

MAIN FACTORS OF PHASE DIFFERENTIATION OF CARBONATE FORMATIONS AND ISOTOPE-GEOCHEMICAL TYPES OF PETROLIFEROUS CARBONATE RESERVOIRS

A.E. Lukin

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФАЗОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ КАРБОНАТНЫХ ФОРМАЦИЙ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

А.Е. Лукин

The most informative spot indicators of genetic types of petroliferous carbonate reservoirs are represented by values of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ (also $\delta^{32}\text{S}$) of certain generation of calcite, dolomite (also sulfates and disulfides of iron) which are correlated with main phases of decompaction of carbonate formations. Data of investigation of extensive collection of rock samples of carbonate formation (Riphean – Cenozoic) from different regions is testimony to great informativeness for determination of nature of carbonate bodies porosity.

Key words: carbonate formations, phase differentiation, carbonate reservoirs.

Наиболее информативными «точечными» показателями генетических типов карбонатных коллекторов нефти и газа являются значения $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ (а также $\delta^{32}\text{S}$) генераций кальцита, доломита (а также сульфатов, дисульфидов железа), коррелируемых основным фазам разуплотнения карбонатных формаций. О высокой информативности этих показателей при определении механизмов формирования пустотного пространства карбонатных тел свидетельствуют данные изучения обширной коллекции образцов пород разновозрастных (рифей – кайнозой) карбонатных формаций различных регионов.

Ключевые слова: карбонатные формации, фазовая дифференциация, карбонатные коллектора.

К важнейшим проблемам теоретической и практической литологии относится изучение закономерностей фазовой дифференциации [1] осадочных формаций – совокупности тех литогенетических процессов, которые управляют распределением их пористости (в широком смысле слова, включая межгранулярное, трещинное, каверно-пещеристое пустотное пространство), определяя их флюидонасыщенность и гидрогеологический режим, рудообразование и нефтегазоаккумуляцию. Здесь следует отметить, что, не отрицая правомерность сугубо математического понимания фазовой дифференциации как «квазипериодического процесса, описываемого определенным дифференциальным уравнением» [1, с. 157], следует отметить необходимость ее генетического изучения. Тот факт, что «пористость в разрезах распределена по сложному закону, носящему характер суперпозиции ... затухающих гармоник» [1, с. 157], с генетической точки зрения обусловлен суперпозицией разнообразных автогенных (седиментогенез – диагенез – катагенез – метагенез) и аллогенных (гипогенный аллогенез, гипергенез) факторов. Благодаря общеизвестным физико-химическим особенностям известняков, доломитов, а также сульфатных пород это особенно ярко проявляется в биокарбонатных, терригенно-карбонатных, вулканогенно-карбонатных и эвапоритово-карбонатных формациях. При этом необходимо подчеркнуть морфогенетическое разнообразие карбонатных тел, форм и типов их разуплотнения. Это относится даже к палеозойским шельфовым карбонатным формациям Среднего Поволжья, при изучении которых А.Б. Вистелиус сформулировал само понятие «фазовой дифференциации», установил ее ритмичность разного порядка и выделил региональные и зональные пояса пористости. Однако и для этого типа формаций (с их многочисленными диастемами, планетарной трещиноватостью, карстом и т.п.) сводить процесс фазовой дифференциации к «специфике упаковки частиц в породах, развивающихся в осадочном чехле на растущих одновременно с осадконакоплением тектонических структурах» (различных порядков. – А.Л.) является недопустимым упрощением.

Вместе с тем следует отметить и плодотворность этого формального подхода в том отношении, что параметры пористости, определенной в конкретном образце, характеризуют общие закономерности разуплотнения карбонатных толщ. Во времена проведения этих исследований еще не были разработаны основные положения фрактальной геометрии природы, включая и геологические объекты. В свете же фрактальной идеологии самоподобие пустотного пространства осадочных и, в особенности, карбонатных формаций не вызывает сомнений. Это, в свою очередь, позволяет рассчитывать на наличие таких

«точечных» показателей, по которым бы можно было прогнозировать характер и морфологию пустотного пространства более крупных водоносных, нефтегазоносных, рудоносных породных массивов.

