

ИТОГИ ТРИДЦАТИЛЕТНЕГО ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПЕРМСКОГО ГАЛОГЕНЕЗА ПРИКАСПИЯ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР РЕГИОНА И ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Г. А. Московский

Саратовский государственный университет

В статье рассмотрены итоги тридцатилетних исследований галогенных отложений Прикаспийской впадины с применением методов термобарогеохимии. Получены важные результаты о физико-химических условиях галогенной седиментации в солеродном бассейне. Показано, что основным процессом образования минералов солей было солнечное испарение морской воды сульфатно-магниевый типа. Изменения гидрохимии и первичных парагенезисов солей определялись удаленностью от проливной зоны, расчлененностью дна бассейна на отдельные акватории, представлявшие аналоги бассейнов солепромыслов. Рассмотрены закономерности постседиментационных преобразований солей. Рассмотрены основные направления практического использования основных результатов исследований и показаны, какие из них представляются важными элементами учебного процесса.

Соленосная толща Прикаспийской впадины и ее обрамления содержит значительные запасы калийных солей, бишофита, рассолов с высокими содержаниями магния, брома, бора. Она является барьером, разделяющим литологически и геохимически разнородные осадочные толщи, осложняющим расшифровку структурного плана подсолевых отложений. Поэтому, начиная работы в Прикаспийском бассейне в середине семидесятых годов прошлого века и понимая важное значение этих отложений в регионе, мы решили применить комплексный подход к их изучению, добавив к традиционным литологическим и геохимическим методам приемы термобарогеохимии, специально разработанные в применении к минералам солей О. И. Петриченко и В. М. Ковалевичем. Из термобарогеохимических методов нами использовались описание морфологии и фазового состава включений в минералах, ультрамикрочемический анализ состава рапы включений, определение ее газонасыщенности, оценки температур кристаллизации минералов по данным термометрии и др. Ниже рассматриваются итоги этих исследований, их значение в практике геологоразведочных работ и возможности использования в учебном процессе.

Стадия седиментации. Изучение включений в седиментационных разностях галита (из парагенезисов каменной соли, сильвинита, карналлита и бишофита) позволило получить крайне важную информацию, которая однозначно под-

твердила, что основным процессом образования минералов галогенных отложений является солнечное испарение рапы в солеродном бассейне. Галогенная седиментация в кунгурском солеродном бассейне происходила в гидрохимической системе сульфатно-магниевых океанических вод, концентрировавшихся за счет солнечного испарения. Соотношение основных компонентов исходной рапы (K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) на начало хлоридных стадий было близким к современной сгущенной морской воде. В то же время метаморфизация рапы на начало галитовой стадии отвечала хлоркальциевой модели, а рапа все равно оставалась сульфатно-магниевой! Причину такого явления можно объяснить существенной ролью в составе рапы бассейна на начальных стадиях поровых вод терригенно-карбонатных горизонтов, подстилающих каменную соль. В пределах этих горизонтов происходила трансформация сульфатно-магниевого захороненной рапы в хлоркальциевую за счет катионного обмена магния раствора на кальций пород, которая в дальнейшем частично могла отжиматься в наддонные слои рапы. Наибольший эффект катионного обмена достигался в обрамлении впадины (в полуизолированных бассейнах-сателлитах), где за счет значительной роли терригенных и карбонатных составляющих осадка и, видимо, несколько повышенной температуры, даже поверхностная рапа переходила в хлоридно-кальциевую. Впрочем, есть основания предполагать поступление в бассейн

и подсолевых вод хлоркальциевого состава, но прямые доказательства такого явления отмечаются лишь для постседиментационной стадии галогенеза. На заключительных стадиях галогенеза существенная роль хлоркальциевых растворов устанавливается лишь для краевых и тупиковых участков солеродного бассейна.

Для большей части бассейна нами оценены его глубины по газонасыщенности рапы включений. На начало галитовой стадии они составляли около 70—100 м. Садка донного галита из рассолов растворения каменной соли происходила, видимо, и при больших глубинах. Отложение галита из горизонтов, подстилающих калийные соли, шло в бассейнах глубиной не более 10—15 м. Судя по температурам гомогенизации включений с минералами-узниками, образование калийных и калийно-магниевых солей происходило из рапы, имевшей температуру 50—60 °С и даже более, что связывается с расслоением рапы с повышенной температурой нижнего слоя (эффект термоклина).

