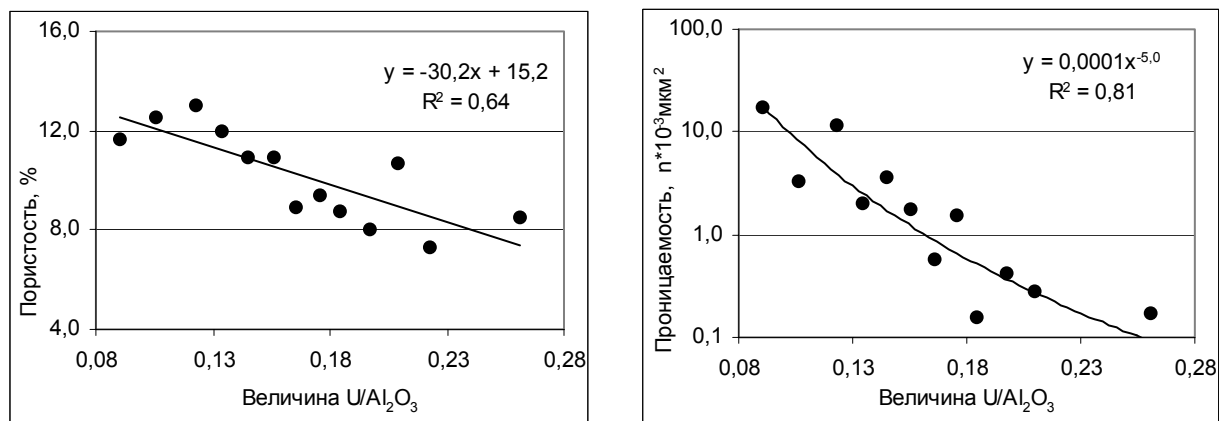


Рисунок 6. Зависимость пористости и проницаемости от величины U/Al_2O_3 ($n \cdot 10^{-4}$) в породах-коллекторах ранней и средней юры (178 проб).

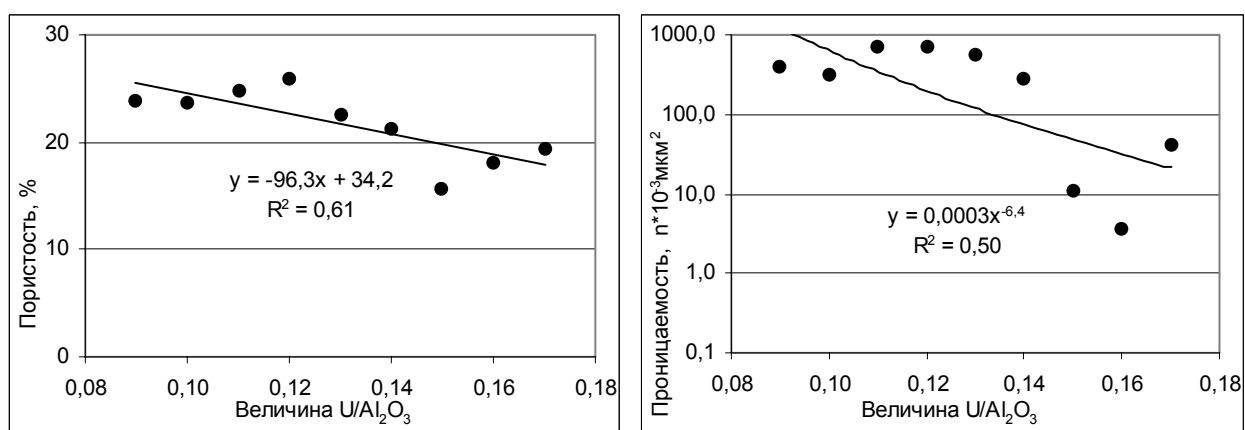


Рисунок 7. Зависимость пористости и проницаемости от величины U/Al_2O_3 ($n \cdot 10^{-4}$) в породах-коллекторах раннего мела (30 проб).