Применительно к карбонатным телам различного порядка наиболее перспективными представляются показатели состава стабильных изотопов карбонатного углерода и кислорода (а также органического углерода, сульфидной, сульфатной и органической серы, кислорода, разных генераций аутигенного кремнезема) различных компонентов (скелетных остатков рифообразующей и рифолюбивой биоты, разных генераций кальцита, доломита). В частности, необходимо определение основных изотопно-геохимических параметров ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{32}\text{S}$) различных генераций кальцита и доломита (а также ангидрита, дисульфидов железа и др.), коррелируемых основным фазам разуплотнения карбонатных породных массивов – от первичной пустотности (оолитовые бары, ракушечники, криноидные пески, стереофитические биокарбонатные образования и т.п.) до наложенных сопряженных процессов растворения и цементации карбонатных пород (крипто- и идиогипергенез, гипогенный аллогенез). О высокой информативности этих показателей при определении механизмов формирования пустотного пространства карбонатных тел свидетельствуют данные изотопно-геохимического изучения обширной (свыше 500) коллекции образцов пород разновозрастных (рифей – кайнозой) карбонатных формаций, включая разнообразные рифогенные комплексы различных регионов (Днепро-Донецкий авлакоген, Предкарпатье, Преддобруджье, Крым и шельф Черного моря, Печоро-Колвинский авлакоген, Прикаспийская впадина, центральные районы Восточно-Европейской платформы, Поволжье и Урал, Восточная Сибирь).

Прежде всего, следует отметить широкий диапазон изученных образцов карбонатных пород в координатах « $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{18}\text{O}$ » и в то же время четко выраженную группировку фигуративных точек в пределах определенных полей, соответствующих генетическим типам карбонатных коллекторов.

Достаточно четко обособились фациальные типы карбонатных пород рифогенных карбонатных комплексов с выделением фаций рифового ядра, предрифовых шлейфов, зарифовых оолитовых песков, ракушечников и т.п. (рис. 1).

Вместе с тем установлена высокая информативность этих показателей при выделении различных карбонатообразующих систем. Наиболее широкий их диапазон определен в Азово-Черноморском регионе (рис. 2); это сочетается также с предельно широким диапазоном проявлений углеводородной дегазации [2].

