

УДК 911.2:556.5

КЛАССИФИКАЦИИ ПРИРОДНЫХ ВОД: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

© В.А. Широкова

Ключевые слова: гидрохимия; классификации; природные воды; В.И. Вернадский; преемственность и последовательность; минерал.

Классификация – тот ключ, который позволяет целенаправленно вести крупномасштабные гидрохимические исследования различных водных объектов. Существует много различных классификаций природных вод. Классификация В.И. Вернадского учитывает не только геохимические особенности вод, но и физико-географические, и геологические условия их распространения и залегания, тем самым можно утверждать, что она имеет всеобъемлющий геолого-географо-геохимический характер. И поныне является наиболее совершенной. Эта классификация – самая полная из всех, созданных за рассматриваемый период.

Всякая классификация, к каким бы объектам или явлениям она не относилась, имеет своей целью углубление наших знаний о закономерностях, управляющих этими объектами и явлениями [1]. Рассматривая гидрохимию как науку географического цикла, т. е. науку, позволяющую установить пространственно-географические закономерности происхождения химического состава различных водных объектов и его эволюцию в связи с изменением окружающей обстановки, необходимо отметить, что важнейшим моментом, отражающим уровень теоретических обобщений, является создание классификации природных вод. Именно классификация – тот ключ, который позволяет целенаправленно вести крупномасштабные гидрохимические исследования различных водных объектов. Вплоть до настоящего времени, несмотря на большое количество работ в этой области, не существует такой классификации, которая, охватывая все воды гидросферы, отражала бы не только их качественное или количественное различие, но и различия в их генезисе.

Многообразие химического состава самых разных типов природных вод побуждало исследователей систематизировать и классифицировать их. Было предложено большое число классификаций природных вод по их химическому составу: Ф. Гофман, 1703; И.П. Фальк, 1787; И.Г. Георги, 1798; В.М. Севергин, 1809; Г.И. Гесс, 1825; Э.Х. Ленц, 1851; И. Зееген, 1862; Фрезениус, 1876; Л. Бертенсон, 1882; А. Добре, 1887; К. Тан, 1890; Ч. Пальмер, 1916; М. Вальс, 1917; Е. Бартоу, 1918; А.П. Герасимов, 1920; В.А. Александров, 1932; В.И. Вернадский, 1933; С.А. Зернов, 1934; С.А. Щукарев, 1934; М.Г. Валяшко, 1935; Р. Штумпер, 1935; Н.М. Книпович, 1938; П.Ф. Мартынов, 1940; О.А. Алейкин, 1945; С.А. Дуров, 1949; Г.А. Максимович, 1949 и более поздние [2–17].

В классификациях, где природную воду рассматривают с позиций геологии, минералогии, гидрологии, бальнеологии, большей частью не считаются с химическим составом или придают ему подчиненное значение, как, например, в геологической классификации источников, предложенной А.П. Герасимовым [10–11].

В других классификациях вод, встречающихся в гидрологии и гидробиологии – воды делятся на типы по величине минерализации. Так, в гидробиологической классификации С.А. Зернова (1934), построенной на основании распределения гидробионтов, воды делятся на: почти несоленые (ниже 0,01 %), пресные (0–0,5 %), солоноватые (0,5–16 %), соленые (морские) (16–47 %) и рассольные (выше 47 %) [13]. Подобное деление вод встречается и в работах Н.М. Книповича (1938), который более научно обосновал границу между солоноватыми и солеными водами [14].

Подобные классификации являются достаточно удобными и простыми, когда речь идет о водах, где их состав имеет постоянные ионные отношения, например, о морских водах, однако при характеристике поверхностных вод суши, с их сильно переменным составом, такой подход неприемлем (за исключением узкоспециальных классификаций, созданных, например, для характеристики применимости вод в паросиловых установках, где основным критерием является жесткость воды) [15].

Вот почему при создании классификаций в их основу кладут какой-либо один или несколько основополагающих признаков, по которым воды группируются в таксоны. Ранее, при характеристике классификаций, предложенных российскими учеными, автор упоминала о некоторых принципах их построения. Анализ известных классификаций позволяет утверждать, что существует историческая последовательность в использовании тех или иных признаков, отражающая преемственность теоретических представлений в гидрохимии. Мною изображена эта последовательность на схеме (рис. 1).

