

## ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.63 : [549+552] (476)

**Галогенез хлоридного типа в Припятском калиеносном бассейне****Н. С. Петрова, Н. Ю. Денисова**Государственное предприятие «НПЦ по геологии» Филиал «Институт геологии»  
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

Проблема формирования хлоридных соленосных серий, лишенных сульфата магния, является одной из сложнейших в теории галогенеза. Является ли хлоридный галогенез самостоятельным процессом, или это все-таки ветвь морского галогенеза? Наличие мощных толщ хлоридных солей свидетельствует о крупном первоначальном источнике водно-солевой массы. Таким источником могла быть только морская (океаническая) вода, которая на всем послепротерозойском этапе никогда не теряла своего содержания сульфата. В статье рассматриваются процессы формирования красноцветной и пестроцветной гиперсоляных ассоциаций, установленных для калийных залежей средне-верхнефаменской соленосной формации Припятского калиеносного бассейна.

Ключевые слова: *Припятский внутриконтинентальный палеорифт, галогенез, калийная залежь, гиперсоляная ассоциация.*

DOI: 10.17072/psu.geol.25.1.53

**Введение**

Проблема эволюции галогенеза в древних солеродных бассейнах теснейшим образом связана со многими фундаментальными проблемами современной геологии. В развитии глобальных геологических процессов формирования и преобразования пород в солеродных бассейнах стадия калиенакопления является весьма специфичной аномалией концентрирования полезного компонента (калия) с созданием поля контрастных концентраций. Оценивая особенности калийного рудогенеза, обычно ставят сугубо прагматичные задачи, в том числе прогнозно-минерагенические.

Рассмотрение галогенеза носит по-прежнему качественный характер: все необходимые условия определены общими георетическими рассуждениями, а именно изолированностью бассейна, активной тектонической позицией (приуроченность к тектонически активным зонам), аридностью, периодическим притоком и оттоком морских вод и некоторыми другими. Несколько ослаб-

лены климатические ограничения, а также колебания глубины бассейна. Если для формирования калиеносных отложений признаются условия мелководного бассейна, то собственно, галитовая стадия может осуществляться в таких крупных бассейнах и в глубоководных условиях (Петрова, Высоккий, 1998). Большинство исследователей склоняются к выводу, что сгущение происходит за счет удаления водной массы (формирование отрицательного баланса по воде) при преобладании аридных климатических условий в режиме превышения испарения над поступлением воды.

**Объект исследований**

Развитие солеродного бассейна в Припятском внутриконтинентальном палеорифте происходило по законам континентального литогенеза (рис. 1). Рифт выполнен достаточно пестрыми по составу отложениями, накопление которых происходило преимущественно на границе субаэрально-субаквальных условий.

© Петрова Н. С., Денисова Н. Ю.



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

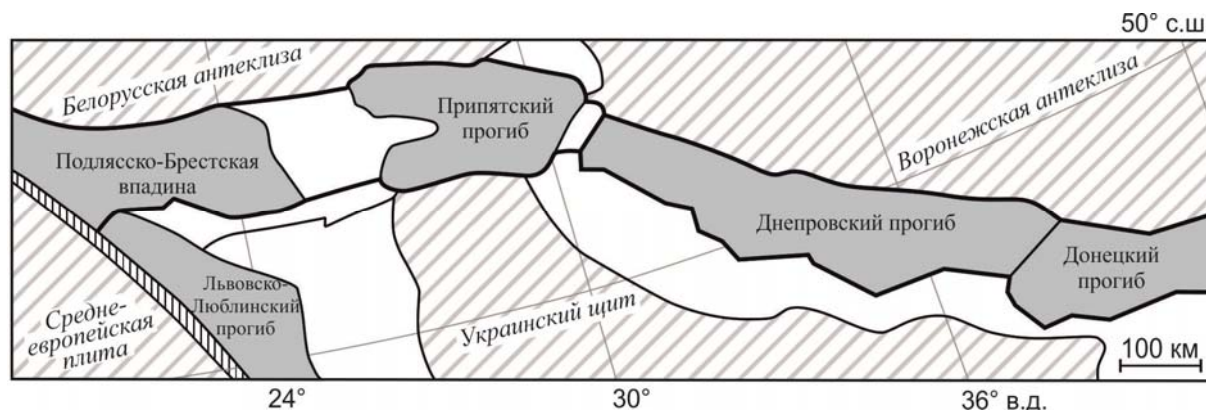


Рис. 1. Схема тектонического районирования юго-запада Восточно-Европейской платформы

Циклы соленакопления отражают этапы деградации водоема (рис. 2). Площадь бассейна в каждом последующем цикле сокращалась, и ранее отложившиеся соли, в том числе и калийные, подвергались растворению и размыву в краевых частях бассейна. Калиепроявления в циклах соленакопления приурочены к завершающей стадии или к началу следующего цикла (Петрова, Высоцкий, 1998).

