

УДК 549.464.5:551.769(100)

## О ТАХГИДРИТОВОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ МЕЛОВЫХ КАЛИЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ

Э. А. Высоцкий

Новые данные, полученные за последние 20—25 лет, внесли коренные изменения во многие представления, казавшиеся ранее незыблемыми. Ценный материал появился также и по геологии осадочных бассейнов, в том числе соленосных. Особый интерес, с нашей точки зрения, заслуживает обнаружение мощных залежей тахгидрита в калиеносных формациях (сериях) мелового возраста.

Тахгидрит ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) — редкий и чрезвычайно гигроскопичный минерал, который до открытия крупных его скоплений в меловых калиеносных формациях был известен лишь в эвапоритовых отложениях цехштейна Среднеевропейского бассейна, где встречался в разрезе горизонта Стассфурт в виде маломощных невыдержанных прослоев в карналлитовой породе и заполнения трещин в глинах. Минералогические проявления тахгидрита в отложениях цехштейна, по мнению немецких исследователей (О. Брайтш и др.), не являются первично-седиментационными.

В настоящее время мощные залежи тахгидрита выявлены практически во всех калиеносных бассейнах мелового возраста: в Южной Америке (Сержипи — Алагоас), Африке (Западно-Африканский) и Азии (Корат и Саконнакон). Это дает основание считать в целом меловой период крайне благоприятным для накопления крупных объемов тахгидрита. Тахгидритовая специализация указанных бассейнов является уникальной и не имеет аналогов в домеловой и послемеловой истории развития Земли. В этой связи интересно выяснить специфику строения и состава эвапоритовых формаций с залежами тахгидрита, уточнить их парагенетические ассоциации, палеогеографические и палеотектонические условия формирования.

В бассейне Сержипи — Алагоас залежи тахгидрита связаны с аптской эвапоритовой серией Ибура формации Мурибека, трансгрессивно залегающей на терригенных образованиях нижнего мела, а местами на докембрийском кристаллическом фундаменте [13]. Мощность соленосных отложений варьирует от нескольких десятков метров до 800 м и более в зоне развития диапировых структур прибрежного района Восточно-Бразильского побережья [9].

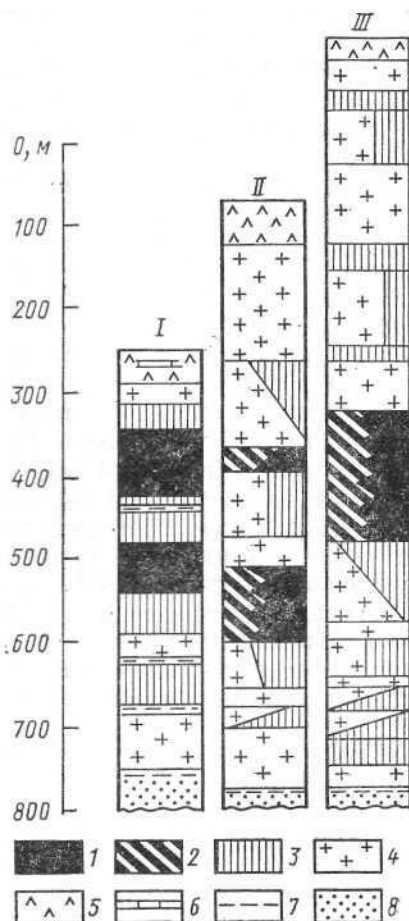
Особенностью строения эвапоритового разреза является отсутствие в его основании сульфатных пород (ангидрит, гипс), обычно широко представленных в соленосных формациях других геологических систем. Пласты ангидрита мощностью до нескольких метров распространены в верхней части эвапоритовых отложений и в свою очередь перекрываются морскими карбонатными образованиями. Соленосный разрез представлен чередованием в основном пластов каменной соли и карналлита. Прослеживается до четырех-пяти карналлитовых пластов мощностью до 70 м. Характерно широкое развитие тахгидрита, который формирует в соленосном разрезе две залежи, приуроченные к средней и верхней частям серии Ибура (рисунок). Мощность их колеблется от нескольких десятков метров до 100 м и более. Наблюдается четкая приуроченность в плане зон максимальных мощностей

тахгидритовых залежей к областям повышенных мощностей соленосных отложений.