Изменения в гидрохимии на площади солеродного бассейна (а, соответственно, распределения первичных парагенезисов солей) определялись удаленностью от проливной зоны, изначальной расчлененностью его дна, осложнявшейся синседиментационными движениями подсолевого ложа и расчлененностью площади бассейна на отдельные акватории — бассейны-сателлиты, представлявших в какой-то степени аналоги бассейнов солепромыслов. Связь их между собой была свободной на подготовительных стадиях галогенеза и осложнялась на калийных стадиях. На значительной части Прикаспийского солеродного бассейна рапа на галитовой стадии сгущения содержала ионов сульфата до 50—80% от его количества в современной сгущенной воде. Еще меньшее его количество было характерно для тупиковых и краевых участков бассейна, где из сульфатов магния и калия устанавливаются лишь кизерит и полигалит, но именно здесь накапливались наиболее концентрированные рассолы, давшие месторождения хлорида магния — бишофита. В образовании скоплений сильвина, карналлита, бишофита большая роль принадлежала неустойчивости процесса галогенеза на переходе от галитовой к заключительным стадиям. Это связано с большей зависимостью гидрохимии калийных бассейнов (при их существенно меньших глубинах) от изменений в поступлении малоцентри-

рованных вод из проливной зоны бассейна или при вертикальных смещениях тектонических блоков, слагающих дно бассейна. Именно эта неустойчивость определяла накопление в придонных слоях рапы и в осадке хлористого калия и, в дальнейшем, приводила к «обвальной» садке первичного сильвина.

Анализ строения галогенных разрезов и состава растворов включений в минералах позволил подтвердить строение галогенных разрезов из отложений двух этапов седиментогенеза: сгущения и опреснения, причем отложения стадии опреснения залегают в последовательности обратной той, что характерно для стадии сгущения. Именно с этой стадией связано образование сильвинитов, образовавшихся при раннедиагенетическом замещении карналлитов.

Установленное нами достаточно устойчивое и закономерное соотношение основных компонентов рапы практически на всей площади солеродного бассейна, сохранение в солянокупольных структурах больших интервалов галогенных разрезов с прекрасно сохранившимися первично-седиментационными структурами галита позволяет говорить, что соли солянокупольных структур и районов моноклиналиного их залегания отлагались в сходных условиях. Следовательно, всю соленосную толщу впадины следует рассматривать как геологическое тело, характеристики которого (состав, текстуры и др.) на седиментационной стадии менялись от береговой полосы к центру бассейна несущественно. В то же время, все оригинальные идеи происхождения солей основываются на структурах минералов, текстурах пород, форме тел солей, присутствию флюидов (углеводороды, сероводород и др.), характерных для солянокупольной области, т.е. на свойствах и признаках, приобретенных на постседиментационной и постдиагенетической стадии литогенеза. Если же учесть, что соли в районах моноклиналиного их залегания не имеют и незначительной доли наложенных изменений, характерных для соляных куполов, то становится очевидным, что выводы об условиях образования галогенных отложений за счет высокотемпературных глубинных растворов не подтверждаются материалами детальных литологических и геохимических исследований. Но полностью исключать их влияние на седиментационной стадии не представляется возможным из-за недостаточной изученности состава рапы включений в солях основания галогенного разреза.

Еще одной крайне важной проблемой, которая нашла решение в наших исследованиях — гидрохимические условия образования верхнепермских солей. Было установлено, что состав рапы солеродного бассейна казанского возраста был близок к таковой кунгурского бассейна. В то же время было установлено, что в ряде случаев линзы галита, присутствующие в терригенных верхнепермских отложениях образованы за счет подземного растворения соляных ядер куполов, сложенных солью кунгурского возраста. Одной из важных задач, которые решалась нами, была оценка литолого-фациальных и физико-химических условий образования мощных скоплений бишофита (Свидзинский, Московский, 2004). Нами было подтверждено, что образование его скоплений определялось прежде всего последовательностью в погружении отдельных блоков подсолевого ложа солеродного бассейна, приведшей к закономерным перетокам все более сгущающейся рапы в наиболее погруженные тупиковые его участки.