В Припятском бассейне происходило смешение процессов, что препятствовало четкому обособлению собственно морских отложений и отложений водоемов малой минерализации. Локализация водного питания по периферии бассейна контролирует пространственное распределение на дне синхронных галогенных отложений. При поступлении равномерного питания по всему контуру водоема строение оказывается симметричным, если же поступление растворов идет с одной стороны, то появляется асимметричное строение. В условиях относительно длительного существования водоема такого типа происходило постоянное изменение границ между основным (подготовительным) и рапным бассейнами по площади водоема, что приводило к перемежаемости пластов соли и терригенных осадков.

Да и переливы – перетекание вод из впадины во впадину – приводили к последовательной смене солеродных водоемов по степени солености. В период же солеотложения действовали механизмы испарения и вымораживания, смещения и высаливания за счет изменения растворимости.

Среди системных факторов контроля калиенакопления на зрелой стадии формирова-

ния Припятского внутриконтинентального палеорифта, отличающегося деструктивно-дивергентным геодинамическим режимом (Литогеодинамика..., 1998), выделены:

1) пульсационный характер развития тектонических явлений, обеспечивающий ритмичность и морфологию соляных отложений, а также миграцию и переотложение калийных залежей;

2) отрицательный водный баланс, способствующий сгущению вод и направленному развитию галогенной седиментации;

3) гидрологический режим, определяющий плотностную стратификацию вод с формированием термоклина и пикноклина;

4) открытый рассольный бассейн с большой водной массой, позволяющий выделить легкорастворимые минералы и обеспечить последующую их сохранность;

5) элизионный режим артезианского бассейна (Петрова, Кислик, 1996). Безусловно, за последние годы несколько изменился и формат рассмотрения механизмов, образующих осадочное выполнение внутриконтинентального рифтового тектонотипа (Припятский бассейн), характеризующегося сочетанием циклических и событийных (т.е. катастрофических) явлений. Катастрофические явления характерны для соляных отложений с увеличенными скоростями осадкообразования, растворения и смыва сформированных осадков.

В упрощенном виде формирование соленосных отложений в осадочном выполнении Припятского палеорифта можно представить как сочетание процессов мобилизации исходного вещества в пределах питающих провинций, переноса с помощью потоков,

