

ОБ ИСХОДНОМ СОСТАВЕ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕНДА МЕЗЕНСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Малов А.И.

Состав песчано-глинистых отложений на начальных этапах их существования определяется природой источников сноса и гидрохимическим характером среды поверхностных бассейнов осадконакопления. В дальнейшем горные породы взаимодействуют с подземными водами, что приводит к изменению состава и тех, и других. Основные закономерности последнего процесса исследовались в работах [1, 7 и др.]. Однако в различных регионах, обладающих спецификой геологического развития, итоговые последствия взаимодействия вода-порода существенно различаются, а расшифровка эволюции процесса представляется достаточно сложной и неоднозначной. Вместе с тем она крайне необходима, так как позволяет вскрывать роль различных геологических факторов, в том числе – определяющих формирование месторождений полезных ископаемых.

В данной работе предпринята попытка анализа изменения химического состава песчано-глинистых отложений венда Мезенской синеклизы на основе палеогидрогеологических реконструкций.

Мезенская синеклиза (МС) представляет собой депрессию на севере Русской плиты, ограниченную на западе Балтийским щитом, на востоке – Канинско-Тиманским складчатым поясом. Фундамент на большей части синеклизы имеет архейско-раннепротерозойский возраст; он разбит на блоки, выделяющиеся в виде рифейских грабенов и горстов. В составе осадочного чехла присутствуют образования среднего и верхнего рифея, верхнего венда, палеозоя, мезозоя и кайнозоя (рис.1).

Вендские отложения представлены верхним отделом в объеме усть-пинежской (V_{up}), мезенской (V_{mz}) и падунской (V_{pd}) свит. Для западной части МС характерно преобладание аргиллитов в усть-пинежской свите и повышение роли песчаников вверх по разрезу [5]. На этом фоне аномальными выглядят тамбские слои (V_{tm}) – базальная пачка венда, представленная песчаниками и гравелитами. Полевые шпаты частично каолинитизированы. В составе глинистых минералов каолинит преобладает. Выше по разрезу среди глинистых минералов усть-пинежской свиты преобладают гидрослюды; также присутствует На-монтмориллонит, слагающий тонкие прослойки пепловых туфов, хлорит. Характерно широкое развитие аутигенного пирита; преобладание закисной формы железа над окисной. Каолинит появляется в верхней части мезенской свиты; для падунской характерен дальнейший рост его содержания вверх по разрезу. Монтмориллонит и хлорит фактически исчезают; также – пирит, органика; резко возрастает содержание гидроокислов железа. В восточной части МС состав отложений венда по разрезу более стабилен.

Высокие фильтрационные свойства ($k_f \geq 0.5 - 1$ м/сут.) имеют отложения, залегающие выше абс. отм. -100 м. Это – **зона активного водообмена**. Для нее характерны скорости фильтрации не ниже $10^{-1} - 10^{-2}$ м/сут и время полного водообмена не более $10^2 - 10^3$ лет. Для отложений венда, залегающих в западной части МС в интервале -100 - -600 м (рис.1), $k_f = 0.03 - 0.01$ м/сут. Скорости фильтрации здесь уже снижаются до $10^{-3} - 10^{-4}$ м/сут., а время полного водообмена увеличивается до $10^4 - 10^5$ лет, то есть примерно соответствует **зоне сравнительно активного водообмена**. В восточной части МС зона сравнительно активного водообмена ограничена по глубине **региональным водоупором гипсов и ангидритов нижней перми** (рис.1).

Для зоны активного водообмена характерно присутствие пресных инфильтрационных вод. В зоне сравнительно активного водообмена присутствуют солоноватые и соленые воды с минерализацией ниже 35 г/дм³ (рис.1). То есть это – зона проникновения инфильтрационных пресных вод и разбавления морских седиментогенных вод и рассолов. В эту же зону входит

и область развития рассолов I типа (рис.1). Эти рассолы связаны с растворением инфильтрогенными водами каменной соли в пермских отложениях [4]. Они приурочены к площадям, где региональный водоупор гипсов и ангидритов нижней перми денудирован.

