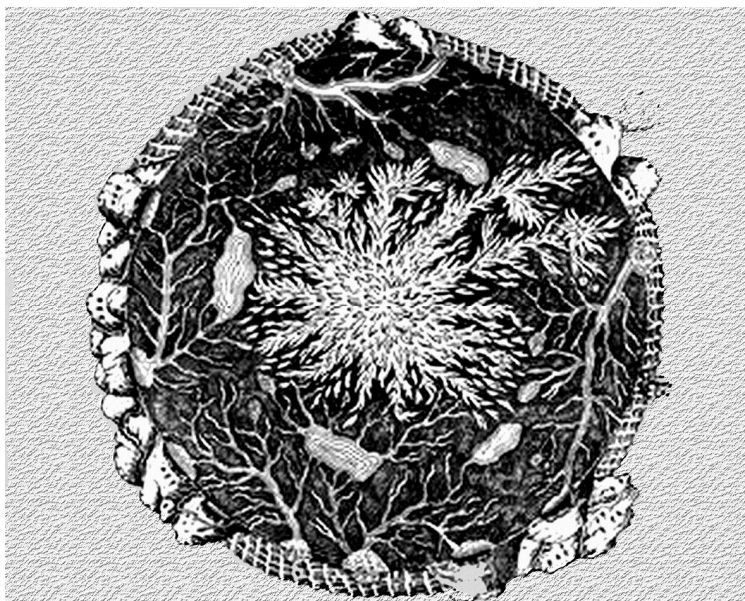




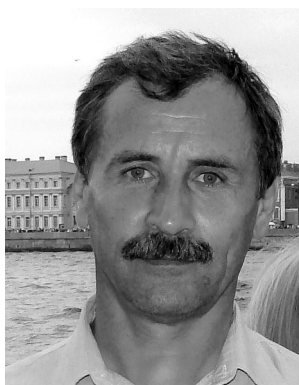
Строение Земли по Кирхеру. Гравюра. Середина XVII в.

УДК 556.332.625

**Мартынова М.А.*,
Хаустов В.В.**,
Диденков Ю.Н.*****



М.А. Мартынова



В.В. Хаустов



Ю.Н. Диденков

Ювенильные воды

*Мартынова Марина Анатольевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета

E-mail: marmaran@mail.ru

**Хаустов Владимир Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

E-mail: okech@mail.ru

***Диденков Юрий Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент Иркутского государственного технического университета

E-mail: didenkov-irk@mail.ru

Проанализирована эволюция представлений о содержании термина «ювенильные воды»; обосновано понятие «ювенильного водного флюида». Сделан вывод о том, что вода, являющаяся главным продуктом преобразования восходящего эндогенного флюида в рифтовых геодинамических условиях, изначально ультрапресная, что обуславливает формирование гидрогеохимических инверсий или в целом пресноводной гидросферы этих регионов, а также сохранение уникального состава воды рифтовых озер.

Ключевые слова: рифт; эндогенный флюид; ювенильные воды; пресноводная гидросфера; гидрогеохимические инверсии.

Термин «ювенильные воды» впервые был предложен в 1902 г. австрийским геологом Эдуардом Зюссом для вод, образовавшихся в глубоких недрах земли в результате дегазации магматических расплавов. При этом подчеркивалось, что это воды новые, ранее не принадлежавшие гидросфере и не участвовавшие ни в каких видах водных круговоротов Земли.

Проблема ювенильных вод приобрела в настоящее время новое звучание в связи с развитием концепции магматогенного и амагматического происхождения рудоносных гидротерм.

Казалось бы, Э. Зюсс дал очень ясное и четкое определение – речь идет о первичных водах (дословный пе-

ревод термина «ювенильные» – «девственные»). Это означает, что именно за счет таких вод Земля смогла обрести свою гидросферу и дать возможность зародиться жизни. Однако в дальнейшем значение первичности постепенно начало исчезать из понятия ювенильные воды. Даже сам Э. Зюсс, скорее всего, под влиянием развернувшейся жесткой дискуссии по поводу сути данного термина, изменил свою точку зрения. В 1909 г. он предложил ювенильной называть воду, возникшую при соединении водорода, выделяющегося под очень высоким давлением и при очень высокой температуре из недр Земли, с кислородом атмосферного воздуха.

