

С. А. ДУРОВ

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД И ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ИХ СОСТАВА

(Представлено академиком И. И. Черняевым 23 VI 1947)

1. При оценке народно-хозяйственных районов в бытовом, промышленном, транспортном отношениях немалое значение имеет количество и качество поверхностных и подземных вод. Обработка массовых анализов воды затрудняется отсутствием общепринятой классификации, учитывающей разнообразие пресных вод и генетическую связь между типами воды.

2. Изучение вод Кавказа, Донецкого бассейна и Западной Сибири позволило установить 18 видов вод, отличающихся различной комбинацией солей из шести ионов  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^{+}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $Cl^{-}$ . Дальнейшее распределение природных вод исходило из связи между ростом минерализации, изменением отношения магния к кальцию и увеличением как относительного, так и абсолютного содержания иона натрия.

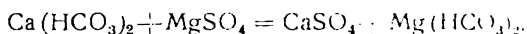
3. Задаваясь целью систематизировать пресные воды, пригодные для питья, промышленности и транспорта, мы направили внимание на воды, имеющие массовое распространение и участвующие в природном кругообороте. С этой точки зрения естественно начинать историю каждой воды, наземной или подземной, с начала ее движения на земле, куда она попадает в результате конденсации атмосферных водяных паров. Конечной стадией естественно принять мировой океан или озера бессточных областей, откуда для воды остается один путь — в виде водяных паров, чем и замыкается кругооборот. Последовательный переход состава воды от начальной стадии к конечной возможен, если мы примем, что вода попадает на уже промытые от легко растворимых солей земные слои и постепенно при своем движении обогащается более растворимыми солями путем простого растворения, а затем подвергается более сложным процессам метаморфизации.

4. Предлагается следующая схема классификации природных вод, состоящая из 5 классов: I класс — простейшие или начальные воды, воды скупого или первичного растворения; II класс — вторичные воды, воды легкого или вторичного растворения, причем процессы метаморфизации имеют малое значение. Далее идут три класса метаморфизованных вод, получающихся из вод II класса, а именно: III класс — сульфатные воды, получающиеся при потере бикарбонатов; IV класс — хлоридные воды, получающиеся при потере бикарбонатов и сульфатов; V класс — щелочные или содовые воды, получающиеся при потере сульфатов.

5. К простейшим или начальным водам I класса относятся воды, образующиеся от действия атмосферных осадков и талых вод на хорошо промытую от легко растворимых солей поверхность земли. Вода, содержащая растворенную угольную кислоту, довольно быстро растворяет известняки и доломиты и насыщается бикарбонатами кальция

и магния. Минерализация этих вод невелика — 100—300 мг/л и менее, отношение  $Mg/Ca = 0,1—0,2$ ; сульфатов и хлоридов нет или мало (можно ограничить 0,2 мг-экв/л или, может, лучше 10<sup>0</sup> мг-экв.).

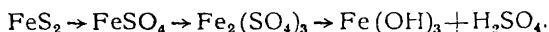
6. Воды II класса — вторичные — получаются из вод I класса при их движении по поверхности осадочных пород и в глубину их. Имеющиеся в проходимых водой земных слоях сульфаты и хлориды натрия и магния, находящиеся там в твердом виде или в виде растворов, обогащают собою состав воды. В составе воды появляется гипс по реакции:



Может происходить и прямое растворение гипса. Минерализация растет до 500—1000 мг/л и выше. Жесткость увеличивается. Отношение  $Mg/Ca$  повышается от 0,3 до 0,7 и выше. Особенно быстро идет этот процесс в мало промытых грунтах со следами недавнего пребывания моря, например в Северном Предкавказьи, на юге Донбасса, в Кулундинской степи и т. д. В этих районах трудно обнаружить воды I класса.

7. Дальнейшее изменение воды связано с более глубокой метаморфизацией вторичных вод, с участием процессов концентрирования воды при частичном испарении, а также с коллоидно-химическими реакциями. При этом происходит удаление из раствора части менее растворимых солей, как то: карбоната и сульфата кальция, карбоната магния, доломита, а затем сульфата или хлорида натрия и т. д. Метаморфизованные воды, соответственно трем главным путям метаморфизации, могут быть подразделены на сульфатные, хлоридные и щелочные (содовые). Эти три типа мы встречаем уже среди пресных вод. Они же являются главнейшими типами минеральных источников <sup>(4)</sup> и озер <sup>(5)</sup>. Алекин <sup>(6)</sup> считает возможным все природные воды разделить на эти три класса. При этом простейшие пресные воды попадают в один класс с самосадочными содовыми озерами, что мы считаем недостатком классификации Алекина.