Диагенетическая и катагенетическая стадия. Направленность и степень диагенетических изменений калийно-магниевых солей в основной акватории солеродного бассейна определялись, более всего, особенностями их первичных парагенезисов и заключались в преобразовании сульфатов магния и калия (переход гексагидрита и эпсомита в кизерит и др.). В краевых и тупиковых участках солеродного бассейна диагенетические изменения в соленосной толще связаны, в основном, с продуцируемыми здесь хлоркальциевыми водами, обуславливающими образование вторичного сильвина за счет разложения карналлита, появление вторичного карналлита в каменной соли, подстилающей продуктивные калиеносные горизонты, а в некоторых случаях даже в перекрывающих их базальных горизонтах. Установлено, что диагенетические преобразования сильвина начинаются существенно раньше, чем галита. Это приводит к тому, что включения в перекристаллизованном сильвине могут иметь сульфатный, а в галите — хлоркальциевый состав. Распределению парагенетических ассоциаций солей во впадине соответствует вариации состава внутрисолевых рассолов. Катагенетические изменения в соленосных толщах, связанные только с их погружением и возрастанием температуры, заключались лишь в перекристаллизации минералов.

Существенную часть галогенных отложений представляют свободные рассолы, локализуемые в прослоях сульфатно-карбонатных и терригенно-сульфатно-карбонатных пород и встречающиеся в трещинных полостях в самой соли. Эти рассолы во многом определяют ход перекристаллизации солей, представляют интерес как источник ряда полезных компонентов (хлористый магний, бром, бор и др.) и являются осложняющим фактором при бурении скважин в галогенных отложениях, т.к. давление в линзах этих рассолов существенно превышает гидростатическое. Совместная интерпретация данных о составе свободных рассолов и включений в минералах позволяет устанавливать, что в этих рассолах можно выделить разности, отличающиеся по составу и условиям формирования: седиментогенные, эпигенетические сильно метаморфизованные, миграционные рассолы.

Галокинетическая стадия. На стадиях галокинеза соленосные толщи с содержащимися в них внутрисолевыми рассолами могут быть выведены на гипсометрические уровни надсолевых отложений. Происходящие при этом изменения в самих породах могут выражаться в замещении карналлита сильвином, карналлита и сильвина — шпатовым галитом и даже приводить к подземному выщелачиванию солей с отложением их в надсолевых породах, гипсометрически совмещенных с солью при галокинезе. В тектонически ослабленных зонах, характерных образованием соляных сыпучек, отмечается вертикальная миграция углеводородов, сероводорода, вод подсолевых отложений. Ее следы фиксируются в составе вторичных включений в минералах солей (главным образом в галите). Следует сказать, что у нас нет безапелляционных фактов об отсутствии влияния миграционных флюидов на состав рапы солеродного бассейна, хотя и не получено подтверждений альтернативным взглядам. Но именно перераспределение масс соли при активизации тектонических движений приводит к нарушению их монолитности, возникновению своеобразных «окон», определяющих образование субвертикальных потоков углеводородов и растворов из подсолевых отложений, и, соответственно, к определенной направленности минеральных преобразований в соленосной толще и в перекрывающих их отложениях.

Использование результатов изучения включений в минералах оказалось весьма эффектив-

ным и при расчленении галогенных отложений солянокупольных структур, прогнозировании минерального состава продуктивных горизонтов калийных и магниевых солей на латеральном продолжении от изученных разрезов (Московский и др., 2003, Московский, Гончаренко, 2004). Для этой цели привлекались и результаты изучения включений в шламе каменной соли (Московский и др., 1982).

Стадия гипергенеза характеризуется интенсивным развитием процессов растворения солей в прикровельных частях галогенных разрезов. Это привело к частичному или полному растворению солей в верхних ритмопачках галогенного разреза Приволжской моноклинали. В районах развития солянокупольных структур гипергенез выражается в развитии карстовых процессов в прикровельных частях соляных ядер куполов, подземному растворению солей и выносу их в терригенные породы надсолевых отложений с образованием своеобразных козырьков, осложнений в формах склонов и, возможно, даже псевдокуполов.

Такими представляются основные достижения в изучении пермского галогенеза в Прикаспийской впадине к настоящему времени.

Ряд использованных нами приемов изучения солей и полученных результатов могут использоваться при освоении недр соленосного бассейна Прикаспия.