Позднее многие исследователи позволяли себе вкладывать собственное содержание в определение ювенильных вод, сформулированное Э. Зюссом. Приведем несколько примеров.

«Ювенильные воды возникают из магмы за счет выделения растворенных в ней водяных паров или ионизированного водорода и кислорода»¹.

Ювенильными являются «... воды, выделившиеся и выделяющиеся из магм при их излияниях, извержениях и застывании, и из минералов и горных пород при их метаморфизации и даже просто нагревании. Эти воды следует рассматривать как впервые появившиеся на земной поверхности и в толще земной коры. ... выделить чистый тип ювенильных вод чрезвычайно трудно»².

Ювенильные воды – это «... подземные воды, связанные с поднимающимися из недр земли парами (из магматической и метаморфической зон), а может быть, и с диссоциированными газами. Если речь идет о выделении из магмы диссоциированных газов водорода и кислорода, которые в дальнейшем соединяются в воду, мы говорим о ювенильной синтетической воде, если о парах воды, выделяемых магмой – о конденсационных ювенильных водах, и, наконец, если речь идет о водах, выделяющихся именно в зоне анаморфизма из минеральных масс, содержащих кристаллизационную или конденсационную воду, мы говорим о водах дегидратационных ювенильных»³.

«В настоящее время под ювенильными понимают подземные воды, развитые в области современной тектономагматической активности... среди них различают две генетические группы: воды областей активного вулканизма и магматогенные воды разломных зон»⁴.

Со временем параллельно с термином ювенильные воды начинают употреблять другие названия глубинных вод, которые, по сути, могут быть отнесены к их синонимам. Появляются воды эндогенные, они же магматические, которые «...представляют собой хемогенные (иначе геосинтетические) воды, образованные молекулами, заново возникающими при различных химических реакциях в подземных условиях (например, $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$). Другая часть этих же вод ассимилируется из окружающих пород»⁵.

Затем, наряду с эндогенными водами, в употребление входит понятие магматогенные воды⁶, которые этот автор считает более правильно называть мантийногенными. «Молекулы такой воды генерируются в мантии или магме из водорода и кислорода. По способу проникновения из мантии и глубоких частей земной коры нужно различать в первом приближении вулканические воды, образующиеся в виде надкритической воды или пара из магмы по мере ее подъема и остывания, а затем конденсирующиеся в верхних горизонтах, и сквозьмагматические, или трансмагматические газово-жидкие растворы в виде регионального восходящего потока из очагов магматизма»⁷. Так, В.В. Тихомиров считает, что «магматогенная вода – это влага, поступающая в гидросферу в процессе дегазации мантии. Это первозданная влага Земли ... влага, которая образуется при дегазации мантии, называется ювенильной»⁸.

Согласно Е.В. Пиннекеру, «... первоисточником воды является мантия, а генерация молекул воды связана с наиболее летучим продуктом дегазации вещества мантии, именуемым флюидом. С другой стороны, флюид – это понятие неопределенное, поскольку так называют и поликомпонентный газово-жидкий раствор, и надкритическое состояние вещества, когда стираются различия в фазовых особенностях между жидкостью и газом»⁹.

В последнее время ювенильным водам как таковым уделяется все меньшее внимание, а в случаях, когда они играют неоспоримую роль в формировании гидрогеологических условий конкретного региона, для объяснения существующей гидрохимической обстановки привлекается «глубинный флюид»⁹.

Можно привести еще немало примеров, демонстрирующих, каким образом трансформировался смысл термина ювенильная вода. Полагаем, что приведенной информации вполне достаточно, чтобы сделать заключение: понятие ювенильные воды, также как глубинный водный флюид, в настоящее время не имеют четкого и конкретного содержания.