8. Сульфатные воды — III класс — получаются из вторичных вод, если хлориды имеют второстепенное значение, а бикарбонаты удаляются из воды. При концентрировании воды в открытых водоемах бикарбонаты переходят в мало растворимые карбонаты и выпадают в осадок. При далеко зашедшем концентрировании мы приходим к сульфатным озерам как к крайнему развитию сульфатного типа, характерного для материковых озер <sup>(7)</sup>. Возможен и другой путь прямого вытеснения бикарбонатов сульфатами. В районах, богатых ископаемыми органическими осадками, имеется много пирита как продукта восстановления сульфатов углеродом. При поступлении вторичных вод, содержащих растворенный кислород, происходит окисление пирита с образованием серной кислоты:

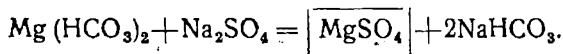
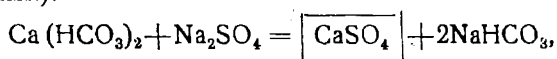


Как серная кислота, так и сульфат железа (окисного) переводят бикарбонаты кальция и магния в сульфаты. Получаются кислые шахтные воды. Переходными между ними и обычными вторичными водами являются воды с содержанием бикарбоната и сульфата магния, отличающиеся большой коррозионностью в паровых котлах.

9. Воды хлоридные — IV класс — являются наиболее устойчивым типом. Они получаются из вторичных вод при накоплении хлоридов и одновременном удалении бикарбонатов и сульфатов за счет выпадения карбоната кальция, доломита и гипса. Большей частью они получаются в открытых водоемах при постепенном испарении воды, что

приводит к воде морского типа и соляным озерам. Формирование этих вод сопровождается катионным обменом с получением хлоридов кальция и магния.

10. Щелочные воды — V класс — с давних пор привлекают внимание химиков и геологов, начиная с Бертолле<sup>(8)</sup>. Обменная реакция между бикарбонатом кальция и сульфатом или хлоридом натрия не может обычным путем, без какого-либо дополнительного механизма, объяснить нам появление содовых подземных вод с невысокой минерализацией и часто с полным отсутствием сульфатов, тогда как в более верхних слоях мы имеем обычные жесткие воды II класса. Интересно наличие артезианских щелочных вод от Азово-Черноморья до Каспийского моря в сравнительно неширокой полосе (Ахтари, Краснодар, Тихорецк, Сальск, ст. Артезиан Астраханской ветви и др.). Эти воды могли образоваться из вторичных вод путем коллоидно-химического поглощения двувалентных ионов  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  и  $\text{SO}_4^{--}$  соответственными подземными слоями (например пресноводными четвертичными глинами):



Эти воды нередко совсем не содержат сульфатов, не имея вместе с тем серьезных признаков развития биохимических процессов. Мы не исключаем биохимический путь образования содовых вод и другие возможные пути их образования, но считаем, что предлагаемый нами механизм лучше объясняет появление подземных щелочных вод с очень малой жесткостью и высоким отношением  $\text{Mg}/\text{Ca}$ . При концентрировании подобных вод могут получиться содовые озера.

11. В шахтных сульфатных водах и в подземных содовых водах, пригодных для питья, отношение  $\text{Mg}/\text{Ca}$  близко к единице. При крайнем развитии всех трех типов метаморфизованных вод получают воды большой минерализации и с высоким отношением  $\text{Mg}/\text{Ca}$ . Эволюция обычных пресных вод широкого природного кругооборота приводит нас к трем конечным типам. Так как в самосадочных озерах мы встречаемся с этими же главными типами и переходными между ними, то можно, во-первых, считать предложенную нами классификацию достаточной для природных вод, находящихся в кругообороте, а, во-вторых, образование озер разных типов следует связывать с формированием типов питающих их поверхностных и подземных вод.