Как видно, наиболее ранним типом классификации, использовавшимся еще до применения методов количественного анализа природных вод, оказалось деление вод по преобладающему содержанию какой-либо соли или наиболее характерному признаку. Например: воды серные, железистые, мышьяковистые и т. п. Подобное деление вод встречается в работах Ф. Гофмана, 1703; И.Г. Георги, 1798; В.М. Севергина, 1809; А.И. Шерера, 1820; Г.И. Гесса, 1825; Э.Х. Ленца, 1851 и др. [17–19].

Классификационные признаки

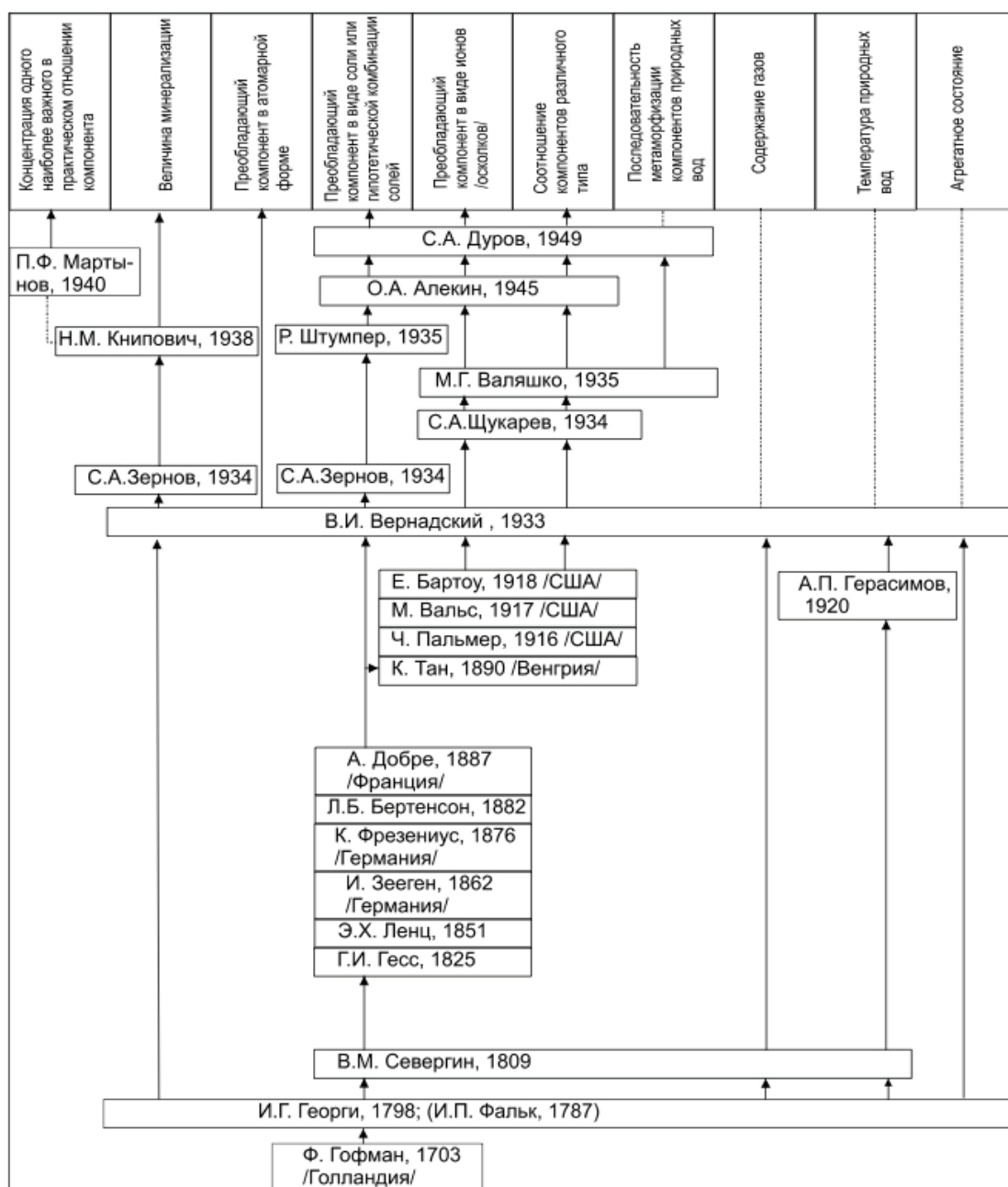


Рис. 1. Преемственность использования различных классификационных признаков при создании классификаций природных вод