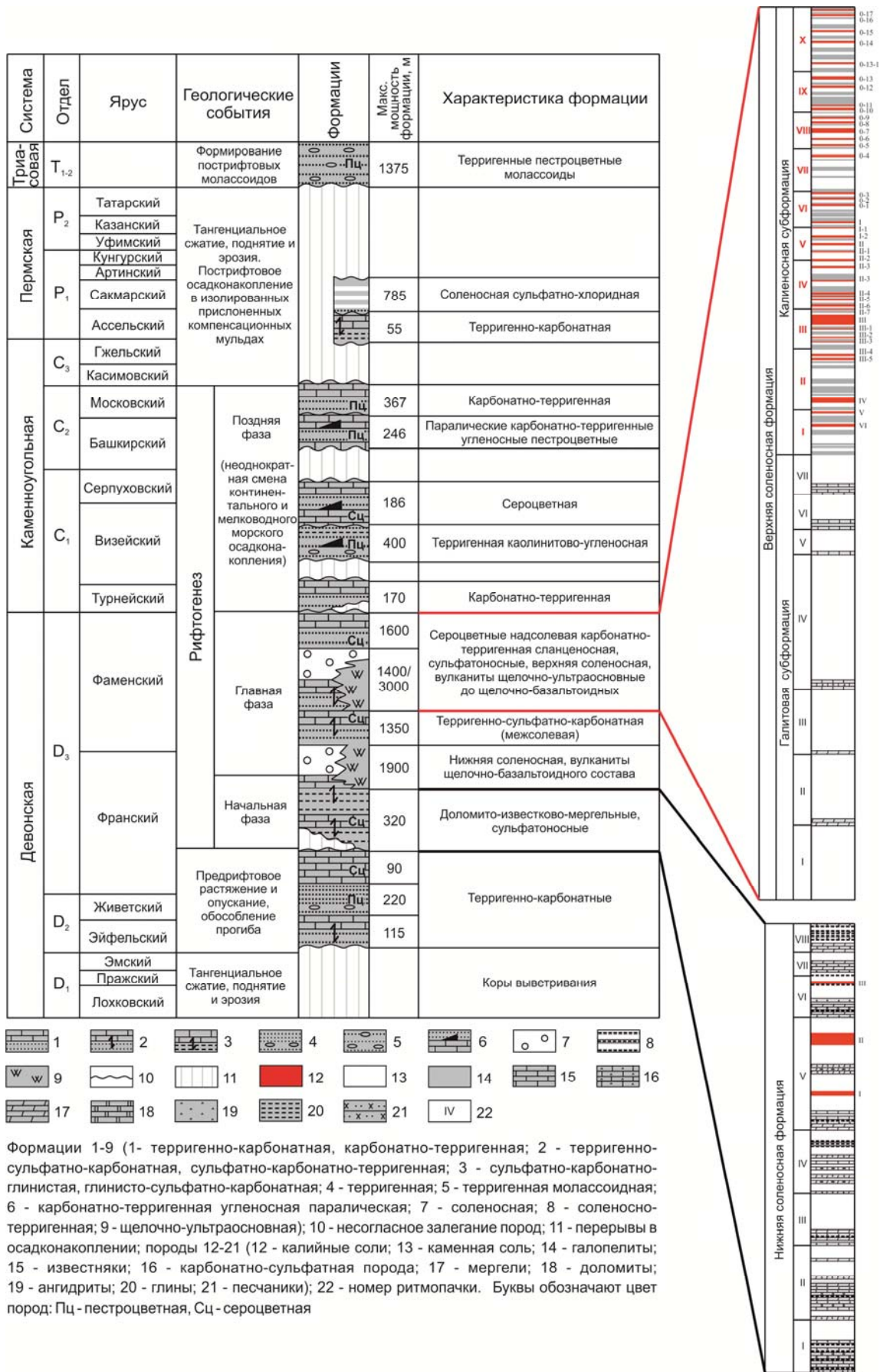


Рис. 2. Геологический разрез осадочного чехла Припятского прогиба

сползания по склонам и осаднения на дне конечного водоема стока. При этом следует учитывать высокие скорости осадконакопления солевых составляющих, лавинной седиментации рециклинговых терригенно-карбонатных осадков и вулканических пеплов (Петрова, Высоцкий, 1998).

### Соленакпление

В настоящее время совершенно ясно, что соленакпление, особенно на конечных стадиях, зависит от характера смешения растворов. Кинетика процессов формирования смешанных растворов определяется: 1) изменением соотношений между взаимодействующими массами вод; 2) изменением соотношений между реагирующими массами кластогенного материала и растворов.

Комплекс взаимосвязанных узловых вопросов хлоридного галогенеза решается в соответствии с представлениями по метаморфизации морской воды, а высокое содержание калия в маточном растворе солеродных бассейнов нередко объясняют мантийно-магматогенным источником, десцендентными рассолами за счет растворения и переотложения разрушающихся залежей калийных солей; дополнительной разгрузкой в бассейн седиментации высококонцентрированных хлоркальциевых подземных рассолов, непосредственно связанных с континентальной, а не океанической корой.

