

Н. В. ТАГЕЕВА и М. М. ТИХОМИРОВА

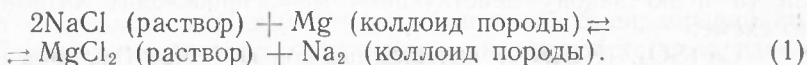
**К ГЕОХИМИИ ПРИРОДНЫХ ВОД ХЛОРИДНОГО  
МАГНИЕВО-НАТРИЕВОГО ТИПА**

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 23 II 1954)

К природным водам хлоридного магниево-натриевого типа относятся воды, в минеральной части которых, выраженной в солях, наряду с хлористым натрием присутствует хлорид магния, а также сульфаты и гидрокарбонаты щелочноземельных металлов в тех или иных сочетаниях. Химический состав этих вод может быть выражен так:  $\text{Cl} - \text{Na} - \text{Mg}$ ,  $(\text{SO}_4, \text{HCO}_3) - (\text{Mg}, \text{Ca})$ . Тип хлоридных магниево-натриевых вод широко распространен как на поверхности земли, так и в стратосфере. Чаще он представлен солеными водами. Достаточно сказать, что к нему относится вода мирового океана, многих соляных озер и пластовых рассолов.

В литературе неоднократно касались вопроса о происхождении химического состава вод хлоридного магниево-натриевого типа, но окончательного разрешения этот вопрос не получил.

Большинство исследователей (С. А. Шукарев <sup>(2)</sup>, В. А. Сулин <sup>(1)</sup> и др.) связывают происхождение хлористого магния в подземных водах и воде озер с обменной адсорбцией между пластовым раствором и вмещающей породой по схеме:



Происхождение хлористого магния в воде океана до сих пор не выяснено.

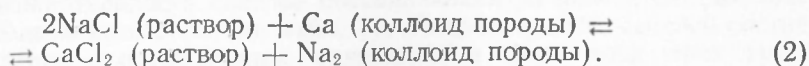
Наши геохимические исследования пластовых вод установили некоторые закономерности распространения и взаимосвязи хлоридных магниево-натриевых вод с другими геохимическими типами подземных вод и пути их формирования, которые были затем подтверждены экспериментально. Изучение подземных вод позволило выяснить некоторые черты формирования хлоридных магниево-натриевых вод поверхности земли и, в частности, воды океана.

Остановимся сначала на формировании подземных вод хлоридного магниево-натриевого типа. Основным процессом при этом является, как это указывалось многими авторами, обменная адсорбция между пластовыми водами и породами. Но наши исследования показали, что прямое обогащение вод магнием из поглощающего комплекса пород по схеме (1) происходит лишь в незначительной степени, что объясняется, вероятно, положением магния в лиотропном ряду элементов и обычно высокой величиной  $\text{Mg}/\text{Na}$  в пластовых растворах за счет присутствия сульфата магния.

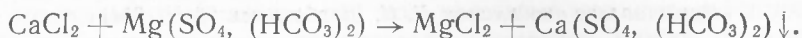
Изучая подземные воды, можно выделить два типа распространения вод, содержащих хлористый магний, и, соответственно, два пути их формирования.

1. Хлоридные магниево-натриевые воды широко распространены среди подземных вод неглубокого залегания (часто это грунтовые воды) в

областях с засушливым климатом в условиях средней подвижности подземных вод. Примерами могут служить неглубокие подземные воды Прикаспийской низменности, воды третичных отложений пустыни Каракумы и др. При формировании этих вод основным процессом является катионный обмен по схеме:

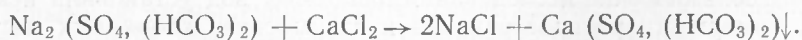
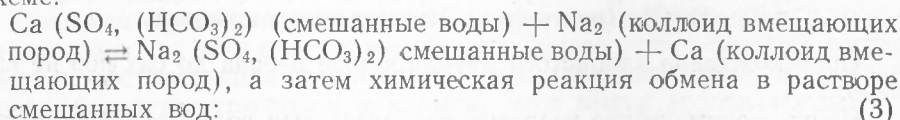