В большинстве случаев тахгидритовые пласты имеют мономинеральный состав. Иногда наблюдаются слои карналлитовой породы и каменной соли. Кристаллы тахгидрита прозрачные, бесцветные или полупрозрачные с желтоватым оттенком. Они более крупные, чем зерна карналлита. Тахгидритовые залежи подстилаются карналлитовыми пластами и перекрываются, как правило, также карналлитовой породой (нередко сменяемой вверх по разрезу сильвинитами), реже каменной солью. Таким образом, отмечается пространственная и парагенетическая связь тахгидрита с карналлитовыми породами.

В Западно-Африканском бассейне залежи тахгидрита обнаружены в серии Эзанга аптского возраста [4, 11]. Эвапоритовые отложения распространены на огромной территории, вытянутой в субмеридиональном направлении на 1600—1700 км вдоль Атлантического побережья Африки, охватывая частично зону шельфа. Наиболее детально они изучены в Конголезской и Габонской впадинах. Эвапориты залегают на терригенных отложениях аптского возраста (песчаниках Гамба в Габоне или Шела в Конго), представляющих базальный член трансгрессивной серии. Мощность соленосных отложений от 100—250 до 1000 м,

Строение меловых эвапоритовых тахгидритовых формаций (серий): 1 — тахгидрит; 2 — бишофит; 3 — карналлитовая порода и сильвинит; 4 — каменная соль; 5 — ангидрит; 6 — карбонаты; 7 — глины и аргиллиты; 8 — песчаники, алевролиты и конгломераты. I — бассейн Сержипи — Алагоас, по [13]; II — Габонская впадина, по [11]; III — Конголезская впадина, по [11]



а в сводах соляных куполов достигает 2000 м. В береговой зоне Габона и Конго соленосный разрез завершается пластом ангидрита, который перекрывается морскими карбонатными или глинисто-карбонатными образованиями серии Мадиела [12].

Серия Эзанга представлена в основном каменной солью, содержащей пласты и линзы хлоридных калийных, калийно-магнелиевых и магниевых солей. Разрез ее характеризуется высокой соленасыщенностью (до 95—98%). Глинистые породы играют резко подчиненную роль, а карбонаты и сульфаты практически отсутствуют. Широко распространен карналлит, на долю которого в разрезе приходится до 15—20%. Мощность карналлитовых пластов варьирует от нескольких до 25 м и более. Сильвиниты имеют ограниченное развитие. В Конго и Габоне

в средней части соленосного разреза выявлены линзообразные залежи тахгидритовой и бишофитовой породы (рисунок), мощность которых достигает 150 м. В линзах нередко наблюдается переслаивание тахгидритовых и бишофитовых слоев мощностью 1—6 м с карналлитовой породой [11]. Тахгидрит бесцветный, желтоватый, воскового и кремового цвета. Характерна парагенетическая ассоциация тахгидрита с бишофитом и карналлитом. В основании тахгидритовых и бишофит-тахгидритовых залежей располагаются карналлитовые пласты, а перекрываются они, как правило, каменной солью или пластами галит-карналлитового состава.

В конце 1970-х годов значительные скопления тахгидрита выявлены в эвапоритовых отложениях позднемелового возраста (формация Махасаракхам), развитых в пределах плато Корат [7, 8, 10]. Здесь известны два бассейна (Саконнакон и Корат), приуроченные к впадинам, отчетливо выраженным в структуре осадочных комплексов по рельефу мезозойских образований и разделенным поднятием Фу-Фан. Первый расположен на территории Лаоса и Таиланда, второй — в пределах Южного Таиланда. Эвапоритовые отложения залегают на красноватых формации Хок-Круат, представленной песчаниками и алевролитами.

Формация Махасаракхам имеет мощность до 1000 м. В ее разрезе выделяются три соляные пачки (нижняя, средняя и верхняя). Нижняя пачка — самая мощная (до 450 м) и характеризуется высокой соленасыщенностью (около 95%). В ее основании залегает базальный пласт ангидрита (1—4 м), развитый практически повсеместно, а в верхней трети разреза — калиеносный горизонт. Мощность его от 1 до 94,8 м. Породообразующими калийными минералами являются сильвин и карналлит, причем последний доминирует. В ассоциации с карналлитом часто наблюдается тахгидрит. Он нередко присутствует в виде сросшихся кристаллов с карналлитом или образует мономинеральные прослои, слои, реже пласты мощностью до 16 м. Минерал имеет ярко-желтую окраску. В разрезе калиеносного горизонта на долю тахгидрита приходится до 30%. Отложения тахгидрита в большинстве случаев перекрываются карналлитовой породой, иногда содержащей в верхней части прослои и маломощные линзы сильвинита.

