

Слайд 1

Предлагаемая Вашему вниманию работа посвящена изучению кристаллизации аутигенных карбонатов в диагенезе и катагенезе. Работа выполнялась на кафедре осадочной геологии СПбГУ. Научный руководитель – Алексей Алексеевич Крылов.

Слайд 2

Целью работы является изучение кристаллизации аутигенных карбонатов в зоне катагенеза в перспективных нефтегазоносных провинциях, выявление источников углерода и их возможной связи с углеводородами.

Были поставлены следующие задачи:

- Изучить геологическое строение региона по литературным данным
- Составить представление об условиях генерации углеводородов и кристаллизации карбонатов в диагенезе и катагенезе на основе литературных данных
- Изучить изотопно-геохимические особенности образцов из региона
- Выявить условия их формирования и составить заключение о механизмах их кристаллизации

Слайд 3

Исследуемые образцы были взяты из месторождений Западно-Сибирского бассейна в пределах Западно-Сибирской плиты.

Западно-Сибирская плита характеризуется типичным двухэтажным платформенным строением.

Наиболее тщательно рассмотрено строение баженовского горизонта и подстилающих его абалакской и георгиевской свит, откуда и были взяты исследуемые образцы карбонатов.

В результате было выявлено что породы этих подразделений формируют единый комплекс морских отложений с повышенным содержанием органического вещества,

сформировавшийся в максимум трансгрессии на Западно-Сибирской плите в юрское-меловое время.

Слайд 4

Затем были изучены условия формирования карбонатов в диагенезе и катагенезе

Диагенез начинается сразу после накопления осадка и заканчивается на стадии образования горных пород. Движущей силой диагенетических процессов, в первую очередь, является активность микроорганизмов.

Катагенез – стадия бытия и глубинного преобразования осадочного вещества под действием высокой температуры и высокого давления.

В данной работе при рассмотрении кристаллизации карбонатов стадия катагенеза выделена условно в области с температурами выше 50°C, поскольку, начиная с этой температуры CO₂ генерируется за счет температурной деструкции карбоксильных групп у керогена, а микробы перестают быть активными.

Слайд 5

По ведущим механизмам кристаллизации карбонаты с известной долей условности подразделяются на следующие основные группы:

- 1) органогенные-биохемогенные;
- 2) диагенетические за счет микробальной деструкции органического вещества («диагенетические-1»);
- 4) диагенетические за счет аэробного/анаэробного окисления биохимического/катагенетического метана («диагенетические-2»);
- 5) диагенетические за счет микробальной генерации метана («диагенетические-3»);
- 6) «гидротермальные» (окисление абиогенного метана);
- 7) «катагенетические» (при деструкции керогена).

Слайд 6

Источником углерода и кислорода в карбонатах данной группы является морская, океаническая или озерная вода, что, в первом приближении, приводит к близости их изотопных ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) составов. Однако следует учитывать, что средний изотопный состав кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) океанической воды изменялся с течением времени. Тем не менее средние значения $\delta^{18}\text{O}$ на границе юра-мел практически не отличаются от современных.

Слайд 7

Источником углерода для этой группы являются процессы бактериального окисления органического вещества. Окисление ОВ преимущественно происходит посредством сульфат-редукции, поскольку сульфат-ион содержится в значительных количествах в водах Мирового Океана. При окислении ОВ сульфат-ионом практически не происходит изотопного фракционирования углерода, поэтому в поровую воду поступает углерод с изотопным составом, близким к значению $\delta^{13}\text{C}$ в ОВ $\sim -25\text{‰ VPDB}$.

Значения $\delta^{18}\text{O}$ будут варьировать около $\sim 0\text{‰ VPDB}$ (\sim от -4 до $+5 \text{‰}$, в зависимости от $T^\circ\text{C}$ и $S, \text{‰}$ воды). С глубиной фиксируется незначительное облегчение значений $\delta^{18}\text{O}$. В озерах величины $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов часто облегчены по сравнению с морскими карбонатами на $\sim 10\text{-}15\text{‰}$.