В дальнейшем у К.Р. Фрезениуса (*Fresenius*, 1876) эта классификация претерпела изменения [20]. На основе результатов анализа воды, в ходе которого определялись отдельные присутствующие в ней радикалы и строились т. н. гипотетические молекулы солей, и уже на их основе, опять же по преобладающей соли, проводилось деление вод. Хотя и имеются работы, где гипотетические соли использовались для характеристики речных и озерных вод (см.: [21]), все же в основном подобное деление применялось при характеристике вод минеральных источников.

Например, во французской классификации минеральных источников, предложенной Добре [10–11]

различаются: источники с хлористыми металлами, со свободной соляной кислотой, серные, со свободной серной кислотой, с содержанием сульфатов, с содержанием карбонатов, с содержанием силикатов. Более поздней французской классификацией являлась система Л. де Лоне, в которой деление проводилось на: железистые источники (без свободной углекислоты), поверхностные и холодные; соленые; карбонатные; сернистые и альпийские источники. В России была наиболее известна классификация, предложенная Л. Бертенсоном в 1882 г., являвшаяся модификацией немецкой классификации вод И. Зеегена. В ней дается деление природных вод на: щелочные, воды «поваренной со-

ли», железистые, мышьяковистые, горькие, сернистые, известковые (или землистые) воды и химически безразличные теплые источники (акратотермы).

Подобные классификации не вполне научны, т. к. доказано, что в водном растворе элементы солевого комплекса присутствуют в виде ионов, но до сих пор их используют в бальнеологии и курортологии. Международное общество медицинской гидрологии предлагает, например, следующую группировку природных вод: хлористые (хлористый натрий); серные (сероводород); сульфатные (магниева и натриевая соль); кислые (серная и соляная кислота); железные (бикарбонатные и сульфатные соединения); щелочные (сода); кальциевые (карбонатные или сульфатные или хлоридные соединения); воды, характеризуемые другими (активными) элементами (мышьяк, литий, магний, бром, йод и т. д., в т. ч. и радиоактивные элементы); воды слабой минерализации [13].

Дальнейшим развитием этого типа классификаций было создание их по одному или нескольким преобладающим компонентам. Такова классификация А.С. Щукарева (1934). В ней все ионы делятся на преобладающие и второстепенные. К преобладающим относятся те, количество которых составляет не менее 25 %-экв. Сумма анионов и катионов принимается раздельно за 100 %. В составе воды может быть от двух до шести преобладающих ионов. Из пяти преобладающих ионов, группируя анионы с катионами, возможно 49 различных сочетаний, соответственно, С.А. Щукарев выделяет 49 классов природных вод. Если в воде преобладают SO_4 , Na^* , Ca^* , такая вода называется сульфатно-натриево-кальциевая и т. д. Классы карбонатно-кальциевый, хлоридно-натриевый и сульфатно-кальциевый С.А. Щукарев считает основными, т. к. воды этих классов формируются в результате непосредственного выщелачивания горных пород. Все остальные классы относятся к вторичным водам, формирующимся в результате метаморфизации первичных (основных) вод. Классификация С.А. Щукарева, несмотря на ее простоту, имеет ряд недостатков: 1) громоздкость; 2) предложенный математический принцип классифицирования является, по существу, формальным; 3) не учитывает соотношения между ионами, имеющие большое генетическое значение [22].