А) Полученные результаты могут быть использованы при расчленении и сопоставлении разрезов галогенных отложений в солянокупольных районах впадины. Здесь наиболее рационально применение данных изучения первично-седиментационных включений в галите. Для этих целей возможно привлечение даже шлама каменной соли, который можно использовать также и для целей прогнозирования калие-магниенности отложений по латерали от изученных месторождений, а также для интерпретаций слабо выраженных геофизических аномалий. Рекомендации по использованию шлама солей для этих целей закреплены авторским свидетельством СССР № 913315.

Б) Данные по составу рапы включений из парагенезисов калийных солей позволяют оценивать генезис калийных солей и прогнозировать изменение парагенезисов этих пород по латерали.

В) Полученные результаты позволяют оценивать характер изменения состава галогенных

отложений в зоне гипергенных изменений (вблизи соляного зеркала). Рекомендации производству по этому вопросу закреплены авторским свидетельством СССР № 1272297.

Г) Знание общих закономерностей галогенной седиментации, условий формирования рассолов в солях позволит обоснованно делать выбор объектов для строительства полигонов для хранения продуктов и отходов в галогенных отложениях.

Д) Данные об условиях формирования внутрисолевых рассолов позволили разработать методы борьбы с рассолопроявлениями в скважинах (закреплено патентом РФ № 2152508).

Е) Выводы об условиях формирования внутрисолевых рассолов в солях можно использовать для прогнозирования аварийных ситуаций в подземных выработках в галогенных отложениях.

Полученные результаты имеют фундаментальный характер, используются нами в учебном процессе и включены в дополнительную программу кандидатского минимума по геохимии.

1. В курсе «Геохимия», «Геохимия окружающей среды», «Литология» используются полученные результаты, а также данные коллег, проводившие подобные исследования по другим соленосным бассейнам, в соответствующих разделах курсов. Характеристика общих закономерностей галогенного процесса дается в курсе «Литология». Информация о преобладании испарительного процесса в галогенезе, формировании солевого состава растворов главным образом за счет океанических вод, о своеобразии процессов прямой метаморфизации рапы приводится в курсе «Геохимия», «Геохимия окружающей среды» и частично — в «Литологии». Данные о периодичности галогенеза, его неустойчивости на границе стадий, существовании двух этапов галогенного процесса, особенностей их гидрохимии, характере изменений солей на постседиментационной стадии, характеристика особенностей гидрохимии и парагенезисов солей для позднепермского галогенеза приводятся в курсах «Геохимия», «Геохимия окружающей среды» и частично — в «Литологии».

2. В курсах «Геохимия», «Геохимия окружающей среды», «Литология», а также в курсе «Геология месторождений полезных ископаемых» отражаются данные об условиях формирования месторождений калийных солей и би-

шофита, большая роль вторичного сильвина, роль бассейнов сателлитов в образовании месторождений бишофита. Роль внутрисолевых рассолов в галогенных разрезах рассматривается также в курсе «Геоэкология горного производства», где студенты знакомятся также с последствиями строительства камер в солях с помощью атомных взрывов.

3. В курсах «Геохимия», «Геохимия окружающей среды» «Геоэкология горного производства» нами рассматриваются также закономерности гипергенных изменений галогенных отложений, проблем возникающих в процессе бурения или строительства камер для хранения продуктов и отходов в галогенных отложениях.

4. Материалы исследований послужили основой для докладов студентов и аспирантов на научных конференциях молодых научных сотрудников, ежегодно проводимых геологическим факультетом СГУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта программы «Университеты России» № 09.01.383.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Московский Г.А., Гончаренко О.П., Писаренко Ю.А., Свидзинский С.А.* Пермский галогенез Прикаспия. Часть 1. Гидрохимия галитовой стадии. Саратов. Изд-во «Научная книга» 2003. 60 с.

2. *Московский Г.А., Гончаренко О.П.* Пермский галогенез Прикаспия. Часть 2. Гидрохимия заключительных стадий и постседиментационные преобразования солей. Саратов. Изд-во «Научная книга» 2004. 88 с.

3. *Свидзинский С.А., Московский Г.А.* Поволжский бишофитоносный бассейн. Строение, условия образования, геолого-промышленная оценка. Саратов. Изд-во «Научная книга» 2004. 104 с.

4. *Московский Г.А., Головин Б.А., Гаряинов В.А.* Опыт изучения включений в минералах по керну и шламу (районы прибортовой зоны и центральной части Прикаспийской синеклизы) // Новые данные по геологии, геохимии, подземным водам и полезным ископаемым соленосных бассейнов. Новосибирск, Наука, 1982. С. 115—119.