Слайд 8

Формирование этих карбонатов осуществляется за счет окисления метана (и его гомологов) в анаэробных условиях в зоне разгрузки флюидов.

Обобщенная схема кристаллизации: 1) повышение содержания бикарбонат-иона за счет окисления метана (чаще всего сульфат-редукция); 2) смещение равновесия карбонатной системы в область повышенных концентраций карбонат-иона (CO_3^{2-}); 3) кристаллизация карбонатов. Процесс сопровождается фракционированием изотопов углерода. Если бы метан был единственным источником, то состав углерода был бы близок к углероду метана. Но в природе в этих же условиях происходит окисление ОВ, что приводит к сдвигу $\delta^{13}\text{C}$ карбонатов в более тяжелую область относительно $\delta^{13}\text{C}$ метана. Значения $\delta^{18}\text{O}$, как правило, будут близки к таковым в «морских» и «диагенетических-1» карбонатах.

Слайд 9

Механизм формирования карбонатов за счет генерации метана (и CO₂) археями при диагенетической деструкции ОВ.

Главной особенностью изотопного состава карбонатов этого типа является обогащение изотопом ¹³C и, как следствие, положительные значения δ¹³C в результате концентрирования изотопа ¹³C в углекислоте. Как правило, величины δ¹³C превышают +5‰ и могут достигать до +21.9‰. Значения δ¹⁸O, схожи с «диагенетическими-2», но у «диагенетических-3» должна наблюдаться тенденция к облегчению величин δ¹⁸O, связанному с большей глубиной их кристаллизации.

Слайд 10

При последовательном повышении температуры и давления с глубиной происходит трансформация органического вещества, сопряженная с формированием керогена. В катагенезе генерация CO₂ из керогена сапропелевого и/или смешанного типа начинается одновременно с формированием нефти при температуре около 50°C и заканчивается в зоне максимума «нефтяного окна» (100-110°C.). Разрушение полевых шпатов при реакции с CO₂ приводит к образованию глин и выделению бикарбонат-иона, что повышает pH и может способствовать кристаллизации карбонатов. Таким образом, кристаллизация карбонатов из керогена характеризуется наличием относительно легкого изотопного состава углерода (δ¹³C ~ от -15 до -25‰ VPDB) и легкого состава кислорода, поскольку формирование карбонатов при повышенных температурах приводит к концентрированию изотопов ¹⁶O.

Слайд 11

Значения δ¹⁸O в карбонатах зависят от температуры их кристаллизации и от изотопного состава δ¹⁸O окружающей воды. Таким образом, температура, при которой росли карбонаты, может быть рассчитана. На слайде представлены формулы расчета температур кристаллизации из литературных источников.

Слайд 12

Далее будут рассмотрены результаты интерпретации изотопных данных.

Карбонаты Пальяновской площади.

На рисунке отчетливо обособляются две популяции точек ($\delta^{13}\text{C} < -20\text{‰}$ и $\delta^{18}\text{O} > -8\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C} > -20\text{‰}$ и $\delta^{18}\text{O} < -5.8\text{‰}$), в каждой из которых, при этом, наблюдается тенденция облегчения изотопов $\delta^{13}\text{C}$ с облегчением значений $\delta^{18}\text{O}$. По значению температуры 50°C , примерно соответствующей величине $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов -8‰VPDB , условно проведена граница между диагенетическими и катагенетическими карбонатами. Для большинства карбонатов, сформированных в диагенезе, основным источником углерода была микробиальная деструкция органического вещества.

Из рисунка следует, что максимальная температура кристаллизации карбонатов достигала 200°C . Но породы баженовской свиты не претерпевали такого нагрева. С глубиной происходит облегчение значений $\delta^{18}\text{O}$ воды, что могло содействовать большой погрешности.