Подобные классификации были разработаны, в основном, для вод сильноминерализованных озер [23]. Но они находятся на гораздо более высоком теоретическом уровне по сравнению с предыдущими, потому что в них учитываются генезис и метаморфизация природной воды. Так, С.А. Дуров (1949) на основе эволюции воды в процессе метаморфизации выделяет пять классов вод (без минеральных и ювенильных) [12]:

I – простейшие воды (3 типа), образующиеся за счет «скупого растворения» $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$;

II – вторичные воды (3 типа), образующиеся из простейших добавлением легко растворимых солей натрия и магния (NaCl , Na_2SO_4 , CaSO_4);

III – метаморфизированные сульфатные воды (4 типа), образующиеся из вторичных путем потери бикарбонатов при испарении воды в открытых водоемах или под действием серной кислоты, как продукта окисления пиритов, – кислые шахтные воды, воды сульфатных озер континентального типа;

IV – метаморфизированные хлоридные воды (5 типов, образующиеся из вторичных при потере ими HCO_3 и O_4 (гипса), связанные с концентрированием водного

раствора при испарении, – морские воды, воды океанов, соленых озер;

V – метаморфизированные содовые воды (3 типа), образующиеся при потере только сульфатов, вследствие коллоидного поглощения двухвалентных ионов (подземные щелочные воды, воды содовых озер).

На аналогичном принципе последовательной метаморфизации построены и остальные классификации этого типа. В т. ч. классификация М.Г. Валяшко (1935), где все рассолы соляных озер поделены на три типа: карбонатный (I), сульфатный (II), хлоридный (III) – по присутствию в них характерных солей; карбонатный (содовый) – присутствие в рассоле NaHCO_3 ; хлоридный – хлоридов кальция; сульфатный – Na_2SO_4 или MgCl_2 . Последний, в свою очередь, подразделяется на два подтипа – сульфатно-натриевый и хлор-магниевый [7–8].

Новым этапом в совершенствовании классификации природных вод явилось создание классификаций, в которых учитывалось соотношение между ионами. Таковы классификации Ч. Палмера и Дж. Ш. Роджерса (Palmer, 1911), Е. Бартоу (Bartow, 1919), Р. Штумпера (1935) и О.А. Алекина (1946). Из этих классификаций наиболее совершенной является классификация О.А. Алекина [2], построенная для природных вод с минерализацией до 50 г/кг. Он выделяет три класса вод по преобладающему аниону – карбонатные (С), сульфатные (S), хлоридные (Cl), а в каждом классе – три группы вод по преобладающему катиону (Ca, Mg, Na). В каждой из групп по соотношениям между щелочностью (Alk) и общей жесткостью ($\text{Ca} + \text{Mg} = \text{H}$) выделяются четыре типа вод:

- I. $\text{Alk} < \text{H}$;
- II. $\text{Alk} < \text{H} < \text{Alk} + \text{SO}_4$;
- III. $\text{Alk} + \text{SO}_4 < \text{H}$;
- IV. $\text{Alk} = 0$.

Некоторые из данных типов вод являются «запрещенными» для данной группы вод, и поэтому в этой классификации выделяются двадцать семь основных видов вод. О.А. Алекин считает, что подобное деление отражает генетический тип воды. Так, С-класс – типично материковые воды – почти все реки, пресные озера и подземные воды; Cl-класс – воды морского происхождения – океаны, моря, лиманы, реликтовые озера, метаморфизированные воды материковых озер и подземные воды солончаковых районов, пустынь и полупустынь. Воды S-класса генетически связаны с осадочными породами, содержащими их, и являются промежуточными между С и Cl-классами. Дальнейшее подразделение, по мнению автора, еще более уточняет генетический тип воды.

Однако и подобная классификация страдает существенными недостатками. Во-первых, она не отражает специфических особенностей каждой конкретной воды – наличия в ней, например, растворенного органического вещества и его концентрации, растворенных газов, радиоактивных веществ и т. п. Во-вторых, она не имеет достаточно четкой генетической и географической структуры, не учитывает особенности протекающих в воде гидрохимических процессов.

Наиболее совершенной является классификация, предложенная В.И. Вернадским (1933). В основе его классификации природных вод лежит представление о воде как минерале [9]. По физическому состоянию

группу природных вод В.И. Вернадский разделяет на три подгруппы:

- 1) газообразные воды (пары воды);
- 2) жидкие воды (растворы);
- 3) твердые воды (льды).