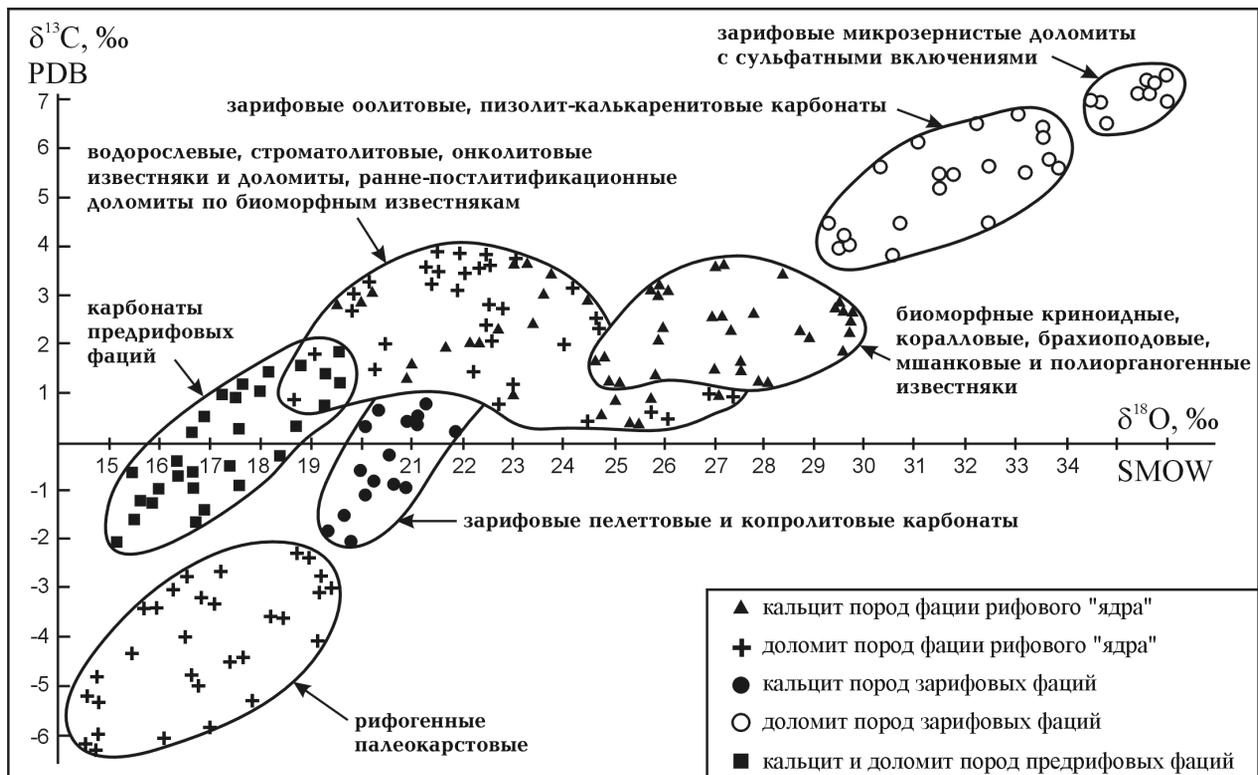


Рис. 1. Изотопный состав углерода и кислорода рифогенных карбонатов

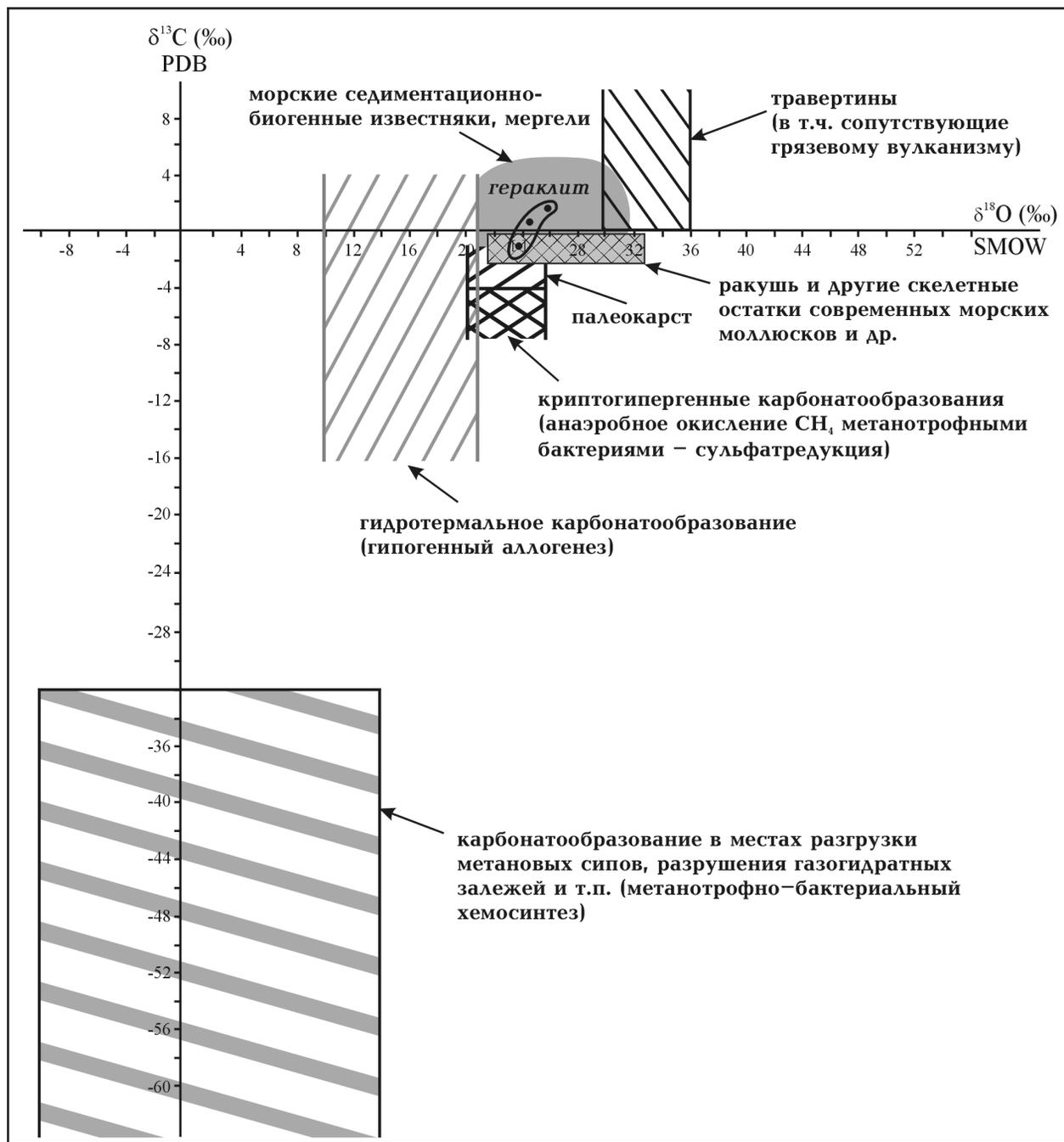


Рис. 2. Изотопно-геохимические ($\delta^{13}\text{C}^{\circ}$ - $\delta^{18}\text{O}$) типы дегазационных карбонатообразующих систем Азово-Черноморского региона (девон-голоцен)