Факт наличия прямой положительной корреляции между значениями $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в «катагенетических» карбонатах Пальяновской площади может свидетельствовать о частичной перекристаллизации органогенных/биохомогенных карбонатов при повышении температуры. Вариации значений $\delta^{13}\text{C}$ от -6.8 (в наиболее низкотемпературных) до -19.1‰ (в наиболее высокотемпературных) карбонатах свидетельствуют о том, что в первом случае наблюдается, скорее всего, перекристаллизация «морских» карбонатов, а во втором – формирование собственно «катагенетических» разностей при деструкции керогена.

Слайд 13

Распределение изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ имеет аналогичные тенденции, что и в пределах проанализированного выше района. Прежде всего, отмечается тренд облегчения изотопов $\delta^{13}\text{C}$ с облегчением значений $\delta^{18}\text{O}$. Только один образец попадает в «поле» «диагенетических-1», Также единственный образец можно отнести к «морским» органогенным/биохомогенным карбонатам. «Катагенетические» карбонаты имеют значения $\delta^{18}\text{O}$ легче -10‰VPDB . Образцы со значениями $\delta^{13}\text{C}$ тяжелее -10‰ , скорее всего, образовались за счет перекристаллизации «морских» органогенных/биохомогенных известняков. Известковистый доломит, обогащенный тяжелым изотопом ^{13}C ($\delta^{13}\text{C} = 2.3\text{‰}$), возможно, был перекристаллизован из «диагенетического-3» карбоната, изначально сформированного в зоне метаногенерации.

Слайд 14

Многочисленная группа образцов с этого месторождения относится к «диагенетическим-1» карбонатам, сформированным за счет деструкции ОВ в зоне сульфат-редукции. Их изотопные значения $\delta^{13}\text{C}$ варьируют от -19.9 до -24.3‰ VPDB, а $\delta^{18}\text{O}$ – от -0.5 до -9.6‰ VPDB.

Остальные карбонаты являются «катагенетическими». Часть из них, со значениями $\delta^{13}\text{C}$ от -5.9 до -11.0‰ VPDB, и $\delta^{18}\text{O}$ – от -9.4 до -11.1‰ VPDB, образовались за счет перекристаллизации «морских» органических/биохемогенных известняков.

Слайд 15

Распределение изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ имеет схожие тенденции, что и в пределах проанализированных выше районов. Образец с наиболее легким значением $\delta^{13}\text{C}$ (-26.2‰), возможно, также получал часть углерода при анаэробном окислении катагенетического (термогенного) метана. В зоне «катагенеза» отмечается тренд облегчения изотопов $\delta^{13}\text{C}$ с облегчением значений $\delta^{18}\text{O}$. Можно предположить, что причиной этого является смешение двух крайних источников углерода: керогена и «морского». Наиболее обогащены легким изотопом ^{12}C карбонаты, получившие свой углерод исключительно из керогена: чем выше температура, тем более «облегченный» CO_2 выделяется. Постепенное обогащение карбонатов изотопом ^{13}C с уменьшением температуры можно объяснить примесью «морского» углерода, вероятно, за счет растворения или перекристаллизации органических/биохемогенных карбонатов.

Выделяется область «морских» (органических/биохемогенных) карбонатов, имеющих относительно тяжелый изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. В «диагенетической» зоне также расположены образцы, получающие свой углерод сразу из двух источников: «морского» и ОВ. Об этом свидетельствуют промежуточные величины $\delta^{13}\text{C}$, варьирующие между -5 и -10‰ PDB.

Слайд 16

Основные выводы

- На всех изученных площадях присутствуют карбонаты трех основных типов: «морские», «диагенетические-1» и «катагенетические».

- Изотопный состав основной части образцов является результатом смешения этих типов
- Наиболее ярко выражен тренд смешения в ряду «кероген-море»: обогащение легким изотопом ^{12}C с облегчением значений $\delta^{18}\text{O}$.
- Области «диагенетических-1» карбонатов обычно расположены особняком на диаграммах « $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ » и « $\delta^{13}\text{C}$ vs $t^\circ\text{C}$ ». Тем не менее, между ними и «морскими» карбонатами всегда присутствуют промежуточные по изотопному составу разности, сформированные при смешении углерода в ряду «ОВ-морские».