Попробуем разобраться в вопросе: что же следует иметь в виду, когда речь идет о возможном подтоке глубинных вод? К сожалению, новые названия глубинных вод, которые время от времени приходят на смену ювенильным, как нетрудно было заметить, мало что проясняют, если не сказать больше – запутывают ситуацию. Поэтому полагаем, что старое определение «ювенильные» имеет полное право на существование, причем именно в том смысловом значении, которое первоначально вложил в него Э. Зюсс. Иными словами, это **вода, которая генетически связана с подкоровыми магматическими очагами; она ранее никогда не принадлежала гидросфере и не участвовала в каких-либо круговоротах**. Что касается «глубинного водного флюида», то этот термин также правомерен. По сравнению с ювенильными водами он является более емким, поскольку помимо воды в него входят все сопутствующие ей компоненты, отделяющиеся вместе с ней от магматического расплава.

Можно ли, а точнее нужно ли, заменить название ювенильные воды на глубинный водный флюид, как это

¹ Саваренский Ф.П. Гидрогеология. М. – Л.: ОНМ, НКТП СССР, 1935. 335 с.

² Семихатов А.Н. Гидрогеология. М.: Изд-во СельхозГИЗ, 1954. 328 с.

³ Ланге О.К. Гидрогеология. М.: Высшая школа, 1969. 365 с.

⁴ Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 360 с.

⁵ Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.

⁶ Общая гидрогеология / Отв. ред. Е.В. Пиннекер. Новосибирск: Наука, 1980. 230 с.

⁷ Там же.

⁸ Тихомиров В.В. Общая гидрогеология. СПб.: СПбГУ, 2003. 298 с.

⁹ Ежов Ю.А. Закономерности распространения химических инверсий в подземной гидросфере // Сов. геология. 1981. № 1. С. 106–112.

довольно часто наблюдается в геологической литературе? Казалось бы, да. Однако, на самом деле взаимоотношение этих двух понятий довольно сложное. На первый взгляд представляется, что глубинный водный флюид – более корректное название газопароводяной смеси, отделяющейся от магмы, поскольку в абсолютно чистом виде вода в природе не существует и в ней всегда растворены те или иные вещества, в первую очередь, газы. Но с другой стороны – и это очень существенный момент – вода, присутствующая во флюиде, не обязательно первичная (ювенильная), даже когда очаг плавления расположен в верхней мантии¹.

В то же время, если объединить эти два понятия, т.е. ювенильные воды и глубинный водный флюид, заменив их названием «**ювенильный водный флюид**» (ЮВФ), можно максимально приблизиться к сущности природных вод, о которых идет речь. **Это первичная, в понимании Э. Зюсса, вода, зарождение которой осуществляется в мантийных очагах плавления, которая мигрирует в сторону поверхности Земли вместе с сопутствующими летучими, в первую очередь, газами.**

Отсюда следует, что если исходить из основного определения ЮВФ, а именно из первичности присутствующей в нем воды, то речь не может идти о водах конституционных, кристаллизационных или метаморфогенных. Также сам собой отпадает вопрос, может ли в данном случае магматический очаг, генерирующий воду, располагаться в земной коре, т.е. выше мантии. Однако даже в том случае, если процесс плавления происходит в верхней мантии, далеко не всегда отделяющиеся от него вещества могут быть отнесены к ЮВФ. Для того чтобы объективно и корректно разобраться в данном вопросе, следует, прежде всего, обратиться к геодинамической обстановке, в которой главным образом происходит зарождение магматических очагов.