Разрешающая способность изотопных показателей при диагностике рифовых фаций (разумеется, при квалифицированном отборе проб для анализа) существенно выше по сравнению с геохимическими (концентрации различных элементов) индикаторами. Вместе с тем комплексирование их с данными по содержанию бора, стронция, марганца и других элементов позволяет, с одной стороны, достаточно полно характеризовать седиментационно-фациальный геохимический фон рифообразования, а с другой – устанавливать природу вторичных (как диа-катагенетических, так и наложенных) преобразований. Особое значение имеет изотопно-геохимическая диагностика различных типов метасоматической доломитизации и кальцитизации (включая процессы дедоломитизации), а также генетическая типизация (палео)карстовых пустот. Наряду с собственно палеокарстом, в карбонатных формациях широко распространены явления гидротермального растворения карбонатов (термокарст).

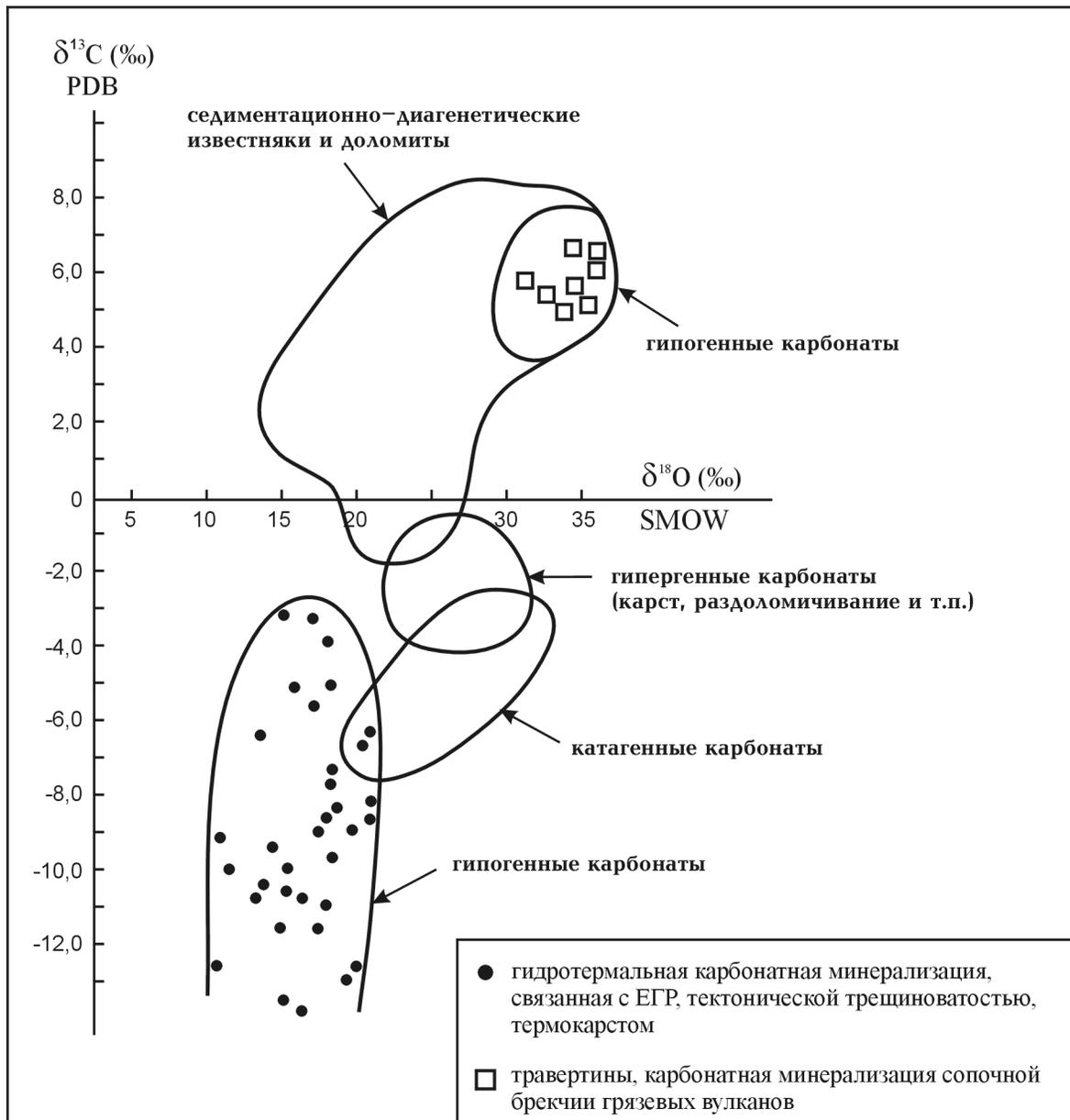


Рис. 3. Генерации карбонатных минералов, связанные с различными стадиями литогенеза и вторичными наложенными процессами

Кроме того, палеокарстовые явления приобретают специфический характер в нефтегазоносных комплексах, при их инициировании окислением углеводородов. Характер этих процессов в зоне криптогипергенеза (анаэробное окисление преимущественно сульфатредуцирующими бактериями) и идио-гипергенеза существенно различен, что отражается в показателях $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{32}\text{S}$.

Указанные критерии позволяют разделять как преимущественно биоминерализационные и седиментационные породы карбонатных формаций, в частности рифогенно-карбонатных комплексов, так и различные постседиментационные генерации карбонатных минералов – от седиментационно-генетических до гипергенных и гипогенных, которые достаточно надежно различаются по показателям $\delta^{13}\text{C}$ и, особенно, $\delta^{18}\text{O}$ (рис. 3).

Полученные данные свидетельствуют о существенных изотопно-геохимических различиях как исходного биоминерализационного и седиментационного (детритусового, пелито-броунитового, эвапоритового) карбонатного субстрата, так и вторичных факторов его разуплотнения. Это позволяет рассчитывать на возможность изотопно-геохимической диагностики генетических типов карбонатных коллекторов, существенно различных по природе и строению пустотного пространства, фор-