Продукты зон наложенного эпигенеза, образующиеся в пустотном пространстве пород-коллекторов, также характеризуются определенной величиной U/Al_2O_3 . Так, в зонах каолинитизации наблюдается ее падение с 0,141 до 0,117 (рис. 4в). Она же свидетельствует об отсутствии значимого перераспределения элементов при появлении новообразованных слюд (рис. 4ж), регенерации кварца (рис. 4к) и вторичном карбонатообразовании (рис. 4н). При сульфидизации в обломочных породах величина U/Al_2O_3 растет до 0,146 (рис. 4р).

Таким образом, прикладные литогеохимические исследования показали, что поля развития зон разуплотненных пород-коллекторов выделяются по концентрациям урана и алюминия. Так, в зонах каолинитизации пород-коллекторов до 25 % U подвергается выносу с одновременным повышением валовой доли Al_2O_3 . Это позволяет использовать величину U/Al_2O_3 в качестве геохимического критерия зон каолинитизации, а значит и зон нефтегазонакопления, так как наличие каолинита является для них благоприятным минералогическим поисковым признаком. Уран практически не мигрирует при развитии в породах процессов слюдизации и карбонатизации, крайне слабо (не более 10 %) он выносится при регенерации кварца, накапливается в зонах сульфидизации.

С использованием величины отношения U к Al_2O_3 можно проводить количественную оценку зон разуплотнения пород-коллекторов, т.к. минимальные величины этого отношения (менее 0,12) наблюдаются в породах-коллекторах с пористостью более 16-18 % и высокой проницаемостью – обычно выше $1 \cdot 10^{-3}$ мкм². Это позволяет использовать геохимический показатель U/Al_2O_3 как универсальный инструмент для выделения в разрезах глубоких скважин зон уплотненных и разуплотненных пород-коллекторов.

На основании полученных данных выработаны комплексные минералогическо-геохимические и петрофизические критерии выделения зон уплотнения и разуплотнения пород-коллекторов (табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что в юрских и меловых нефтегазоносных отложениях на месторождениях Томской области проявлены процессы наложенного эпигенеза. Они обусловлены воздействием насыщенных углекислотой водно-углеводородных растворов, а также дислокационным метаморфизмом и выразились в формировании минеральных новообразований и сопровождаются химическими изменениями.

Установлено, что в результате развития процессов наложенного эпигенеза в обломочных породах происходят минеральные преобразования и изменение физических свойств пород: плотности, пористости и проницаемости. При этом каолинитизация и слюдизация способствуют развитию пустотного пространства (увеличению пористости и проницаемости), а процессы регенерации минералов, карбонатизации, сульфидизации и битуминизации приводят к уплотнению коллекторов - заполнению пустотного пространства в породах.

Рассчитан вклад различных вторичных процессов в формирование ФЕС пород-коллекторов. Так, для пород-коллекторов продуктивного пласта Ю₁ Крапивинского и Вахско-Кошильского месторождений в зонах каолинитизации пористость возрастает с 14 % до 17,8 %, а проницаемость на порядок. В участках пластов, подверженных карбонатизации, напротив, пористость падает в 3 раза (с 13,5 % до 4,5 %), а проницаемость в десятки раз.

Сравнительный анализ разновозрастных продуктивных и непродуктивных на нефть и газ отложений показал, что коллекторы раннего мела имеют наиболее высокую пористость и проницаемость. Пустотное пространство в них в основном обусловлено первичными условиями осадконакопления, слабым уплотнением, большой мощностью пластов, отсутствием интенсивных вторичных преобразований. Верхнеюрские отложения существенно уплотнены и сцементированы при стадийном эпигенезе и значительно преобразованы процессами наложенного эпигенеза. В обломочных породах поздней юры интервалы проявления каолинитизации сопровождаются выносом урана и накоплением алюминия, а также повышением пористости и проницаемости. Породы-коллекторы в зонах карбонатизации характеризуются небольшими концентрациями урана и алюминия, а также аномально низкими величинами пористости и проницаемо-

сти при высокой их плотности. Породы-коллекторы нижне- и среднеюрских отложений существенно уплотнены при стадийном эпигенезе и в них редко наблюдаются проявления зон наложенного эпигенеза.