Остальная часть разреза осадочного чехла МС занята рассолами II и III типов (рис.1). Рассолы II типа имеют пермский возраст [4, 6]. Сохранились они благодаря экранирующей роли регионального водоупора гипсов и ангидритов нижней перми. Область их нахождения характеризуется временем полного водообмена более 250 млн. лет, что возможно при скоростях фильтрации порядка 10^{-5} - 10^{-6} м/сут. Это – **зона затрудненного водообмена**. Отложения венда в ней залегают на глубинах более 1 км и характеризуются существенно пониженными фильтрационными и емкостными свойствами.

Рассолы III типа, особенно - экранированные сверху **региональным водоупором аргиллитов усть-пинежской свиты венда**, отличаются от рассолов II типа значительно более высокой степенью метаморфизации [4], что позволяет предполагать их более древний – позднедевонский – возраст. Время их полного водообмена более 360 млн. лет. Это возможно при скоростях фильтрации 10^{-7} - 10^{-8} м/сут., когда преобладает диффузионный массообмен [1]. Это – **зона весьма затрудненного водообмена**. Во всех остальных гидродинамических зонах преобладает конвективный массоперенос.

Состав рассолов МС приведен в работах [3, 4]. Химический состав отложений венда охарактеризован в таблице 1. В ней даны средние значения для восточной части синеклизы (МС), где вендские отложения залегают на максимальных глубинах; и западной, где они находятся в интервале 40 – 930 м (БКП). Это - район расположения месторождения алмазов им.М.В.Ломоносова. Также приведены средние значения для полосы вдоль юго-восточного берега Белого моря, где вендские отложения выклиниваются и опробованы не глубже 300 м (ЗБ-ОП).

Для наиболее показательных элементов – натрия и кальция – построены графики их распределения в твердой фазе и растворе по разрезу осадочного чехла в западной и восточной частях МС. Содержания элементов в твердой фазе рассчитывались по данным табл.1. Для каждой свиты венда слева направо на графиках приводятся по три значения: для аргиллитов, алевролитов и песчаников. Наблюдается четкая корреляция между содержаниями натрия в твердой фазе и растворе. Корреляция содержаний кальция в воде и породах выдерживается для восточной части синеклизы. Для западной части – по сравнению с натрием – она «запаздывает», хотя и намечена в отложениях падунской свиты.

Анализ таблиц и графиков позволяет сделать следующие выводы.

Накопление вендских отложений происходило в бассейне с нормальной морской соленостью. По [2] наиболее характерным процессом при этом является синтез хлорита из поровых растворов. При содержании магния в морской воде 1.35 г/дм^3 и средней пористости осадка порядка 50% переход магния из поровых вод в породу мог привести к повышению содержаний магния в ней не более чем на 1.35 г/дм^3 твердой фазы, или повышению содержаний MgO на 0.08%. Потеря водой калия привела к еще менее значительным результатам. В период континентального перерыва в кембрии-девоне гипергенные процессы, видимо, привели к снижению примерно на 0.5 - 1% содержаний Na_2O и такому же повышению – K_2O в горных породах, как это наблюдается для зоны активного водообмена в настоящее время.

В позднем девоне предполагается заполнение осадочной толщи венда в восточной части Мезенской синеклизы рассолами высокой степени испарительного концентрирования с минерализацией выше 320 г/дм^3 , формировавшимися в процессе садки галита. Исходя из состава рассолов [4], можно полагать, что содержания брома в рапе составляли порядка 2 г/дм^3 , натрия - 60 г/дм^3 , магния - 50 г/дм^3 , калия – 10 г/дм^3 , кальция – 0.4 г/дм^3 . В настоящее время, в пересчете на минерализацию 320 г/дм^3 , они содержат брома 2 г/дм^3 , натрия 60 г/дм^3 , магния 3 г/дм^3 , калия 0.7 г/дм^3 , кальция 60 г/дм^3 . То есть произошло снижение в