В каждой из этих подгрупп воды по степени их минерализации (концентрации ионов и молекул) делятся на три класса:

- 1) класс пресных вод;
- 2) класс соленых или минерализованных;
- 3) класс рассольных вод.

А каждый из классов делится, в свою очередь, на подклассы по преимущественно содержащимся в воде газам. Подклассы входят в царства.

Рассматривая воды по геолого-географическим признакам, В.И. Вернадский выделяет царства, подцарства и семейства природных вод. **Царства** характеризуют основное местоположение – поверхностное или наземное, подземное, глубинное. Царств он различает три:

- 1) царство поверхностных вод (наземных вод);
- 2) царство подземных вод;
- 3) царство глубинных вод.

Подцарства – уточняют тип местоположения. Например, в царстве поверхностных вод класса пресных вод именуются подцарства: воды высокой атмосферы (XV) [Здесь и далее порядковый номер таксона в классификации], воды тропосферы (XVI), наземные воды (XVII). При делении на **семейства** В.И. Вернадский учитывает географический характер и происхождение, т. е. форму нахождения природных вод в земной коре. Так, подцарство XVII – наземные воды – он делит на семейства: временные водоемы – продукты туч; малоподвижные стоячие воды – продукты туч и грунтовых вод; текущие воды, связанные с тучами, выветриванием и верховодками; стоячие воды, связанные с поверхностным рельефом и выветриванием; реки; придонные воды рек; ирригационные искусственные воды; реки, измененные городской и заводской культурой; коллоидальные речные воды; озера; болотные воды; коллоидальные стоячие воды; рудные стоячие воды; биогенные воды; донные воды; культурные воды. Семейства делятся на **виды** на основании химического состава компонентов, т. е. на основе химических элементов, открываемых при анализе воды, независимо от того, в какой форме они в ней встречаются (в растворе, в коллоидах, в живом веществе, в газах и т. п.). Вид определяется преобладающими в воде атомами, за исключением атомов водорода и кислорода, в порядке их распространенности. Проведя деление природных вод до видов, В.И. Вернадский в то же время указывал, что может быть дальнейшее деление на подвиды или разновидности по отдельным, менее распространенным элементам, если их концентрация в данной воде сильно выходит за пределы обычных для этих элементов величин (например, для Ra, As, Li и т. п.), а также по другим явлениям, например, количеству бактериальной жизни, большому количеству органических золь и т. п. [9].

Видим, что классификация В.И. Вернадского учитывает не только геохимические особенности вод, но и физико-географические, и геологические условия их распространения и залегания, тем самым можно утверждать, что она имеет всеобъемлющий геолого-географо-геохимический характер, и поныне является наиболее совершенной, хотя неоднократно предпринимались попытки ее модифицировать. Эта классифика-

ция – самая полная из всех, созданных за рассматриваемый период. Она охватывает более 485 видов воды, но при этом ученый считал, что в действительности их количество превышает 1500.

Таким образом, согласно классификации В.И. Вернадского, гидрология по преимуществу имеет дело с природной водой, входящей в подгруппу жидких вод, в класс пресных вод, в царство поверхностных (наземных) вод биосферы; гидрогеология – с водами той же подгруппы, отчасти того же класса соленых и рассольных вод царства подземных и глубинных вод биосферы.

Следует заметить, что правильность классификации не может быть поколеблена тем, что впоследствии многие минералоги не соглашались с отнесением В.И. Вернадским природных вод (включая газы) к минералам.

