

АКАДЕМИИ НАУК СССР
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (Новочеркасск)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С. В. Бруевич, А. П. Виноградов (ответственный редактор),
П. А. Кашиновский (ответственный редактор)
В. И. Николаев, П. Н. Павлов

Том XVI

БИБЛИОТЕКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

С. А. ДУРОВ

**ТРЕУГОЛЬНАЯ ФОРМА ГРАФИЧЕСКОГО ВЫРАЖЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ ВОДНЫХ АНАЛИЗОВ И ПРИМЕНЕНИЕ
ЕЕ В КЛАССИФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ ВОД**

При сравнительном рассмотрении большого числа результатов водных анализов обычно для наглядности и облегчения обобщающих выводов применяют графическое выражение результатов в форме прямоугольников. Способ этот предложен Роджерсом [1] на основе классификации Пальмера [2]. С небольшим изменением прямоугольная форма была применена Кашинским [3] при анализе воды, озерной рапы и грунтового раствора.* При генетических сопоставлениях, особенно в минеральных водах, применяются также круговая форма графиков по Толстопляну [4]. Описание различных форм графиков, применяемых в гидрохимических исследованиях, дано Саввиным [5].

Хозяйственное использование соляных озер и борьба с вредными действиями природных вод в промышленности и на железнодорожном транспорте (напиткообразование, коррозии, испарениях котельных вод, унос солей с паром) требуют, чтобы по полному составу воды был возможен прогноз о выделении тех или иных солей из воды при известных физико-химических условиях.

Учитывая это, следует строить графики водного состава с указанием не только ионов, но и их возможного солевого комбинирования.

В одной из важнейших отраслей народного хозяйства — железнодорожном транспорте — неоднородность питательных вод особенно сильно ощущается, и это очень затрудняет как предварительную водоподготовку, так и внутрисистемную водоподготовку. Паровозный котел при своем передвижении питается разнообразными водами, частью в их природном состоянии, частью после соответственной обработки (умягчения, коагуляции, отстаив). При сравнительной оценке питательных вод транспорта необходимо учитывать неоднородность их. Система Пальмера с ее первой, второй, третьей щелочностью и первой, второй и третьей соленостью недостаточна в данном случае, так как не различает в натронах кальция и магния, а в аннонах — хлорида и сульфата.

Треугольная форма графиков по Роджерсу и более приемлемая по толстоплянскому комбинированию форма Кашинского предназначаются, скорее, для нахождения сходства между водами и их генетического родства, чем для выяснения резкой неоднородности, поскольку форма графиков во всех случаях одинакова. Стремится выявить именно неоднородность

* «Щелочность» и «анночность» были заменены соевыми составом с указанием содержания отдельных ионов и солей.

состава вод, что будет способствовать также и установлению характерных типов питательных пресных вод, мы пришли к изображению ионно-солевого состава воды в форме правильных треугольников.

Построение предлагаемого нами треугольного графика состава воды производится следующим образом. Проводим две прямые линии под углом 60° *. По горизонтальной линии, начиная от вершины угла (слева направо), откладываем в определенном масштабе содержания катионов в мг-эквивалентах на 1 л или в процентах эквивалентов, в последовательности: магний, кальций, натрий. По второй стороне угла, также начиная от вершины направо, откладываем содержание анионов, а именно: бикарбоната, сульфата и хлорида (рис. 1, а). Затем параллельными линиями, идущими под углом 60° , отсоединяем доли солей магния, кальция и натрия (рис. 1, б).

Наконец, рядом прямых линий, идущих параллельно одной из сторон большого треугольника, выделяем треугольнички, соответствующие отдельным катионам, внутри которых размещаем треугольнички уни в соответствии с отдельными анионами соли (рис. 1, в). В данном случае мы получили в составе воды одну соль магния — бикарбонат, две соли кальция — бикарбонат и сульфат — и две соли натрия — сульфат и хлорид. Треугольнички, отвечающие этим солям, заштриховываем, как это показано на рис. 2 и на рис. 1, г.