Главным условием геохимической обстановки при этом является наличие высокой концентрации хлористого натрия в пластовом растворе при низком содержании в нем кальция, что часто осуществляется в породах засушливых районов. Формирование хлоридных магниево-натриевых вод происходит затем при химической реакции обмена:



Эта реакция имеет место в условиях умеренного водообмена, при котором в пласте происходит приток инфильтрационных вод, содержащих сульфат или карбонат магния. В этих условиях весь образующийся  $\text{CaCl}_2$  уступает место хлориду магния. В случае более замкнутой гидрологической обстановки и, следовательно, малой подвижности подземных вод происходит, согласно уравнению (2), формирование хлоридных щелочно-земельно-натриевых вод, содержащих  $\text{CaCl}_2$ . Однако такие условия весьма редко осуществляются в породах в зоне распространения инфильтрационных подземных вод.

2. Другой путь формирования подземных вод хлоридного магниево-натриевого типа имеет место при нарушении замкнутого залегания в пластах древних метаморфизованных рассолов морской седиментации типа  $\text{Cl—Na—Mg—Ca, (SO}_4, \text{HCO}_3)—\text{Ca}$  и смешении их с кальциевыми подземными водами инфильтрации. При этом нарушается равновесие между вмещающими породами и рассолами морской седиментации и благодаря притоку вод, содержащих соли кальция, в растворе возрастает величина  $\text{Ca/Na}$  и по закону действующих масс происходит катионный обмен по схеме:



Хлористый кальций древних вод морской седиментации постепенно исчезает из смешанных вод, заменяясь хлористым натрием, в растворе же остается хлористый магний рассолов седиментации, и, таким образом, формирующиеся воды относятся к геохимическому типу пластовых хлоридных магниево-натриевых смешанных вод. Воды эти, как правило, находятся в краевой (обычно верхней) зоне распространения древних рассолов морской седиментации в условиях среднего по активности водообмена в пласте. Примерами могут служить хлоридные магниево-натриевые пластовые рассолы палеозойских отложений Русской платформы и Предуральского краевого прогиба, третичных пород Предкарпатского прогиба и многие другие.

Как видим, формирование подземных вод хлоридного магниево-натриевого типа в обоих рассмотренных выше случаях происходит из вод хлоридно-кальциевого типа в условиях среднего по активности водообмена в пласте. В первом случае происходит формирование хлоридно-кальциевых вод и затем переход их в хлоридно-магниевые воды, во-вторых — метаморфизация ранее существовавших хлоридно-кальциевых рассолов в тип хлоридно-магниевых смешанных вод.

В обоих случаях при формировании этого типа вод важное значение имеет катионный обмен между водами и породами, а затем исчезновение из раствора  $\text{CaCl}_2$  и появление в нем  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , причем для хлоридных магниево-натриевых вод геохимически характерным является коэффициент  $\text{Mg}(\text{SO}_4, (\text{HCO}_3)_2)/\text{MgCl}_2$ , величина которого меняется в пределах этого типа вод от 0 до  $\infty$ . В водах хлоридно-кальциевого типа этот коэффициент равняется нулю, а в водах хлоридно-натриевого типа:  $\text{Cl}-\text{Na}$ ,  $(\text{SO}_4, \text{HCO}_3)-(\text{Mg}, \text{Ca})$  и сульфатно-гидрокарбонатно-натриевого типа:  $\text{Cl}-\text{Na}$ ,  $(\text{SO}_4, \text{HCO}_3)-\text{Na}-(\text{Mg}, \text{Ca})$ , в которые, согласно уравнению (3) в конечном счете в условиях активного водообмена переходят хлоридные магниево-натриевые воды, эта величина равняется бесконечности. В обоих случаях формирования типа хлоридных магниево-натриевых вод он имеет с геохимической и гидрогеологической стороны переходный, промежуточный характер между водами хлоридно-кальциевого типа, формирующимися в условиях застойного режима, и водами хлоридно-натриевого и сульфатно-гидрокарбонатно-натриевого типов, образующимися при активном водообмене в пласте.