О.А. Алекин, учитывая, что в классификации В.И. Вернадского «вода рассматривается как минерал, находящийся в различных физических состояниях» [2, с. 25], полагал, что перед гидрохимией, которая по сути своей является наукой географической, встает необходимость создания иной, основанной на географических принципах, классификации природных вод, которая была бы столь же полной, как классификация величайшего натуралиста современной эпохи. Эта задача еще ждет своего решения, и важную роль в этом должны сыграть историко-гидрохимические исследования, потому что на их основе можно собрать сопоставимые и достоверные данные по химическому составу и гидрохимическому режиму природных вод, от полноты и надежности которых зависит качество создаваемых классификаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев И.А. История проблемы классификации и районирования вод суши СССР / отв. редактор В.А. Широкова. М.: ООО «Искра», 2003.
2. Алекин О.А., Воронков П.П. Развитие гидрохимии за последние десятилетия и роль Государственного гидрологического института // Вопросы гидрохимии. Тр. НИУ ГУГМС. 1946. Сер. 4. Вып. 32. С. 5-24.
3. Алекин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы гидрохимии. Тр. НИУ ГУГМС. 1948. Сер. 4. Вып. 32. С. 25-39.
4. Бертенсон Л.Б., Воронихин Н. Минеральные воды, грязи и морские купания в России и за границей. 2-е изд. СПб., 1882.
5. Вальден П.П. Очерк истории химии в России // Ладенбург А. Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени. Одесса, 1917. С. 361-654.
6. Вальден П.П. Теория растворов в их исторической последовательности. Пг., 1921.
7. Валяшко М.Г., Дзэнс-Литовский А.И. Методика комплексного изучения минеральных озер. М., 1935.
8. Валяшко М.Г. Классификационные признаки соляных озер // Тр. ин-та. ВНИИГ аллургии. 1952. Вып. 23. С. 53-59.
9. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Л.: Госхимтехиздат, 1933. Т. 2. Ч. 1.
10. Герасимов А.П. Минеральные воды // Естественные производительные силы России. Пг., 1917. Т. 4. С. 4-158.
11. Герасимов А.П. Минеральные воды в России. Пг., 1920.
12. Дуров С.А. Треугольная форма графического выражения результатов водных анализов и применение ее к классификации природных вод // Гидрохимические материалы. 1949. Т. 17. С. 54-61.
13. Зернов С.А. Общая гидробиология. Москва; Ленинград: Изд-во биол. лит-ры, 1934.
14. Книпович Н.М. Гидрология морей и солоноватых вод. Москва; Ленинград: АН СССР, 1938.
15. Мартынов П.Ф. Сравнительная характеристика жесткости вод рек Европейской части СССР // Тр. НИУ ГМС. 1940. Сер. IV. Вып. 21. С. 27-93.
16. Falk I.P. Beiträge zur topographischen Kenntniss des Russischen Reichs. St.-Pb., 1785-1787. Bd. 1-3. (материалы обработаны и подготовлены к печати после смерти Фалька Лаксманом и Георги).

17. *Georgi I.G.* Geographische-physikalische und naturhistorische Beschreibung des russischen Reichs. Königsberg, 1797–1802. Bd. 1-5, t. 1-9.
18. *Посохов Е.В.* Гидрохимия. Ростов н/Д: Ростов. ун-т, 1965.
19. *Широква В.А.* Гидрохимия в России. Очерки истории. М.: ИИЕТ РАН, 2010. 274 с. / отв. редакторы О.А. Александровская, Ю.А. Зиневич / Рецензент: Н.И. Коронкевич.
20. *Fresenius C.R.* Methoden zur Analyse alkalischer Mineralwasser // *Fresenius Ztschr. f. Anal. Chem.* 1876. Bd. 15.
21. *Матвеев В.П.* Озеро Иссык-Куль – водоем тропического типа // *Природа.* 1936. № 4. С. 30-38.
22. *Шукарев С.А.* Попытки общего обзора грузинских вод с геохимической точки зрения // *Тр. Гос. Центрального института курортологии.* 1934. Т. 5.
23. *Курнаков Н.С., Кузнецов В.Г., Дзенс-Литовский А.И., Равич М.И.* Соляные озера Крыма. Москва; Ленинград: АН СССР, 1936.

Поступила в редакцию 25 сентября 2012 г.

Shirokova V.A. CLASSIFICATIONS OF NATURAL WATERS: PAST, PRESENT, FUTURE

Classification is the key that allows you to conduct large-scale targeted hydrochemical studies of various water objects. There are many different classifications of natural waters. Classification V.I. Vernadskiy takes into account not only the geochemical characteristics of water, but the physical and geographical and geological conditions of their distribution and abundance, thus it can be argued that it has a comprehensive geological and geographical and geochemical character. And today is the most advanced. This classification is the most complete of all created over the period under-considered.

Key words: hydrochemistry; classification; natural waters; V.I. Vernadskiy; continuity and consistency; mineral.