Не надо забывать, что содержание солей пропорционально соответствующей стороне треугольничка, а не его площади. Пропорциональность площадей солевых треугольничков квадратам сторон треугольничков и, соответственно, квадратам концентраций способствует более резкому выражению различий состава природных вод. Относен соли не на левую, а на правую сторону катионных треугольничков, более резко подчеркиваем катионный состав воды.

Выражая содержание ионов в мг-эквивалентах на 1 л, получаем треугольнички равной величины в соответствии с общей минерализацией воды. Такие графики особенно пригодны для выявления неоднородности питательных вод определенного участка железнодорожного транспорта.

* Величина угла выбирается из условий построения симметричной фигуры — равностороннего треугольника. Возможно, однако, применять угол, равный 90° , или какой-либо другой.

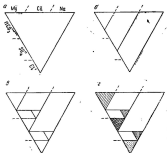


Рис. 1. Построение треугольных графиков

Возможно такое использование этой формы и для нанесения большого числа анализов воды на географическую карту. В треугольной форме отмечается возможность выражения солевого состава, как в прямоугольнике Роджерса — Канниковского, с компактностью фигуры, как в круге Толстухина.

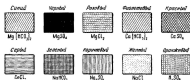


Рис. 2. Обозначение солей

Толстухина. Если содержание ионов выражать в процентах анализистов, то размер всех треугольников будет одинаков. Графики такой формы удобны для распределения вод по типам и для генетических сопоставлений.

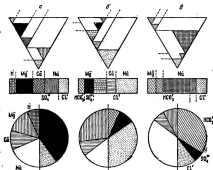


Рис. 3. Сравнение различных графических способов изображения состава вод

Для сравнения предложенной нами треугольной формы графиков с прямоугольными графиками Роджерса — Канниковского и круговыми графиками Толстухина на рис. 3 приводятся все три формы графиков для трех разных типов вод: а) сульфатного, б) хлоридного и в) натриевого.

Сопоставление этих графиков показывает, что предложенная нами форма более резко подчеркивает разницу в солевом составе разных типов воды.

Треугольные графики для воды разных типов отличаются не только штриховкой или осями, но и разным размещением солевых треугольников друг относительно друга. Что касается графиков Толстухина, то отсутствие группировки ионов в соли затрудняет выделение различных типов воды и установление связи состава воды с ее преимущественными свойствами.

Разное соотношение между катионами и анионами приводит к различным солевым комбинациям. Проведем все возможные комбинации, мы получим следующие восемнадцать типов пресных вод.

- | | |
|--|--|
| 1 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$ | } Хлориды и сульфаты до 0.2 мг-экв. на 1 л |
| 2 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 3 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $NaCl$ | |
| 4 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 5 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 6 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $NaCl$ | |
| 7 — $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 8 — $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 9 — $MgSO_4$, $CaSO_4$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 10 — H_2SO_4 , $MgSO_4$, $CaSO_4$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 11 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $NaCl$ | |
| 12 — $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $NaCl$ | |
| 13 — $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $NaCl$ | |
| 14 — $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $NaCl$ | |
| 15 — $Mg(HCO_3)_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $NaCl$ | |
| 16 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |
| 17 — $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, $NaCl$ | |
| 18 — $Mg(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, Na_2SO_4 , $NaCl$ | |

Собственно говоря, разнообразием было получено шестнадцать, но, из-за крайней распространенности легкорастворимых солей натрия (хлорида и сульфата), можно выделить воды, сходные с первым типом, но имеющие небольшие примеси хлоридов и сульфатов. В настоящее время для второго и третьего типов нами условно принято предельное содержание этих ионов — 0.2 мг-экв. на 1 л.