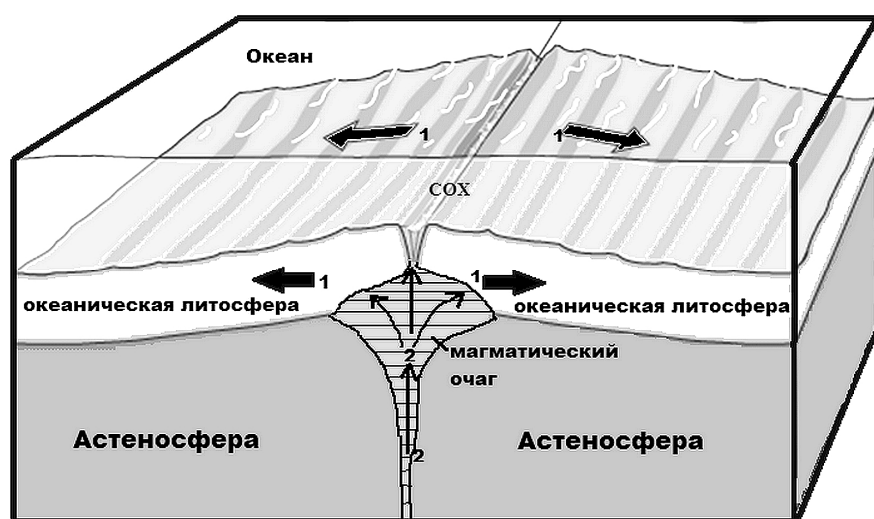


Рис. 1. Схема внутриокеанического спрединга (1 – направления движения литосферных плит; 2 – конвективные течения магмы в очаге).

раздвижение плит³ (рис. 1). Это означает, что здесь практически исключается привнос чужеродного материала.

Отсюда очевидно, что при рифтогенезе состав вещества, поступающего к поверхности земли из зон плавления, определяется исключительно элементарным составом пород мантии, и можно с достаточной уверенностью утверждать, что вода, принадлежащая ранее гидросфере, в нем отсутствует. Единственно, чего нельзя полностью исключить, – это влияние неоднородности, существующей в самой мантии. Она может накладывать определенный отпечаток на состав ЮВФ, но это уже вопрос второстепенного уровня, т.е. он носит частный характер для отдельно взятого региона.

Совершенно в других условиях происходит процесс генерации магм в зонах субдукции, где главную роль играет поступление в мантию огромного количества чужеродного материала (рис. 2).

Здесь уже нельзя говорить о стерильных условиях зарождения ЮВФ. Так, согласно модели андезитового вулканизма, предложенной У. Файфом, А. Прайсом и А. Томпсоном «вулканизм современных подвижных поясов зарождается при частичном плавлении субдуцируемого материала или высвобождении из него флюидов. В результате этого в земную кору **возвращается вода** и некоторые химические элементы... это не подлежит сомнению»⁴.

Таким образом, можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что синтез воды, входящей в состав ЮВФ, сопряжен с процессом плавления мантии при рифтогенезе или же связан с более глубокой дегазацией Земли.

Следующая проблема, которую необходимо решить при рассмотрении особенностей ЮВФ, – это выявление диагностических признаков, позволяющих отнести конкретный водный объект к данной генетической группе природных вод. И здесь с глубоким сожалением приходится констатировать, что это очень сложная задача. По сравнению с другими водами ЮВФ изучен гораздо хуже и представление о нем – его химическом и газовом составе, масштабах распространения в природе и рудообразовании – далеко не однозначны, зачастую

Внимание здесь, безусловно, привлекают области, в которых наблюдается современная вулканическая активность, а это, в первую очередь, окраины литосферных плит. Формирование в них магматических очагов происходит по разным причинам, если говорить о зонах спрединга (рифтах), с одной стороны, и областях субдукции – с другой².

В рифтовых зонах в условиях спрединга осуществляется крупномасштабное плавление силикатного вещества мантии, в результате которого образуются, главным образом, базальтовые магмы, а само плавление вызвано декомпрессионным эффектом, сопровождающим

¹ Мартынова М.А. О двух типах подземных вод эндогенного генезиса областей современного вулканизма // Гидрогеология и гидрогеохимия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. Вып. 2. С. 21–32.

² Мартынова М.А., Хаустов В.В. О генезисе углекислых минеральных вод Северного Кавказа с позиций тектоники плит // Вестник Ленинградского университета. Серия 7. Геология, география. 1990. Вып. 3. № 5. С. 31–42.

³ Кадик А.А., Френкель М.Я. Магмообразование, сопряженное с декомпрессией коры и мантии в присутствии летучих компонентов // Геохимия. 1980. № 4. С. 467–496.