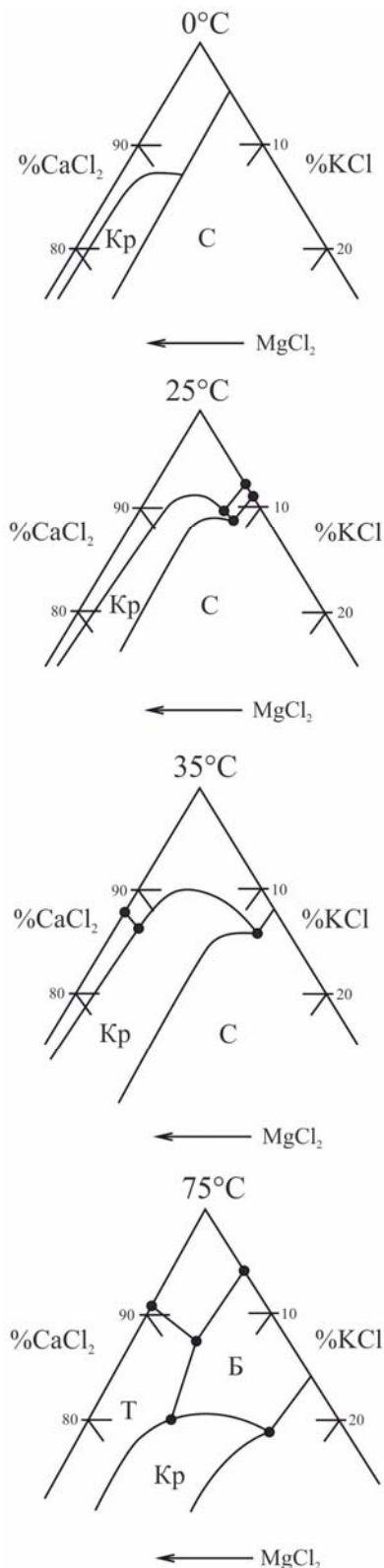
Образование позднедевонских соленосных отложений в Припятском внутриконтинентальном рифте отвечает в своих главных чертах зрелой стадии рифта, характеризующейся интенсивными тектоническими движениями и вулканизмом. Для Припятского прогиба свойственно значительное разнообразие проявлений вулканизма как по масштабам, так и по составу: в отличие от вулканических пород океанических рифтов преобладают щелочные серии с обилием щелочных базальтов, пород типа нефелинитов, а галопелиты нередко являются камуфлированной пирокластикой.

Сам процесс формирования морских (океанических) вод подразумевает значительное влияние эндогенного источника на анионо-

генный состав. Роль галогенидов в формировании морских вод показал А. П. Виноградов (Виноградов, 1967). Детали изменения состава морской воды (переход из сульфатно-хлоридного типа в хлоридный, названный метаморфизацией (Валяшко, 1962)) не совсем ясны до сих пор. Процесс формирования состава рапного самосадочного бассейна морского происхождения (морской ветви галогенеза) во многом зависит от подготовительной стадии, на которой под влиянием метаморфизирующих агентов происходит устойчивое и необратимое изменение состава растворов и переход в хлоридный тип.

Процесс метаморфизации в его классическом понимании символизирует процесс «континентализации» морских вод. Выделение сульфата кальция и основных карбонатов магния, в дальнейшем формирующих карбонатные минералы, подчеркивает необратимость процесса метаморфизации за счет формирования труднорастворимых соединений. Главным продуктом является сульфат кальция (гипс или ангидрит) из-за реакций с ионами кальция. Наиболее эффективны и вероятны два варианта потери сульфата магния: 1) поступление гидрокарбонатных вод континентального стока с глинисто-терригенным материалом, в обменном комплексе которого также содержатся ионы кальция. Первоначальное соотношение  $MgCl_2:K_2$  сохраняется, и магний выпадает в форме основных карбонатов магния; 2) за счет хлорида кальция постоянным остается первоначальное соотношение  $Mg:K_2$  (D'Ans, 1968). Привнос в бассейн дополнительных ионов хлора естественно приводил к снижению бром-хлорного отношения в растворе. Этот процесс отличается от классического понимания процесса метаморфизации за счет гидрокарбонатных ионов, кальция обменного комплекса, реакций доломитизации и приводит к нарушению баланса хлоридов в формирующихся солеродных бассейнах, а также к более быстрому достижению садки хлоридных минералов. Основное отличие этих реакций заключается в формировании дополнительного количества хлористого магния. Хлорид кальция из разгружающихся хлор-кальциевых подземных вод и вод гид-

ротермальных источников является компонентом, резко меняющим обстановку. Он высаливает



**Рис. 3.** Диаграмма состояния системы  $\text{CaCl}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{KCl} - \text{H}_2\text{O}$  при температурах  $0^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  (по данным Assarson, 1950): Кр – карналлит, С – сильвин, Т – тахгидрит, Б – боймлерит

сульфат кальция, изменяет солевые равновесия на всех стадиях процесса галогенеза и способствует формированию хлоридных систем с различными соотношениями хлоридов магния и кальция, смещающими равновесия в сторону кристаллизации сильвина или карналлита. Выделение сильвина или карналлита зависит от соотношения хлоридов калия, магния, кальция в растворе, а также от термодинамических условий (рис. 3) (Assarson, 1950).