12. Для графического изображения результатов массовых анализов воды предлагается sdвоенная треугольная диаграмма (рис. 1). В треугольнике Гиббса выражается состав воды по трем главным анионам  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  и  $\text{Cl}^-$ . В другом треугольнике — по трем главным катионам  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  и  $\text{Na}^+$ . Ион  $\text{CO}_3^{--}$  присоединяется к  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$ . Количества соответственных ионов перечисляются на проценты мг-экв., принимая сумму анионов, как и сумму катионов, за 100. Для получения в квадрате точки, отвечающей данной воде, находим точки для анионов и катионов, проводим из этих точек перпендикуляры на ближайшие стороны квадрата и продолжаем линии перпендикуляров до пересечения в квадрате. Составу воды отвечает сопряженная тройная точка. Каждому изменению состава воды соответствует одновременное движение трех точек.

13. В квадрате простейшие воды I класса занимают верхний правый угол, вторичные воды II класса размещаются по диагонали, отвечающей переходу от  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  к  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , метаморфизованные воды

отходят от вторичных в разные стороны и занимают противоположную простейшим водам часть диаграммы. Последовательно по периферии размещаются шахтные воды, воды сульфатных озер, хлоридные воды и содовые. Переход от вторичных вод II класса к содовым водам V класса идет по направлению, перпендикулярному вышеуказанной

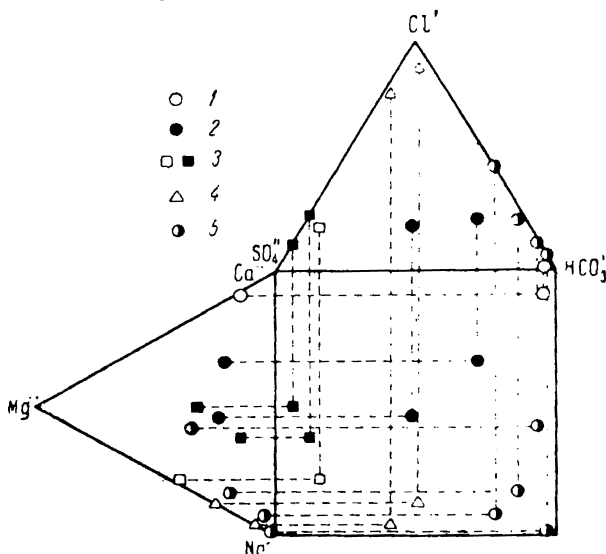
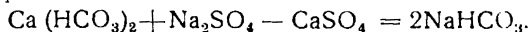


Рис. 1. Сдвоенная треугольная диаграмма состава природных вод. 1 — простейшие, 2 — вторичные, 3 — сульфатные, 4 — хлоридные, 5 — щелочные

диагонали, отвечая потере сульфата кальция (и магния), что можно представить уравнением:



14. Предлагаемая сдвоенная диаграмма рекомендуется при рассмотрении системы вод определенной географической провинции, при массовом сравнении вод крупной хозяйственной организации, транспорта, сельского хозяйства, при прослеживании изменения состава воды больших рек и т. д. Небольшое усложнение диаграммы позволяет отразить в ней минерализацию вод. Предлагаемое нами объединение треугольников анионов и катионов является более простым, чем комбинирование треугольников с шестью ионами, предлагавшееся американскими авторами в виде шеврона или алмазоподобной фигуры<sup>(9)</sup>. Наш график также много проще графика, только что предложенного В. А. Сулиным<sup>(10)</sup>.

Гидрохимический институт  
Академии Наук СССР  
Новочеркасск

Поступило  
23 VI 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ф. П. Саваренский, Гидрогеология, 1935, стр. 289—293. <sup>2</sup> С. А. Шукерев, Тр. Гос. центр. ин-та курортологии, 5, 159 (1934). <sup>3</sup> В. И. Вернадский, История природных вод, ч. I, в. 1, 2, 3, 1933. <sup>4</sup> F. W. Clarke, The Data of Geochemistry, Washington, 1911. <sup>5</sup> А. И. Дзенс-Литовский и М. Г. Валяшко, Методика комплексного изучения минеральных озер, 1935, стр. 42—58. <sup>6</sup> О. А. Алексин, Сборн. Вопросы гидрохимии, 1946. <sup>7</sup> В. В. Эпштейн, Гидрохим. материалы, 11, 211, 1939. <sup>8</sup> К. Бертолле, Изв. физ.-хим. анал., 6, 331 (1938). <sup>9</sup> А. М. Piper, Trans. Am. Geophys. Union, 25, Pt. 6, 914 (1944); R. A. Hill, ibid., Pt. 1, 45 (1940); Chem. Abstr., 34, 8119 (1940); 39, 4171 (1945). <sup>10</sup> В. А. Сулин, Воды нефтяных месторождений в системе природных вод, 1946.