Приведенные данные о строении и составе тахгидритоносных эвапоритовых формаций позволяют сделать некоторые обобщения: 1) мощные залежи тахгидрита связаны с хлоридными соленосными формациями морского генезиса; 2) скопления тахгидрита в больших объемах наблюдаются как в трансгрессивных (Серии Ибура и Эзанта), так и регрессивных (формация Махасаракхам) соленосных комплексах; 3) соленосные формации, вмещающие залежи тахгидрита, обладают исключительно высокой соленасыщенностью; 4) характерна высокая карналлитонасыщенность разреза, причем в формациях трансгрессивного типа пласты карналлита распространены не только в верхней, но также в средней и нижней частях; 5) наблюдается пространственная и парагенетическая связь тахгидрита с залежами карналлитового и сильвин-карналлитового состава; в ассоциации с тахгидритом иногда развит бишофит; 6) в подошве тахгидритовых залежей всегда располагаются карналлитовые пласты, а в кровле — породы карналлитового, сильвин-карналлитового состава или пласты каменной соли; 7) залежи тахгидрита локализуются в пределах ареалов развития подстилающих карналлитовых пластов и занимают лишь часть их площади.

Особый интерес представляет выяснение седиментационных обстановок накопления тахидрита. В меловой период образование его происходило в бассейнах двух типов. Первые (Западно-Африканский и Сержипи — Алагоас) представляли собой рифтовые грабены, возникшие в результате раскола и раздвижения Гондваны. В аптский век в эту крупную рифтовую зону субмеридионального простирания (Южно-Атлантическую впадину) вторглись морские воды. Резкое изменение условий осадконакопления, интенсивное прогибание рифтовых впадин, высокая степень их изолированности, а также усилившаяся аридизация климата благоприятствовали развитию галогенеза. Имеется много фактов, свидетельствующих о том, что существовал единый солеродный бассейн [5, 9, 12, 14]. Во-первых, следует отметить, идентичность характера осадконакопления в доаптское время в рифтовых впадинах, находящихся в современную эпоху на разных концах Атлантического побережья Африки и Южной Америки. Во-вторых, соленосные серии (Эзанга и Ибура) обладают однотипным строением, практически сходным составом калийно-магниевого и магниевых залежей, а также близкими содержаниями микрокомпонентов (Br, Rb, Sr, V, F, Ba, Cu, Mn, Zn и др.) в эквивалентных типах соляных пород.

Бассейны второго типа (Корат, Саконнакон) являлись эпиконтинентальными водоемами. В структурном отношении они представляли собой пологие впадины в пределах Индосинийского срединного массива. Водно-солевое питание обеспечивалось за счет морских вод, поступающих с запада через узкий и длинный пролив из моря Тетис [7].

В бассейнах обоих типов тахидрит мог кристаллизоваться только из метаморфизованных рассолов, лишенных сульфат-иона и anomalно обогащенных кальцием. В настоящее время теория метаморфизации морских вод, объясняющая возникновение хлоридных рассолов, достаточно обоснована [1—3]. Согласно этой теории, метаморфизация осуществляется преимущественно за счет глинистого шлама и бикарбоната кальция, привносимых водами с континента. В Габонскую и Конголезскую впадины, а также в бассейн Сержипи — Алагоас поступали метаморфизованные и в достаточной степени сгущенные растворы. Об этом свидетельствуют отсутствие базальных карбонатов и сульфатов (ангидрит, гипс), ограниченное распространение глинистых пород, развитие многочисленных пластов калийно-магневых солей, в том числе в нижней части соленосных отложений. Однако наличие сульфатных пород в основании соленосного разреза в отдельных впадинах на юге (Эспириту-Санту, Кванза) позволяет предполагать существование промежуточного бассейна в южной части Южно-Атлантического протоокеанического залива, где происходило осаждение сульфата кальция.

Формирование эвапоритовых отложений в бассейнах Саконнакон и Корат началось с кратковременного осаждения сульфата кальция практически на всей их площади. Отсутствие подстилающих карбонатных пород и незначительная мощность базальных ангидритов указывают на избыток галита по отношению к гипсу или ангидриту. По-видимому, карбонаты и основные объемы сульфата кальция были осаждены из морской воды по пути продвижения ее в район плато Корат. Дальнейшее концентрирование растворов в условиях аридного климата обусловило прогрессирующее развитие галогенеза и накопление больших объемов каменной, калийно-магневых и кальциево-магневых солей. Наблюдаемое в соленосном разрезе медленное, но постоянное увеличение содержания брома от основания нижней соля-



ной пачки к калиеносному горизонту свидетельствует о закономерном возрастании концентраций рассолов.