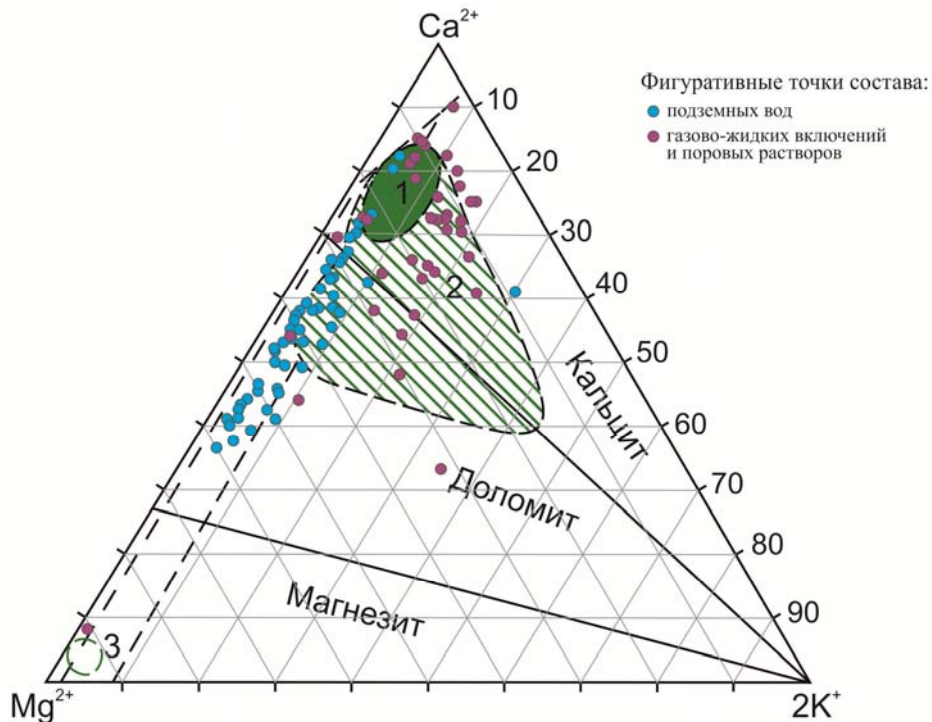
Нарушение баланса хлоридов в солеродном бассейне связано с двумя основными процессами, названными нами десцендентным и асцендентным путями возвращения элементов в цикл соленакопления (Петрова, Кислик, 1994). Роль этих процессов в калийном рудогенезе огромна. Концепция формирования калийных залежей различных гиперсоляных ассоциаций в осадочном выполнении Припятского калиеносного бассейна построена на тесной взаимосвязи механизмов и процессов, обусловивших интеграцию (смешение) нескольких источников водносолевого и кластогенного питания солеродного водоема.

Гидрохимический тип хлоридного бассейна, определяемый путями формирования состава вод, непосредственно контролирует вещественный состав тех хемогенных осадков, которые возникают на всех стадиях развития водоема, а следовательно, и минералого-петрографический тип галогенной (соленосной) формации, в том числе состава карбонатных минералов в хемогенно-терригенных породах (рис. 4). Среди хлоридных соленосных формаций только отложения Припятского бассейна лишены магнетита на высоких стадиях галогенеза.

Среди основных механизмов эволюции процесса галогенеза рассматриваются сближение объемов жидких и твердых фаз, а также кристаллизация с разделением и без разделения твердых и жидких фаз, участвующих в формировании калийных солей (Валляшко, 1962).

Сближение объемов твердых и жидких фаз к моменту кристаллизации калийных солей может происходить за счет:

1) кристаллизации солей по растворному, обменному, отрицательному по воде, испа-



**Рис. 4.** Диаграмма системы  $K^+, Na^+, Mg^{2+}Ca^{2+} // Cl-H_2O$  с полями существования карбонатных минералов (кальцита, доломита, магнезита). 1 – поле составов подземных рассолов; 2 – поле составов поровых растворов галопелитов и газово-жидких включений в солях; 3 – поле составов внутрисолевого раствора III калийного горизонта Старобинского месторождения

рительному циклу сближения объемов (чистый тип разреза, пестроцветная гиперсоляная ассоциация);

2) поглощения жидкой фазы терригенным материалом (красноцветная гиперсоляная ассоциация). В свое время М. Г. Валяшко, обращая внимание на выравнивание объемов жидких и твердых фаз, предположил участие в этом процессе кластогенного материала. Как показали последние исследования (Крайнов и др., 2004) с использованием термодинамических расчетов, следствием увеличения отношения твердая фаза / жидкая фаза являются сгущение вод, общий рост минерализации и что особенно важно – эволюция их геохимических типов (региональность эффекта). Кластогенный материал, поглощая воду, сгущает рассол, одновременно производя изменения в составе (хлорид магния → хлорид кальция).