⁴ Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 436 с.

дискуссионны и противоречивы. На сегодняшнем этапе познания природы это оправдано, поскольку формирование флюида осуществляется в глубоких земных недрах и процесс этот недоступен прямому наблюдению. На поверхность же ЮВФ приходит в сильно измененном виде по причине смешения на пути с другими водами и взаимодействия с горными породами. К сожалению, до сих пор сухое, т.е. без добавления воды, плавление вещества мантии в лабораторных условиях не воспроизводилось. Иными словами, пока не было возможности получить однозначный аналог ЮВФ. В то же время современная наука, безусловно, располагает определенной информацией о целом наборе диагностических признаков, касающихся ЮВФ.

Наибольший интерес в этом аспекте представляют изотопные характеристики химических элементов, образующих водный флюид, и в первую очередь самой воды, т.е. водорода и кислорода. Исследования в области изотопной гидрохимии ведутся давно и в результате сложились достаточно определенные представления об изотопных соотношениях водорода и кислорода в атмосферных, речных, океанических и прочих водах. Что же касается интересующей нас воды, то здесь наблюдается противоположность существующих по этому поводу мнений. Так, одни исследователи считают, что по сравнению с гидросферой, в целом, воды ювенильного генезиса обеднены дейтерием (А.П. Виноградов), тогда как другие убеждены в обратном (Е.В. Пиннекер, А.Е. Бабинец и др.). Нет определенности и в суждениях о соотношениях изотопов кислорода.

И хотя такое положение связано с недостаточной изученностью проблемы, неизбежно возникают и другие серьезные вопросы: существуют ли вообще четкие изотопные характеристики у ювенильных вод, которые позволяют их отличать от вод иных генетических групп, а если существуют, имеется ли вероятность сохранять их неизменными на пути от магматического очага до проявления флюида на поверхности Земли? Положительный ответ на эти вопросы может быть дан лишь в случае, если изотопные характеристики ювенильной воды, во-первых, отчетливо выделяются на фоне подобных характеристик других природных вод, а, во-вторых, если изначальные значения δD и $\delta^{18}O$ во флюиде являются для него постоянной величиной, вне зависимости от состава мантии в данном месте, степени ее плавления, геотектонической обстановки и других условий и, наконец, если взаимодействие с окружающей геологической средой не приведет к серьезным изменениям первоначального изотопного состава.

Что касается первого условия, то здесь заслуживает внимания следующая информация. Согласно В.И. Кононову¹, наиболее близкое к реальности представление об изотопном составе водорода и кислорода в молекулах воды ЮВФ дают результаты изучения микровключений в основных магматических породах. Диапазон вариаций δD составляет в них от -28 до -85‰ (чаще его ограничивают величиной от -50 до -80‰), а $\delta^{18}O$ – от 6 до 8‰. Но, как представляется нам, принять эти значения за неоспоримые диагностические признаки нельзя, так как в указанные интервалы укладываются изотопные характеристики вод, весьма далеких по генезису от ювенильных. К примеру, в атмосферных осадках, реках и озерах Восточной Сибири δD составляет -64 ... -190‰².

Усугубляется неопределенность данных об изотопном составе ЮВФ также окислительно-восстановительным режимом верхней мантии. При сравнении флюидных включений из образцов базальтов различных рифтовых систем мира было обнаружено, что эти включения базальтов континентальных рифтов обладают высокой степенью окисленности, а включения из океанических рифтов характеризуются существенно восстановительными условиями. Это очень важная информация, так как экспериментально было установлено, что характер среды определяет направленность изотопного фракционирования водорода внутри системы *вода – другие водородсодержащие соединения*. В частности, в метаносодержащем флюиде при температуре 300°C в восстановительной среде дейтерием обогащаются молекулы воды, а в окислительной – метан. Еще более яркие эффекты фракционирования обнаруживаются в том случае, если в системе присутствует свободный водород. Это означает, что окислительно-восстановительные условия среды влияют на изотопный состав водорода, входящего в молекулы воды, как на начальном этапе ее существования, так и позднее, пока может происходить изотопный обмен с водородом других водородсодержащих компонентов.