Необходимым условием образования тахгидрита является чрезвычайно высокая обогащенность хлоридных растворов кальцием, который в процессе метаморфизации морской воды осаждается на первых стадиях ее сгущения. Н. Вардлау [13], рассматривая специфику формирования залежей тахгидрита в Бразилии, допускает возможность поступления кальция за счет освобождения его в процессе доломитизации, обмена катионами между рапой и глинистым шламом, привноса с подземными, поверхностными или ювенильными водами. Первые два фактора, по-видимому, не играли сколько-нибудь значительной роли, так как в бассейне Сержипи — Алагоас нет карбонатных пород ни в подсолевом, ни в соленосном разрезе, незначительна также роль глин в составе соленосных отложений. Аналогичная картина наблюдается в Западно-Африканском бассейне (Конголезская и Габонская впадины). Поэтому наиболее вероятным является поступление хлоридно-кальциевых растворов из подсолевых комплексов по разломам, которые активно развивались до и во время соленакопления в связи с рифтогенезом и раздвижением Южной Америки и Африки. В такой обстановке создавались благоприятные условия для разгрузки ювенильных вод. В пользу этого может свидетельствовать относительная обогащенность отложений тахгидрита F, Mn, Cu, Zn, Pb и другими элементами.

Повышенный тепловой поток, характерный в целом для Южно-Атлантической рифтовой зоны, положение ее в южном тропическом поясе [6] обеспечивали соответствующие термические условия образования тахгидрита, который может кристаллизоваться при температуре не менее 22° С [2, 13].

Бассейны второго типа (Саконнакон и Корат) располагались в северной тропической зоне. В процессе развития галогенеза здесь также создавалась благоприятная термическая обстановка для выделения тахгидрита в осадок. Обогащение кальцием хлоридных рассолов на поздних стадиях их концентрирования, по-видимому, обеспечивалось в основном за счет разгрузки хлоридно-кальциевых рассолов из подсолевого комплекса по разломам и ослабленным зонам. Однако объемы поступления кальция были значительно меньше, чем во впадинах Южно-Атлантической рифтовой зоны. Это в значительной степени сказалось на масштабах накопления тахгидрита и в целом обусловило формирование относительно маломощных залежей.

Тахгидрит кристаллизовался из высококонцентрированных рассолов, которые скапливались в наиболее интенсивно погружающихся участках (палеодепрессиях) в пределах ареала распространения карналлитовых пород. Палеодепрессии развивались в основном конседиментационно, т. е. одновременно с соленакоплением, что подтверждается приуроченностью залежей хлоридных кальциево-магниево-солей к зонам повышенных первично-седиментационных мощностей соленосных отложений. Однако к началу тахгидритонакопления отрицательные палеоструктуры, по всей вероятности, не были полностью компенсированы и представляли собой остаточные водоемы, в которые с обсыхавших площадей солеродных бассейнов дренировались маточные рассолы, игравшие существенную роль в их водно-солевом питании.

Во время образования тахгидритовых залежей в большинстве случаев существовал слой рапы значительной мощности и наблюдались периодические изменения ее концентрации, подтверждением чего слу-

жит развитие среди хлоридных кальциево-магниевых солей слоев карналлита, каменной соли и ограниченное распространение бишофита. В связи с этим отметим, что в субэвральных условиях тахгидрит быстро переходит в бишофит [13]. Такие условия, по-видимому, иногда возникали в Габонской и Конголезской впадинах, где в составе залежей хлоридных калийно-магниевых и кальциево-магниевых солей распространен бишофит. Поверхностный слой высококонцентрированной рапы играл роль экрана, предохранявшего от воздействия атмосферы отложения тахгидрита.

Меловой период являлся крайне благоприятным для формирования мощных залежей хлоридных кальциево-магниевых солей, которые выявлены практически во всех калиеносных формациях этого возраста. Пространственно и парагенетически отложения тахгидрита связаны с горизонтами калийно-магниевых солей и всегда располагаются в пределах ареалов распространения подстилающих карналлитовых пород. В разрезе они перекрываются карналлитовыми, силвин-карналлитовыми или галитовыми пластами.