Зоны развития наложенного эпигенеза в обломочных породах могут быть выявлены по изменению концентрации многих элементов и в частности урана и алюминия. По величине отношения U к Al_2O_3 можно прогнозировать зоны развития разуплотненных пород-коллекторов. Минимальные величины U/Al_2O_3 (менее 0,12) наблюдаются в породах-коллекторах с высокой пористостью (более 16-18 %) и высокой проницаемостью (свыше $1 \cdot 10^{-3}$ мкм²).

На основе комплексных минералого-петрографических и литолого-геохимических исследований, определены минералого-геохимические и петрофизические критерии прогноза зон уплотненных (улучшенных) и разуплотненных (ухудшенных) пород-коллекторов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шалдыбин, М. В. Результаты литогеохимических исследований отложений тюменской свиты северной части Западной Сибири / М.В. Шалдыбин, Ю.М. Столбов // Проблемы геологии Сибири: Тез. докл. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1994. – Т. 2., -С. 34-35.
2. Шалдыбин, М. В. Литогенез и перспективы нефтегазоносности ачимовских отложений северо-востока Западной Сибири / Н.Ф. Столбова, Ю.М. Столбов, М.В. Шалдыбин // Проблемы геологии Сибири : Тез. докл. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1994. –Т. 2. -С. 30-31.
3. Шалдыбин, М. В. Литогеохимия как резерв повышения эффективности поисково-разведочных работ на нефть и газ в Томской области / Ю.М. Столбов, Ю.А. Фомин, М.В. Шалдыбин // Перспективы нефтегазоносности слабоизученных комплексов отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты. Палеозой. Нижняя-средняя юра : Тез. докл. - Томск : Томскгеолком, 1995.- С. 65-67.
4. Шалдыбин, М. В. Геодинамические и метасоматические явления в нефтегазоносных отложениях юго-востока Западной Сибири / Н.Ф. Столбова, Ю.Я. Ненахов, Ю.М. Столбов, М.В. Шалдыбин // Магматизм и геодинамика Сибири : Тез. докл. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1996. -С. 174-175.
5. Шалдыбин, М. В. Явления наложенного эпигенеза в нефтегазоносных отложениях Западной Сибири / М.В. Шалдыбин // Молодежь и проблемы геологии – Томск. 1997. -С. 97-98.
6. Шалдыбин, М. В. Роль явлений наложенного эпигенеза в формировании фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов / М.В. Шалдыбин // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Мат-лы науч. конф., посв. 120-летию осн. ТГУ – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1998. -С. 178-179.
7. Шалдыбин, М. В. Явления наложенного эпигенеза и вторичная глинистость в нефтегазоносных отложениях Западной Сибири / М. В. Шалдыбин // Проблемы геологии и освоения недр – Томск : Изд-во НТЛ, 1998. -С. 105-107.

8. Шалдыбин, М. В. Природа глинистости продуктивных пород-коллекторов нефтяных месторождений Томской области / Н.Ф. Столбова, М.В. Шалдыбин // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Мат-лы науч. конф., посв. 120-летию осн. ТГУ. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. -С. 146-148.
9. Шалдыбин, М. В. Литогеохимические особенности обломочных пород в северо-западной части Парабельского мегавала в связи с их нефтегазоносностью / Н.Ю. Конышева, М.В. Шалдыбин // Проблемы геологии и освоения недр – Томск : Изд-во НТЛ, 1998. -С. 80-81.
10. Шалдыбин, М. В. Процессы наложенного эпигенеза верхнеюрских пород-коллекторов в литогеохимических и сейсмических аномалиях (Томская область) / М.В. Шалдыбин // Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона: гуманитарные, естественные и технические аспекты : Тез. докл. конф. - Тюмень, 1999. -С. 108-109.
11. Шалдыбин, М. В. О перспективах нефтегазоносности отложений палеозоя Нюрольской структурно-фациальной зоны (Томская область) / Г.Д. Исаев, Н.Ф. Столбова, М.С. Паровинчак, Ю.М. Столбов, М.В. Шалдыбин, М.И. Шамина // Мат-лы региональной конференции геологов Сибири и Дальнего Востока России. - Томск, 2000. - Т. 1. -С. 184-192.
12. Шалдыбин, М. В. Возможность визуальной диагностики степени разуплотненности пород на больших глубинах (на примере палеозоя Западно-Сибирской плиты) / Г.Д. Исаев, Ю.Я. Ненахов, М.В. Шалдыбин // Инновационные методы и технологии нефтегазопроисловых работ и возможные пути их реализации в юго-восточных районах Западной Сибири. – Томск : Изд-во «ИнформГеоСервис», 2000. -С. 93-100.
13. Шалдыбин, М. В. Тектоно-метасоматические преобразования продуктивных отложений юры и их отображение в сейсмических полях / М.В. Шалдыбин // Проблемы геологии и освоения недр – Томск : Изд-во НТЛ, 2000. -С. 178-179.
14. Шалдыбин, М. В. Влияние процессов наложенного эпигенеза на коллекторские свойства нижнесреднеюрских отложений юго-востока Западной Сибири / Ю.М. Столбов, М.В. Шалдыбин // Мат-лы межд. науч.-техн. конф. «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науке и производству». Томск : Изд-во ТПУ, 2001. -С. 260-263.
15. Шалдыбин, М. В. Оценка влияния процессов наложенного эпигенеза на фильтрационно-емкостные свойства терригенных пород-коллекторов юго-востока Западной Сибири / Ю.М. Столбов, М.В. Шалдыбин, Е.И. Бочаров // Сб. науч. тр. «30 лет на службе Томской геологии» - Новосибирск : СНИИГ-ГиМС, 2002. -С. 114-117.