рассолах магния на 47 г/дм^3 , калия на 9.3 г/дм^3 ; повысилось содержание кальция на 59.6 г/дм^3 . Содержание натрия практически не изменилось. Магний и калий были использованы в процессах хлоритизации и гидрослюдизации. Переход магния в количестве 47 г/дм^3 в породе при ее пористости 25% привел к повышению содержания MgO в ней на 1.25%. Переход калия в количестве 9.3 г/дм^3 – к повышению содержания K_2O в породе на 0.25%. Повышение содержания кальция в рассоле на 59.6 г/дм^3 при пористости пород 0.25 означает снижение содержания в породе CaO примерно на 1.5%. Основную роль в выносе кальция из пород видимо имели процессы гидролиза кальциевых алюмосиликатов, неравновесных со всеми типами подземных вод, в том числе – и с рассолами. Эти процессы идут по механизму диффузионной кинетики до выравнивания **в зоне весьма затрудненного водообмена**, где преобладает диффузионный массоперенос, концентраций кальция в породах и растворе (рис.2б). Для оценки параметров процесса проведены оценочные расчеты для времени 0.36 млрд. лет. Принималось, что диффузия в объеме 1 дм^3 осуществлялась в основном по одной эффективной трещине площадью 0.1 дм^2 . Получено значение $D = 4 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2/\text{сутки}$. В результате в терригенных отложениях венда произошло частичное (до 10%) преобразование зерен полевых шпатов в глинистые минералы. Как отмечается в работе [7] при гидролизе повышается щелочность раствора, нейтрализуемая углекислым газом. При этом образуется гидрокарбонат-ион, который связывает часть кальция, формируя карбонатный цемент. То есть принципиально возможны были и процессы доломитизации.

На основной части Мезенской синеклизы в позднем девоне существовал континентальный режим с максимумом поднятий в районах кимберлитового магматизма [3, 5].

В среднем карбоне бассейны с нормальной соленостью морской воды, как и в венде, видимо не оказали существенного влияния на состав горных пород.

Пермские солеродные бассейны явились источником рассолов с относительно пониженным содержанием кальция и хлор-бромным коэффициентом, примерно

соответствующим морской воде (II тип на рис.1). Первоначально они заполняли весь осадочный чехол – до регионального водоупора аргиллитов усть-пинежской свиты венда. Минерализация рапы составляла до 270 г/л. Основные изменения их состава в процессе взаимодействия с горными породами заключались в снижении содержаний натрия со 100 до 60 г/дм³, магния с 12 до 8 г/дм³, калия с 3 до 0.5 г/дм³; содержания кальция выросли на 8-10 г/дм³. В условиях конвективного водообмена **в зоне затрудненного водообмена** эти изменения можно связывать в основном с катионным обменом. Видимо имели место и процессы альбитизации, доломитизации, гидрослюдизации. Снижение содержаний натрия на 40 г/дм³ при пористости пород 0.25 могло привести к повышению содержаний Na₂O в породах на 1%; магния на 4 г/дм³ - к повышению MgO в породах на 0.1%; калия на 2.5 г/дм³ - к повышению K₂O в породах на 0.12%. Снижение содержаний в породе CaO – порядка 0.3%.

В поздней перми и мезозое-кайнозое в восточной части синеклизы химический состав отложений венда практически не изменялся; в западной же части (в связи с ее стабильным поднятием) толща венда вошла в зоны сравнительно активного и активного водообменов и подверглась гипергенному выветриванию до глубины порядка 350 метров. Этот процесс отражает рис.2 в части характеристик состава воды и породы для западной части Мезенской синеклизы. **В зоне сравнительно активного водообмена** до глубины 200 – 600 м формирование соленых вод происходило за счет смешения пресных инфильтрационных вод с солеными седиментационными водами микулинского межледниковья и рассолами I типа. Наиболее интенсивными являлись процессы катионного обмена кальция горных пород на натрий, магний и калий подземных вод. **В зоне активного водообмена** для пресных вод алевролитов и песчаников падунской свиты венда в западной части Мезенской синеклизы при минерализации до 0.2 – 0.3 г/л характерен гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав. При минерализации 0.3 – 0.7 г/л – гидрокарбонатный натриевый и хлоридно-гидрокарбонатный натриевый. То есть наиболее характерным процессом является гидролиз натриевых алюмосиликатов, а также катионный обмен натрия горных пород на кальций,

магний и калий. Для карбонатов и сульфатов кальция в нижних частях зоны развития опресненных вод характерны и процессы осаждения с формированием карбонатного и гипсового цементов. Они связаны с фильтрацией карбонатных и сульфатных вод вглубь массива осадочных пород и смешением их с солеными водами. С этими причинами связано «отставание» темпов снижения содержаний кальция в породах по сравнению с раствором (рис.2б - 3).