Образование мощных отложений тахгидрита происходило в эвапоритовых бассейнах, которые в структурном отношении представляли рифтовые грабены и пологие впадины типа синеклиз. В первых формировались трансгрессивные тахгидритсодержащие соленосные серии, во вторых — регрессивные. Бассейны первого типа располагались в южном, второго — в северном тропическом поясе. Кристаллизация тахгидрита осуществлялась из высококонцентрированных anomalно обогащенных кальцием хлоридных рассолов, которые скапливались в пределах топографических впадин рельефа дна эвапоритовых бассейнов, создаваемых в основном за счет конседиментационных движений или в результате неполной компенсации осадконакоплением существующих палеодепрессий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М., 1962. 398 с.
2. Валяшко М. Г. Геохимические условия формирования отложений тахгидрита // Пробл. литол. и геохимии осадочных пород и руд. М., 1975. С. 297—311.
3. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М., 1962. Т. 3. 550 с.
4. Belmonte Y., Hirtz P., Wenger R. The basins of the Gabon and the Congo // Salt basins around Africa. London, 1965. P. 55—74.
5. Busson G. Genèse des évaporites: les enseignements des milieux épicontinentaux apparaissent—ils transposables aux évaporites de marge océanique? // Bull. Soc. géol. Fr. 1978. Vol. 20, N 4. P. 533—545.
6. Dietz R. S., Holden I. C. The break-up of Pangea // Continents drift, readings from scientific american. San-Francisco, 1972. P. 47—58.
7. Hite R. J., Japakasetr T. Potash deposits of the Khorat Plateau, Thailand and Laos // Econom. Geol. 1979. Vol. 74. P. 448—458.
8. Japakasetr T. Potash deposits of Northern Thailand // Fertilizer mineral potential in Asia and Pacific. Honolulu, 1980. P. 399—409.
9. Leyden R. Salt distribution and crustal models for the oil Eastern Brazilian margin // An. Acad. Brasil. Ciênc. 1976. Vol. 48. P. 159—168.
10. Potash deposits of Thailand have very thick beds of carnallite // World Min. 1978. Vol. 31, N 11. P. 51—53.
11. Ruiter P. A. C., de. The Gabon and Congo basins salt deposits // Econom. Geol. 1979. Vol. 74, N 2. P. 419—431.
12. Vidal J., Joyes R., Veen J., van. L'exploration pétrolière au Gabon et au Congo // 9th World Petrol. Congr. Proc. 1975. N 3. P. 149—165.
13. Wardlaw N. C. Unusual marine evaporites with salts of calcium and magnesium chloride in Cretaceous basins of Sergipe, Brazil // Econ. geol. 1972. Vol. 67, N 2. P. 156—168.
14. Wardlaw N. C., Nicholls G. D. Cretaceous evaporites of Brazil and West Africa and their bearing on the theory of continental separation // Proceedings of the 24th Intern. Geol. Congr. Sec. 6. 1972. P. 43—55.

## ON TACHYHYDRITE SPECIALIZATION OF CRETACEOUS POTASH-BEARING FORMATIONS

*E. A. Vysotsky*

The occurrence of thick tachyhydrite spatially and paragenetically associated with carnallite deposits is a specific feature of Cretaceous potash-bearing formations. Tachyhydrite was formed within residual reservoirs from highly concentrated chloride brines anomalously enriched at the final stages of halogenesis.

## НОВЫЕ КНИГИ В БИБЛИОТЕКЕ МОИП

**Haven H. L. ten.** Organic and inorganic geochemical aspects of Mediterranean Late Quaternary sapropels and Messinian evaporitic deposits // *Geologica Ultraiectina*. 1986. N 46. 203 p.

Детально изучено органическое вещество четвертичных сапропелей восточной части Средиземного моря. Показано, что оно имеет смешанное морское, терригенное и бактериальное происхождение. В сапропеле  $S_1$  количество органического вещества наземного генезиса увеличивается по направлению от берега и с углублением бассейна. Обсуждено образование рассолов в глубоких впадинах Восточного Средиземноморья.

**Fine S.** The diagenesis of the Lower Triassic Bunter Sandstone Formation onshore Denmark // *Denmarks geologiske Undersøgelse*. Ser. A. 1986. N 15. 51 p.

Описаны вскрытые скважинами на окраине Северо-Германского бассейна (на глубинах 1150—1900 м) отложения пестрого песчаника, которые представляют собой континентальную толщу, формировавшуюся в аридных и семиаридных условиях. Изучены диагенетические особенности, свойственные красноцветам. Зафиксированы следы влияния на диагенез захороненных рассолов с высокой концентрацией натрия.