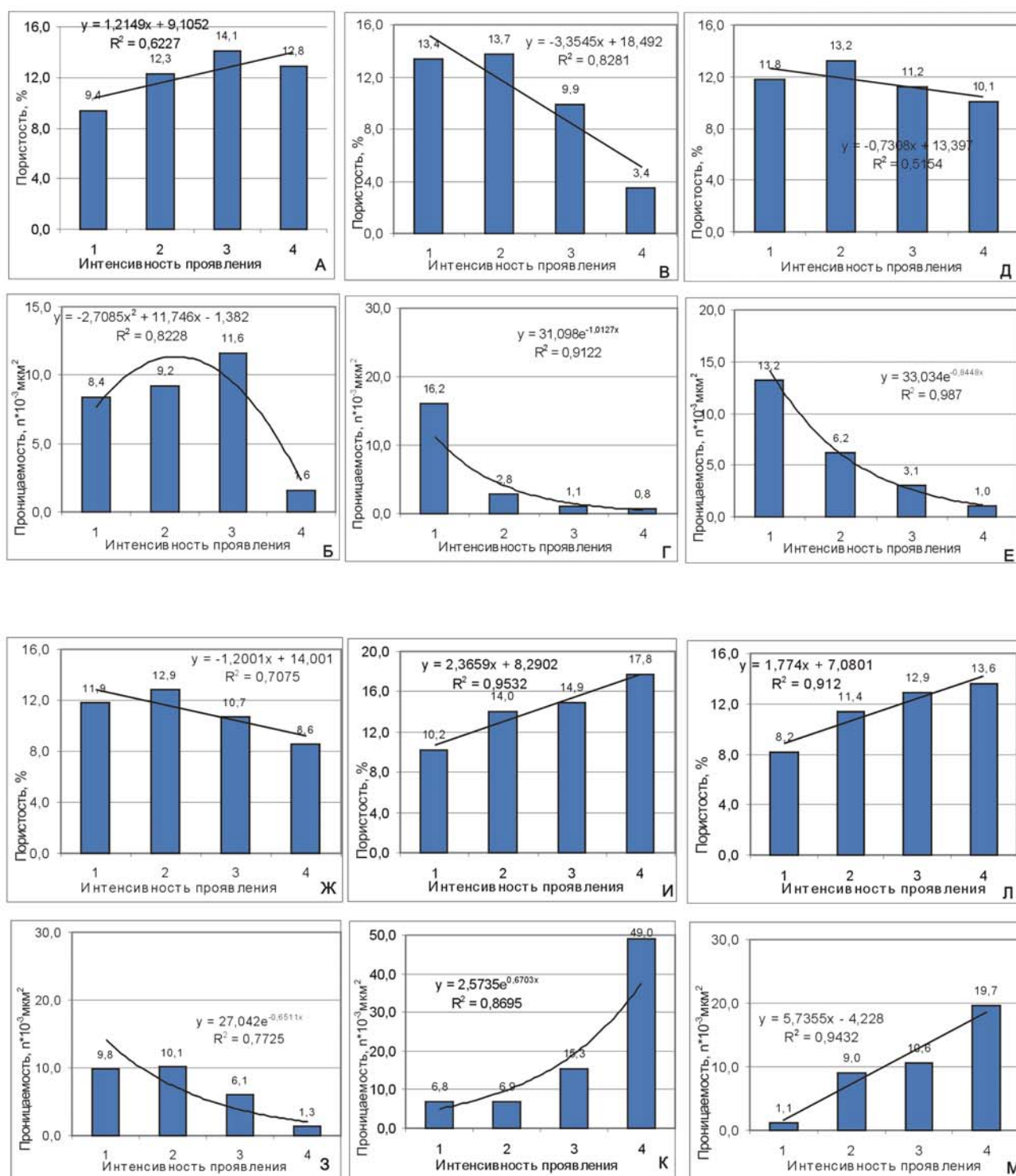


Рисунок 1. Влияние вторичных наложенных процессов на пористость и проницаемость пород-коллекторов.

Условные обозначения. Вторичные процессы: а, б - регенерация кварца; в, г - карбонатизация; д, е - битуминизация; ж, з - пиритизация; и, к - каолинитизация; л, м - слюдизация.

Интенсивность проявления вторичных процессов: 1 - отсутствует; 2 - слабая; 3 - умеренная; 4 - сильная.