Все указанные типы воды могут быть отнесены к пресным водам или, в крайнем случае, к слабо минеральным. Все эти типы (за исключением десятого и восемнадцатого) были обнаружены нами в маломинерализованном водоснабжении. При детальном рассмотрении полученных типов воды видно, что часть из них отличается друг от друга постепенным изменением или отсутствием из состава одной из солей. Вместе с тем оказывается, что подобным последовательным путем нельзя сгруппировать все выделенные типы воды.

Для изменения состава воды, приводящего к трем крайним типам — деситому, пентадеситому и гексадеситому, можно наметить три пути. Мы видим, что деситый тип отличается обилием сульфатов, содержит все катионы и, кроме того, водородный ион в виде свободной серной кислоты. Этот тип воды характерен для кислых шахтных вод. Пентадеситый тип содержит все катионы в виде хлоридов и характерен для морской воды и воды заморозочных соляных озер. Шестадеситый тип содержит все катионы в виде бикарбонатов и характерен для щелочных артезианских вод. На рис. 4 приводится возможная схема непрерывной связи между отдельными типами воды.

Эту схему можно значительно упростить при объединении родственных типов в классы. Первые три типа вод можно минерализованные и сульфатные преимущественно горным потокам и потокам рек естественно всего объединить в I класс: простейших или начальных вод. К этому же классу могут быть отнесены воды р. Оби, р. Амазонки и паводковые воды многих рек. Образование этих вод можно представить себе как результат воздействия дождевых или талых вод на первичные от легкорастворимых солей земные слои. Таковыми являются, например, осадочные, горные местности с влажным климатом и обильными атмосферными осадками. Конденсирующиеся водяные пары или ледниковые талые воды впереводы содержащие в них углекислоту растворяют карбонаты кальция и магния известняковых горных пород и образуют, таким образом, воды I класса.

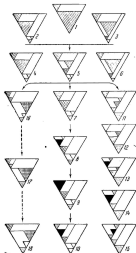


Рис. 4. Схема генетической связи водных типов

морфизованных вод — сульфатные, хлоридные и содовые (шалочные, бикарбонатно-карбонатные). Эти воды могут быть получены из обычных вод II класса путем метаморфизации, т. е. превращений в водах, связанных не только с добыванием, но и потерей тех или иных солей. Три последних класса фигурируют во многих ранее предложенных классификациях вод [6, 7] и отвечают трем классам самонадежных озер [8], лежащих в крайних пределах изменения или метаморфизации природных вод в их земном кругообороте.

Однако совершенно недостаточно; как это делает Аленин [6], ограничиться лишь тремя главными классами, отвечающими трем главным

типу вод можно представлять себе как результат воздействия дождевых или талых вод на первичные от легкорастворимых солей земные слои. Таковыми являются, например, осадочные, горные местности с влажным климатом и обильными атмосферными осадками. Конденсирующиеся водяные пары или ледниковые талые воды впереводы содержащие в них углекислоту растворяют карбонаты кальция и магния известняковых горных пород и образуют, таким образом, воды I класса.

Следующие три типа (5, 6 и 7) объединяются во II класс вторичных вод. Эти воды образуются при прохождении водами I класса земных слоев, содержащих более растворимые соли натрия и магния, преимущественно в виде хлоридов и сульфатов. Обменная реакция между бикарбонатом кальция и сульфатом магния приводит к образованию в воде галуса. Ко II классу относятся большинство речных вод и многие грунтовые (молочные) воды верхних горизонтов.

Следующие двенадцать разновидностей (типов) составляют три класса мета-

аннонам. При такой классификации в один класс карбонатных вод попадают как наименее минерализованные воды, содержащие только бикарбонаты натрия и магния и имеющие самое низкое отношение магния к кальцию (0,1—0,2), так и содовые воды с преобладанием в их составе бикарбоната натрия. Сюда не будут относиться и воды самостоятельных содовых озер, в которых бикарбонат натрия уже более или менее полностью перешел в карбонат. В последних водах мы имеем очень высокую минерализацию, резкое преобладание иона натрия и в то же время высокое отношение магния к кальцию (3,0—6,0 и выше).