Двойственность механизма сближения объемов в определенной степени объясняет формирование двух типов зон замещения / разубоживания (галитовый и галопелитовый) и двух типов «сухого озера». В этом принципиальном механизме также нашли

отражение представления М. Г. Валяшко о формировании сухого озера, о влиянии и роли терригенного материала.

Понятие «кристаллизация с разделением и без разделения твердых и жидких фаз» в представлении о формировании соленосных отложений в теорию галогенеза ввел М. Г. Валяшко (Валяшко, 1962), который под этим углом зрения рассматривал и процессы переотложения солей, детализируя их геохимическую историю.

Концепция формирования калийных залежей разных гиперсоляных ассоциаций построена на тесной взаимосвязи механизмов и процессов, обусловивших интеграцию (смешение) нескольких источников водносолевого и кластогенного питания солеродного бассейна (конечного водоема стока).

Пространственно-временное развитие красноцветной и пестроцветной гиперсоляных ассоциаций в Припятском бассейне (Петрова и др., 1985) во многом соответствует моделям их формирования, объясняет картины распределения калия, характеризуя роль рудоконтролирующих процессов. Формирование калийных залежей связано с пре-

образованием состава водносолевой массы и сближением объемов жидких и твердых фаз в зависимости либо от кристаллизации солей по растворному (обменному, испарительно-му) циклу (чистый тип разреза, пестроцветная ассоциация, нередко именуемый как петриковский тип), либо от влияния терригенного материала (хемогенно-терригенный тип разреза, красноцветная ассоциация – старобинский тип). Вторичные процессы, основанные на переотложении, разложении, перекристаллизации, уже в период седиментации приводили к изменению облика калийных залежей. Широко распространено мнение, что большинство красноцветных сильвинитов является продуктом рециклинга отложений карналлита (переотложение на месте при сохранении каменной соли либо в результате полного растворения солей и миграции растворов).

В калийных горизонтах красноцветной ассоциации широко развиты процессы кристаллизации солей с разделением фаз, которые проходили при несомненном влиянии десцендентных явлений (переотложения). В калийных залежах сильвиниты обычно располагаются в качестве первых отложений над базальными прослоями каменной соли. В отдельных многопластовых горизонтах выше по разрезу располагаются пласты массивных карналлититов. Формирование массивных карналлититовых пород шло из высококонцентрированных растворов в те периоды, когда резко менялся «структурный план» дна соляных водоемов за счет активизации тектонических нарушений. Наблюдающееся распределение карналлита и нерастворимого остатка в приразломных синклиналиях свидетельствует, с одной стороны, о «катастрофическом» привносе карбонатно-глинистого материала в результате обрушения и размыва, а с другой – о перетоке (миграции) в сформированные депрессии высококонцентрированных растворов. По-видимому, в эти периоды в чистом виде действовал механизм разделения фаз. Количество этих рассолов было достаточным для того, чтобы отложить пласты карналлита мощностью 3–7 м. Наличие карналлитовых залежей массивного типа, которые содержат нормальные модельные соотношения брома и других генетиче-

ских индикаторов, могут свидетельствовать в пользу первичного отложения солей в виде карналлита.

В залежах пестроцветной гиперсоляной ассоциации кристаллизация солей в самодочном бассейне на высоких стадиях осолонения может осуществляться без разделения фаз и под влиянием асцендентного возвращения элементов в цикл литогенеза, определяя широкое развитие постседиментационных процессов.

Калийные горизонты пестроцветной гиперсоляной ассоциации представлены сильвинитами и породами смешанного карналлит-сильвин-галитового состава с широким развитием процессов перекристаллизации сильвина, нередко пестрой окраски за счет зерен синего галита. В горизонтах пестроцветной ассоциации преобладают среднезернистые и мелкозернистые структуры с наблюдаемыми явлениями бластеза. В каменной соли нередко отмечается отчетливо зональная структура зерен галита, тогда как зональная структура в сильвине отсутствует.