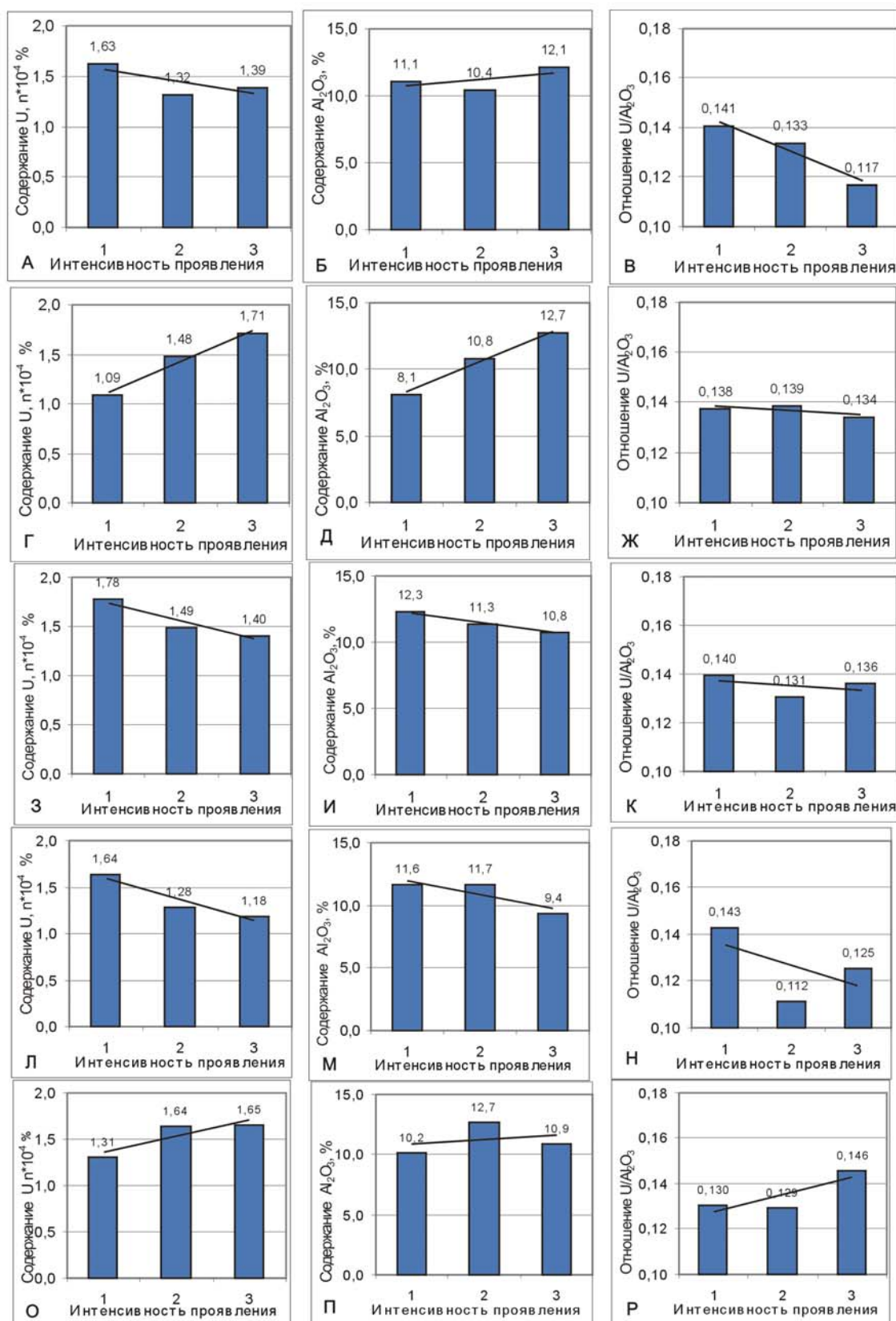


Рисунок 4. Зависимость содержания U, Al_2O_3 и величины $\text{U}/\text{Al}_2\text{O}_3$ отношения в обломочных породах от интенсивности проявления наложенного эпигенеза. Условные обозначения. Вторичные процессы: а, б, в - каолинитизация; г, д, ж - слюдизация; з, и, к - регенерация кварца; л, м, н - карбонатизация; о, п, р - сульфидизация. Интенсивность проявления вторичных процессов: 1 - слабая; 2 - умеренная; 3 - сильная.

Таблица 2

**Минералого-геохимические и петрофизические критерии прогноза зон разуплотненных
и уплотненных коллекторов в обломочных породах**

Характер изменения пород- коллекторов	Химические изменения (минералого-геохимические критерии)				Физические свойства (петрофизические критерии)	
	основные химические взаимодействия	содержания петрогенных элемен- тов и компонентов	содер- жания урана	величина U/Al₂O₃	изменение физических свойств	петрофизические свойства
Вторичные процес- сы, развивающиеся с выносом вещества	Разложение полевых шпатов до глин, рас- творение кварца и диагенетических кар- бонатов	Убывают содержания K, Na, Ca. Мало меня- ются содержания Al ₂ O ₃	Убывают в 1,5-2 раза	< 0,12	Разуплотнение, по- явление свободного объема	Увеличивается пористость (более 16 %), в меньшей степени проницаемость (более 1*10 ⁻³ мкм ²)