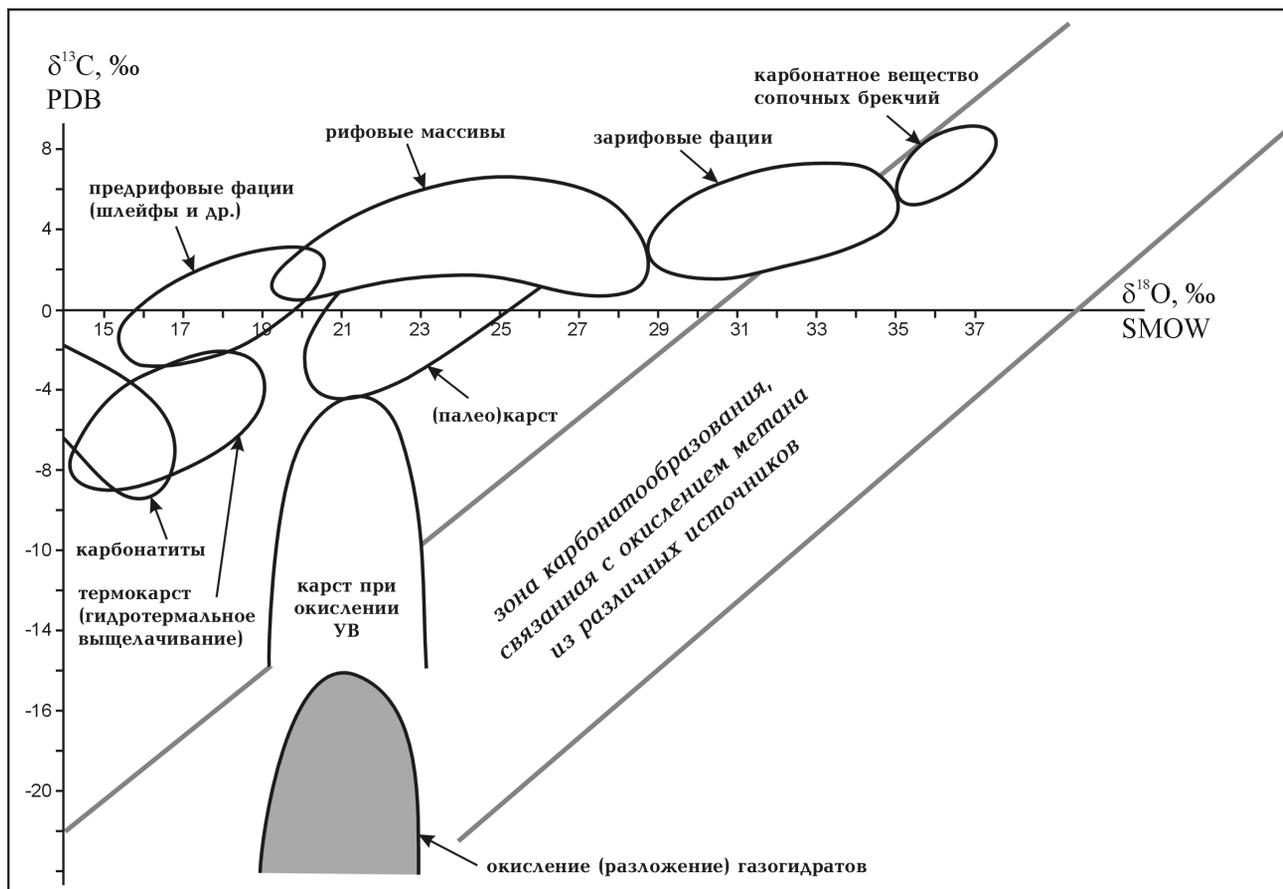


Рис. 4. Изотопно-геохимическая диаграмма карбонатных коллекторов

ме тел, их флюидопроводности, условиям формирования залежей нефтидов и нефтегазоносному потенциалу. Попытка такой типизации по имеющимся аналитическим данным представлена на изотопно-геохимической диаграмме карбонатных коллекторов (рис. 4). Здесь, наряду с ранее известными биокарбонатными, в частности рифогенными типами, в формировании пустотного пространства которых играют различные факторы (прежде всего метасоматическая постстереофитическая доломитизация, палеокарст, разнообразное трещинообразование), установлены новые перспективные типы карбонатных коллекторов (резервуаров). К ним относятся:

- кавернозно-трещиноватые депрессионные гидрокарбонепелитовые (доманикиты и доманикоиды с различным соотношением глинистого, карбонатного, кремнеземного, фосфатного вещества) породы, разуплотнение которых связано с разложением газогидратных скоплений;
- карстогенные коллекторы в карбонатных формациях с окисленными нефтяными (битумными) палеозалежами;
- приштоковые травертиновые дайко-, пласто- и лакколитоподобные тела.

Для всех изученных нефтегазоносных карбонатных формаций установлена многофазность процессов нефтидогенеза. При этом практически все генетически диагностированные карбонатные коллекторы оказались вторичными. При многообразии их генетических типов основными факторами фазовой дифференциации карбонатных формаций являются метасоматические процессы, связанные с глубинными флюидами. К доломитовым и кальцитовым метасоматитам с разнообразной гипогенной минерализацией (барит, апатит, редкоземельные фосфаты, анальцит, самородные металлы и др.) относятся коллекторы всех изученных автором крупных месторождений с гигантскими массивными залежами в карбонатных резервуарах (Астраханское, Карачаганак, Тенгиз, Юрубченское, Усинское, Лебяковское и др.).

Результаты проведенных изотопно-геохимических исследований имеют многоаспектное значение.

Во-первых, вносят существенные коррективы в известные данные по изотопно-геохимической эволюции карбоната накопления, общие глобальные тренды которого существенно искажаются наложенными процессами.

Во-вторых, свидетельствуют о возможности решения проблемы диагностики фаций карбоната накопления, в частности рифообразования, по небольшим образцам керна, что имеет особое значение при оценке перспектив нефтегазоносности карбонатных формаций по данным бурения.

В-третьих, изотопная геохимия является основой изучения закономерностей формирования (распределения) пустотности в карбонатных телах различного порядка и морфологической типизации связанных с ним ловушек (резервуаров, залежей) нефти и газа.

Таким образом, изотопно-геохимические данные существенно детализируют прежние представления о фазовой дифференциации карбонатных формаций [1], позволяя выделить два принципиально различных ее типа: седиментационно-постлитификационный (пластовые резервуары) и наложенно-эпигенетический (массивные, штокверковые, жильные резервуары).

1. *Вистелиус А.Б.* Фазовая дифференциация палеозойских отложений Среднего Поволжья и Заволжья. – М.: Изд-во АН СССР. – 1963. – 203 с.
2. *Лукин А.Е.* Изотопно-геохимические индикаторы углекислой и углеводородной дегазации в Азово-Черноморском регионе // Геол. журн. – 2003. – № 1. – С. 59–73.

The Chernigov Branch of the UkrSLEI, Chernigov, Ukraine
Черниговское отделение УкрГГРИ, г. Чернигов, Украина