Таким образом, исходный состав осадков венда существенно отличался от наблюдаемого сейчас. Он характеризовался высокими содержаниями СаО: 3 - 4%. Содержания Na_2O – 2 – 3%; K_2O - 1 - 2%. Минимальные содержания были характерны для MgO : 0.5 - 1%. Впоследствии они повысились в восточной части МС до 2 – 3% за счет процессов хлоритизации и доломитизации в позднем девоне. В западной части синеклизы морские источники магния в значительных количествах отсутствовали. Поэтому высокие содержания его здесь в нижних горизонтах венда можно связывать с процессами кимберлитового магматизма, когда большие количества магния переходили из кимберлитового расплава в раствор [3].

Наиболее изменен в настоящее время состав песчаников падунской свиты венда в западной части Мезенской синеклизы. Содержание SiO_2 в них повысилось на 15-20% (таблица 1) за счет выноса всех остальных компонентов химического состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. 184 с.
2. Котельников Д.Д., Солодкова Н.А. Роль ди- и триоктаэдрических глинистых минералов в осадочных образованиях. // Изв. вузов. Геология и разведка. 1993. №2. С.54-63.
3. Малов А.И. Магний в рассолах Северо-Двинского артезианского бассейна, как индикатор кимберлитового магматизма. // ДАН. 2001. Т.377. №1. С. 82-85.
4. Малов А.И. Формирование рассолов в Мезенской синеклизе. // Водные ресурсы. 2001. Т.28. №6. С.677 – 683.
5. Малов А.И. Взаимодействие вода-порода в ходе геологической эволюции месторождения алмазов им.М.В.Ломоносова. // Геоэкология. 2002. №1. С. 18-27.
6. Попов В.Г. Геохимические особенности и возраст рассолов Волго-Уральского бассейна. // Отечественная геология. 1994. №2. С. 62 – 66.
7. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор. // Геология и геофизика. 1991. №12. С. 16-50.

Подписи к рисункам к статье А.И.Малова «ОБ ИСХОДНОМ СОСТАВЕ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕНДА МЕЗЕНСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ»

Рис.1. Гидрохимический профиль через Мезенскую синеклизу; 1 – минерализация воды в г/л в точке опробования; 2 – изолиния минерализации воды; 3 – тип рассола по [4]: I – с повышенным содержанием натрия; II – с относительно пониженным содержанием кальция; III – с относительно повышенным содержанием кальция; 4 – зона развития рассолов I типа.

Рис.2. Изменение содержаний натрия и кальция в твердой фазе и растворе в западной (З) и восточной (В) частях Мезенской синеклизы.