Геологические и геохимические условия океана и эпиконтинентальных морей до некоторой степени сходны с таковыми подземных вод хлоридного магниево-натриевого типа. Ложе океана является как бы своеобразным сосудом на поверхности земли, содержащим водный раствор с высокой концентрацией хлористого натрия, наряду с другими солями. Раствор находится в сложном геохимическом взаимодействии с дном и стенками этого сосуда, представленными кристаллическим и коллоидным косным и живым веществом, а также с постоянно поступающей в океан водой суши и атмосферой земли. В результате этого взаимодействия устанавливается подвижное равновесие между водой океана, веществом, слагающим его донные осадки, живым веществом моря, поступающими в него водами суши и атмосферой, при котором формируется однородный химический состав воды океана — рассол хлоридного магниево-натриевого типа.

Формирование этого рассола по аналогии с подземными водами может быть объяснено следующим образом. Большую роль во взаимодействии воды океана с донными осадками играет катионный обмен, идущий по схеме (2). Однако в воде океана отсутствует замкнутая обстановка, главным образом, из-за постоянного притока вод суши, и, таким образом, не может сохраняться тип хлоридно-кальциевых вод. В своеобразных условиях водообмена в океане в присутствии сульфата магния, поступающего из вод суши, образовавшийся при обменной адсорбции хлористый кальций тотчас же заменяется хлористым магнием по реакции обмена:



Таким образом формируется хлоридный магниево-натриевый тип воды океана, главными компонентами которого наряду с  $\text{MgCl}_2$  являются хлористый натрий, сульфат магния и сульфат кальция. Однако сульфат кальция, вносимый водами суши и образующийся по приведенной выше реакции обмена, не насыщает воды океана вследствие микробиологического восстановления  $\text{CaSO}_4$ , которое широко распространено в придонных частях океана.

По аналогии с условиями подземных хлоридных магниево-натриевых вод, водообмен океана с сушей следует отнести по его активности к среднему; этот водообмен характеризуется коэффициентом  $\text{MgSO}_4/\text{MgCl}_2 = 0,56$  \*. Более активный водообмен с сушей осуществляется в морях, отделившихся от океана и образующих замкнутые бассейны с усиленным притоком в них континентальных вод. Для химического состава воды этих

\* Химический состав воды океана по (3). Химический состав воды Каспия по анализу А. Лебединцева, вода Аральского моря — по анализу Шмидта (4).

реликтовых морей характерен более высокий коэффициент  $MgSO_4/MgCl_2$ ; в некоторых из этих бассейнов вода переходит, как и подземные воды в зоне активного водообмена, в тип сульфатно-натриевых вод. Примером могут служить Каспийское и Аральское моря. Вода Каспия принадлежит к хлоридно-магниевому типу, но ее коэффициент  $MgSO_4/MgCl_2 = 15,22$ , т. е. он во много раз выше, чем таковой океана; вода Аральского моря относится к сульфатно-натриевому типу.

Все вышеизложенные представления о геохимии вод, содержащих хлористый магний, вносят новое в понимание этого типа природных вод в его взаимосвязи с другими природными растворами и осадочными породами. Представления эти помогают разобраться в сложном комплексе природных вод при исследованиях регионального характера.

Лаборатория гидрогеологических проблем  
им. Ф. П. Саваренского  
Академии наук СССР

Поступило  
22 II 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. А. Сулин, Воды нефтяных месторождений, 1949. <sup>2</sup> С. А. Шукарев, Изв. Инст. физ.-хим. анализа АН СССР, 4 (2) (1930). <sup>3</sup> Н. U. Sverdrup, M. W. Johnson, R. H. Fleming, The Oceans, their physics, chemistry and general biology, N. Y., 1942. <sup>4</sup> F. W. Clarke, Data of Geochemistry, 1924.