В процессе кристаллизации без разделения фаз в бассейне могут происходить процессы карналлитизации сильвина и сильвинизации карналлита в зависимости от состава слоя рассола, контактирующего с солевыми отложениями. Процессы сильвинитизации и карналлитизации определяют состав отложений калийных солей на постседиментационной стадии. Наиболее широко диагенетические превращения распространены в чистых разрезах пестроцветной ассоциации с небольшой ролью хемогенно-терригенных примесей. Здесь наблюдается рекристаллизация окрашенного сильвина с переходом в белый. Механизмы осаждения калия подтверждаются геохимическими данными: анализ диаграммы четырехкомпонентной хлоридной системы показывает, что при изотермическом испарении сильвин кристаллизуется вместе с галитом и карналлитом, а при понижении температуры в осадок попадает только сильвин (рис. 3) (Валяшко, 1962; D'Ans, 1968; Assarson, 1950).

Образование пестрого сильвинита осуществляется на нескольких этапах. По всей вероятности, кристаллизация карналлита и

розового сильвина происходила одновременно, а белого сильвина – позднее из межкристалльных растворов с высоким содержанием  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Br}$ . В большинстве образцов карналлит-сильвиновых пород с зернистой структурой сильвин и карналлит являются сингенетическими минералами. Однако, возможно, что часть сильвина является результатом частичной сильвинизации карналлита. Сильвин мог развиваться по карналлиту, заменяя его по краям зерна. Возникновение таких структур обычно связано с действием менее концентрированных растворов на карналлитовую породу.

Часть белых средне-крупнозернистых сильвинитов с аномально высоким содержанием брома сформировалась в диагенезе за счет инконгруэнтного разложения карналлита под влиянием миграции остаточных, насыщенных по хлористому кальцию, но способных растворять карналлит, растворов (Борисенков, 1973). Первичные калийные отложения, состоящие в основном из смешанных солей, превращаются в сильвинитовые отложения в результате воздействия погребенных растворов.

Интенсивное проявление постседиментационных процессов создало довольно сложную и разнообразную картину распределения сильвина и карналлита в калийных отложениях пестроцветной гиперсоляной ассоциации. В приосевых частях современных синклиналей развиты преимущественно сильвиниты и карналлитсодержащие сильвиниты, а на поднятиях и в периферических зонах преобладают смешанные породы карналлит-сильвин-галитового ряда.

## Выводы

Таким образом, в калийных горизонтах красноцветной гиперсоляной ассоциации широко развиты метастабильные процессы кристаллизации солей с разделением фаз, которые проходили при несомненном влиянии десцендентных явлений (переотложение), о чем свидетельствуют высокие содержания калия в почти мономинеральных сильвинитовых прослоях и одновременно низкий бром. В залежах пестроцветной ассоциации

предполагается кристаллизация солей без разделения фаз на уровне колеблющегося равновесия с возможной первичной совместной кристаллизацией карналлита и сильвина. В том и другом случае механизм дренажа рассолов в наиболее погруженные части синклинальных структур является необходимым условием калиенакопления.

## Библиографический список

*Борисенков В. И.* Метод совмещения проекций при изображении состава многокомпонентных водно-солевых систем и его применение в геохимии галогенеза // Геохимия. 1973. № 9. С. 1382–1391.

*Валяшко М. Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 397 с.

*Виноградов А. П.* Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 214 с.

*Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.

*Литогеодинимика* и минерагения осадочных бассейнов / под ред. А. Д. Щеглова. СПб: ВСЕГЕИ, 1998. 477 с.

*Петрова Н. С., Высоцкий Э. А.* Седиментологические аспекты эволюции эвапоритовых бассейнов Припятского палеорифта // Литосфера. 1998. № 8. С. 62–68.

*Петрова Н. С., Кислик В. З.* Асцендентные и десцендентные процессы в галогенезе // «Закономерности эволюции земной коры»: мат. междунар. конф. СПб, 1996. С. 82.

*Петрова Н. С., Кислик В. З.* Системные факторы контроля галогенеза в Припятском палеорифте // Проблемы формирования и освоения месторождений полезных ископаемых солеродных бассейнов. V Междунар. солевое совещание. СПб, 1994. С. 98.

*Петрова Н. С., Седун Э. В., Ляхович О. К.* Специфические особенности калиеносных зон Припятского прогиба // Литолого-фациальные и геохимические проблемы соленакопления. М.: Наука, 1985. С. 185–194.