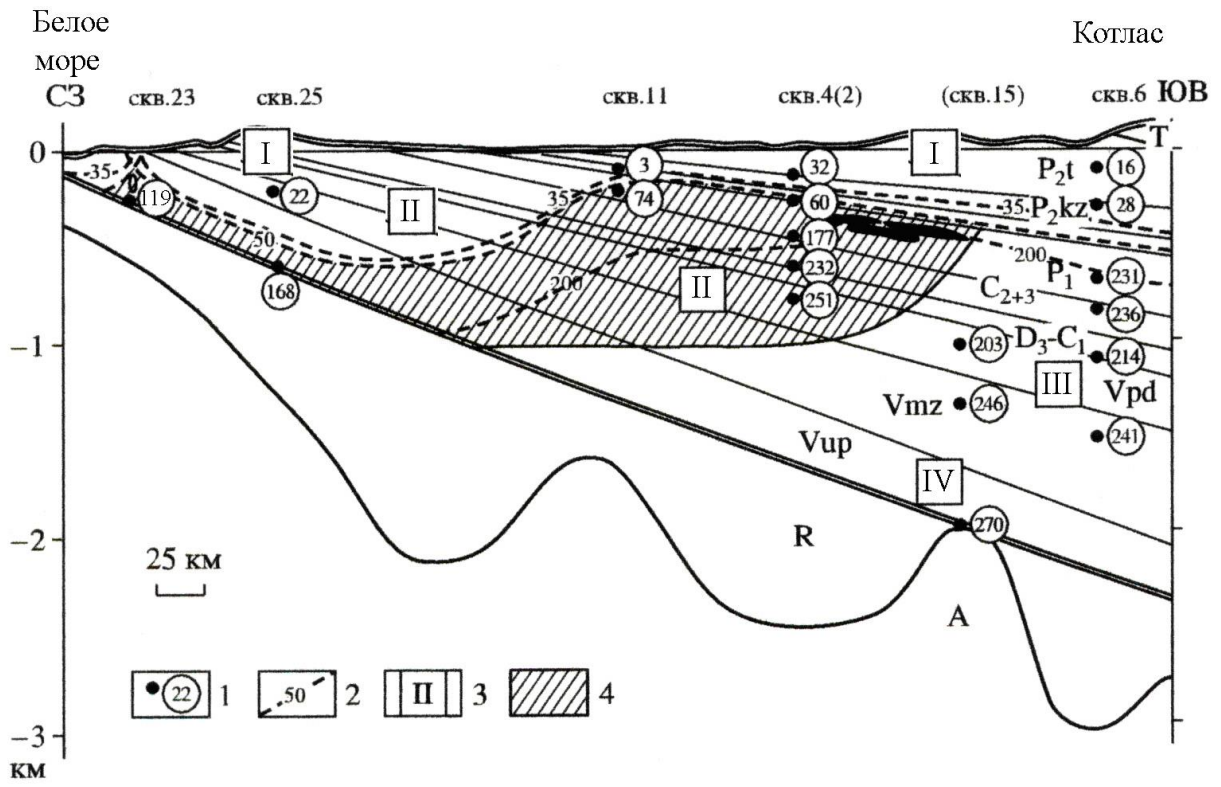


Рис.1.

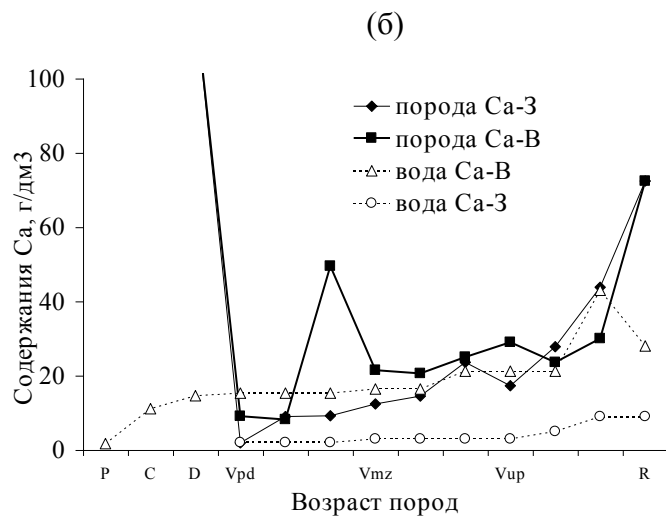
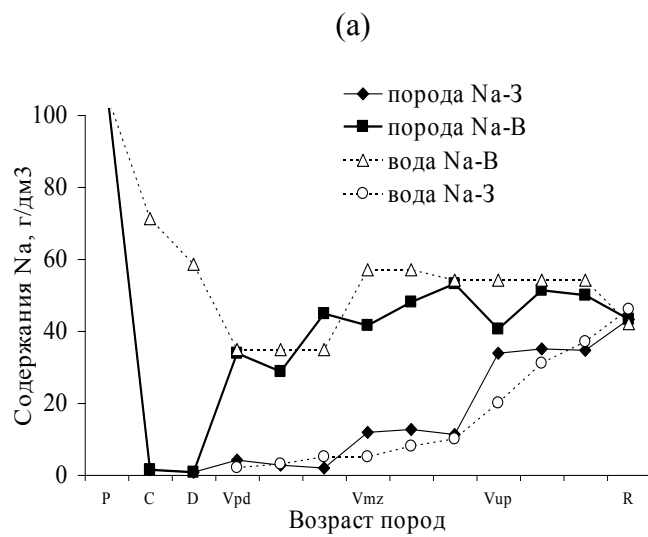


Рис.2.