Вторичные процес- сы, развивающиеся с привносом веще- ства (регенерация минералов)	Регенерация кварца	Привнос SiO ₂ . Мало меняются содержания Al ₂ O ₃	Остаются неизмен- ными или убывают	0,12-0,14	Незначительное уменьшение объема коллектора, локально увеличивается плот- ность	Уменьшается пористость (менее 10 %), в меньшей степени проницаемость (менее 0,1 *10 ⁻³ мкм ²)
	Регенерации алюмо- силикатов (полевых шпатов и слюд)	Привнос щелочных и щелочноземельных ме- таллов, K, Al ₂ O ₃				
Привнос вещества - вторичное минера- лообразование	Карбонатизация, сидеритизация	Привнос Ca, Fe. Оста- ются постоянными со- держания Al ₂ O ₃	Убывают в 1,5-2 раза	< 0,10	Сильное уменьшение объема пустотного пространства, воз- растает плотность	Резко уменьшаются по- ристость (менее 6 %) и проницаемость (менее 0,01*10 ⁻³ мкм ²)
	Сульфидизация	Привнос Fe. Остаются постоянными содержа- ния Al ₂ O ₃	Остаются неизмен- ными, иногда аномаль- ные –	>0,15	Незначительное уменьшение объема, возрастает плотность	Уменьшается проницае- мость (менее 0,1*10 ⁻³ мкм ²), в меньшей степени пористость (не более 14 %)
	Битуминизация	Не меняются	свыше 4*10 ⁻⁴ %		Незначительное уменьшение объема пустотного про- странства	Уменьшается пористость в зависимости от количе- ства окисленных или де- градированных УВ