Разделение этих типов на два разных класса, непосредственно друг с другом не связанных и разделенных вторым классом вторичных вод, более рационально. Мы считаем, что такое разделение типов дает более правильное отражение направления течения природных вод.

Таким образом, намечается следующая схема классификации природных вод широкого кругоборота [9], куда нами не включаются минеральные и минимальные воды:

I класс, типы 1, 2, 3—простейшие, или начальные, воды, воды сухого растворения. В солевой состав этих вод входят почти исключительно бикарбонаты натрия и магния.

II класс, типы 4, 5, 6—вторичные воды, или воды легкого растворения. Эти воды образуются из простейших вод добавлением легкорастворимых солей натрия и магния.

Следующие три класса — метаморфизованные воды.

III класс, типы 7, 8, 9, 10—сульфатные воды. Эти воды происходят из вторичных вод путем потери или бикарбонатов при испарении воды в открытых водоемах или действием серной кислоты как продукта окисления пиритов. К этому классу относятся коррозионные сульфатные воды излещеноморского водоснабжения, кислые шахтные воды и воды сульфатных озер континентального типа.

IV класс, типы 11, 12, 13, 14 и 15—хлоридные воды. Получаются они из вторичных вод при потере или бикарбонатов и сульфатов (гипса), что обычно связано с концентрированием водного раствора при испарении. При этом некоторая доля хлорида натрия замещается хлоридами натрия и магния вследствие катионного обмена. К этому классу принадлежат воды морского типа, воды океанов и соляных озер.

V класс, типы 16, 17 и 18—содовые (щелочные) воды. Воды этого класса получают из вторичных вод при потере или только сульфатов (главным образом сульфата натрия и остатка магния). Потери сульфатов происходят вследствие кислотного потягивания двухвалентных ионов. К этому классу принадлежат подземные щелочные воды и воды содовых озер.

Генетическая связь указанных пяти классов схематически может быть изображена следующим образом:



Отдельные классы воды обозначаются латинскими цифрами (I—V) и, соответственно, типы воды — арабскими цифрами (1—18).

При такой системе обозначений шахтные сульфатные воды следует обозначать III—9 (нейтральные) и III—10 (кислые). К хлоридным водам относятся типы от IV—11 до IV—15. Солевые бессульфатные воды составляют тип V—17 и так далее.

ВЫВОДЫ

1. Предложена треугольная форма графиков для выражения результатов единичных анализов воды. Указан способ построения этих графиков.
2. Получено восемнадцать графических комбинаций, отвечающих восемнадцати типам природных вод.
3. Предложено разделение всех типов природных вод на пять классов, которые охарактеризованы и между которыми намечена генетическая связь.

Гидрохимический институт
Академии Наук СССР
Новосибирск

ЛИТЕРАТУРА

1. Дю. Родинарс. Химические составления вод нефтяных месторождений. М., 1936.
2. Ф. П. Саваренский. Гидрохимия, 1933, стр. 284—293.
3. П. А. Кашицкий. Изменения в содержании осей в воде прихода Опытной малоразливной станции Дюнского института сельского хозяйства и минерализации в зависимости от времени, места и других условий питания образцов воды для анализа. Гидрок. зап., 1928, 5, 1—57.
4. Н. Н. Толстоухина. К вопросу о графическом изображении анализов воды. М.—Л., 1934.
5. Н. Н. Славнов. Упрощенная форма выражения анализов воды и ее применение. Гос. геол.-разн. изд., М.—Л., 1933.
6. О. А. Алексин. К вопросу о химической классификации природных вод. Сб. Вопросы гидрохимии, 1944, 25.
7. В. А. Суляги. Воды нефтяных месторождений в системе природных вод. Гостопнеиздат, М.—Л., 1946.
8. М. Г. Валишко. Методы физико-химического изучения минеральных осер и лампоном. ЦНИГРИ, ОНТИ, 1933.
9. С. А. Дуров. Классификация природных вод и графическое изображение их состава. ДАН СССР, 1948, 66, № 1.