*D'Ans J.* Einige theoretische Unterlagen zur Behandlung der Fragen ueber die Bildungsbedingungen der oberreinen Kalisalzlagertstätten // Kali und Steinsalz. Band 5, Heft 1. P. 1–5.

*Assarson G.* Equilibria in aqueous system containing  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Cl}^-$ . // J. Amer. Chem. Soc. 1950. Vol. 70, No. 4. P. 1433–1442.

# Chloride Type Halogenesis in Pripyat Potassium Bearing Basin

**N.S. Petrova, N.Y. Denisova**

State Enterprise «Research and Production Center for Geology» Branch «Institute of Geology»

7 Akademika Kuprevicha Str., Minsk 220084, Belarus

E-mail: belnigri@list.ru

The problem of the formation of chloride salt-bearing series lacking in the magnesium sulfate is one of the most complex in the theory of halogenesis. Is chloride halogenesis an independent process or it is still a branch of marine halogenesis? The presence of thick chloride layers of salts indicates a large initial source of water-salt mass. Only sea (ocean) water could be such a source that never lost its sulfate content throughout the entire Post Proterozoic Stage. The article discusses the processes of formation of red-colored and variegated hypersaline associations established for potash deposits of the Middle-Upper Famennian salt-bearing formation of the Pripyat potassium-bearing basin.

Key words: *Pripyat intracontinental paleorift, halogenesis, potash deposit, hypersaline association.*

## Reference

*Borisenkov V.I.* 1973. Metod sovmeshcheniya proektsiy pri izobrazhenii sostava mnogokomponentnykh vodno-solevykh sistem i ego primeneniye v geokhimiya galogeneza [The method of combining the projections for representation of composition of the multicomponent aqueous-salt systems and its application in the geochemistry of halogenesis]. *Geokhimiya*, 9:1382–1391. (in Russian)

*Valyashko M.G.* 1962. Geokhimicheskie zakonornosti formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley [Geochemical patterns of potash deposit formation]. Moskva, MGU, p. 397. (in Russian)

*Vinogradov A.P.* 1967. Vvedeniye v geokhimiya okeana [Introduction to the geochemistry of the ocean]. Moskva, Nauka, p. 214. (in Russian)

*Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M.* 2004. Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty [Geochemistry of groundwater. Theoretical, applied, and environmental aspects]. Moskva, Nauka, p. 677. (in Russian)

*Litogeodinamika i minerageniya osadochnykh basseynov.* 1998. [Lithogeodynamics and minerageny of sedimentary basins]. SPb, VSEGEI, p. 477. (in Russian)

*Petrova N.S., Vysotskiy E.A.* 1998 Sedimentologicheskie aspekty evolyutsii evaporitovykh basseynov

Pripyatskogo paleorifta [Sedimentological aspects of the evolution of evaporite basins in the Pripyat paleorift]. *Litosfera*, 8:62–68. (in Russian)

*Petrova N.S., Kislik V.Z.* 1996. Astsendentnyye i destsendentnyye protsessy v galogeneze [Ascendant and descendant processes in halogenesis]. *In: Zakonomernosti evolyutsii zemnoy kory*, Tr. Mezhdunar. konf. SPb, p. 82. (in Russian)

*Petrova N.S., Kislik V.Z.* 1994. Sistemnye faktory kontrolya galogeneza v Pripyatskom paleorifte [Systemic control factors of halogenesis in the Pripyat paleorift]. *In: Problemy formirovaniya i osvoiniya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh solerodnykh basseynov. V Mezhdunar. solevoe soveshchanie.* p. 98. (in Russian)

*Petrova N.S., Sedun E.V., Lyakhovich O.K.* 1985. Spetsificheskie osobennosti kalienosnykh zon Pripyatskogo progiba [Specific features of potash-bearing zones in the Pripyat Trough]. *In: Litologo-fatsial'nye i geokhimicheskie problemy solenakopleniya*, pp. 185–194. (in Russian)

*D'Ans J.* Einige theoretische Unterlagen zur Behandlung der Fragen ueber die Bildungsbedingungen der oberreinischen Kalisalzlagerstaetten. Kali und Steinsalz, Band 5, Heft 1, pp. 1–5.

*Assarson G.* 1950. Equilibria in aqueous system containing  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  and  $Cl^-$ . *J. Amer. Chem. Soc.* 70(4):1433–1442.