Весьма широкое пространство для изотопного обмена имеется также для кислорода воды, поскольку этот элемент входит в кристаллические решетки многих порообразующих минералов.

Возможности идентификации ЮВФ значительно расширяются за счет изучения изотопных соотношений его газовой составляющей, а также элементов, которые могут изначально присутствовать в воде, однако лишь в том случае, если их значения надежно установлены для пород мантии. К таким элементам относятся He, Ar, S, C, причем лидером среди них бесспорно является гелий. Изотопное соотношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ получило название

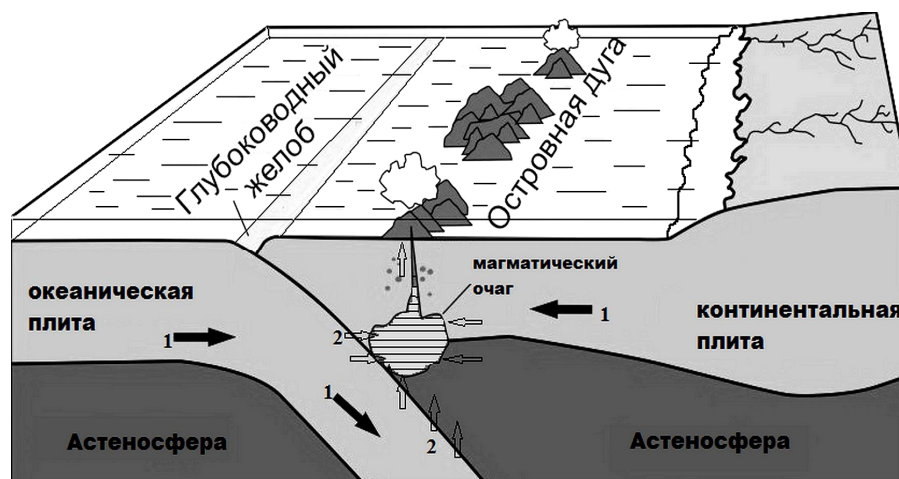


Рис. 2. Схема зоны субдукции (1 – направления перемещения литосферных плит; 2 – отгон летучих (в том числе H_2O) из коры и верхней мантии).

¹ Кононов В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. М.: Наука. 1983. 216 с.

² Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР. Л.: Недра, 1982. 216 с.

«мантийной метки», поскольку в настоящее время, как указывает В.П. Якуцени¹, только в породах мантии (и метеоритах) значение это составляет $n \times 10^5$, тогда как в других природных объектах оно как минимум на порядок ниже. Все остальные изотопные характеристики не могут быть однозначно истолкованы в пользу мантийного происхождения этих элементов, ибо в природе вне мантии существуют условия, при которых изотопные составы Ag, S, C и Sr идентичны значениям, установленным для пород мантии. Поэтому исследования изотопных характеристик веществ, присутствующих в ЮВФ, безусловно, помогают установить генезис водного объекта, однако не могут считаться неоспоримыми (исключением является только He). Они представляют определенный интерес лишь в комплексе с другими признаками.

Иной путь поиска диагностических признаков мантийного генезиса водного флюида заключается в попытках обнаружить особенности солевого состава, присущие только этим водам. В гидрогеохимии, наверное, трудно найти еще один вопрос, по поводу которого мнения ученых были бы столь же противоречивы, как в представлениях о минерализации и солевом составе ювенильных вод.

Если иметь в виду, что именно за счет ЮВФ был образован Мировой океан, то здесь наибольшей известностью пользуются воззрения А.П. Виноградова и В. Руби. По представлениям названных исследователей, такая вода практически сразу за счет растворения сопутствующих ей кислых вулканических дымов приобретает свой анионный состав, аналогичный тому, который наблюдается в современной океанической воде².

Несколько иначе выглядит концепция М.Г. Валяшко³, поддержанная А.Н. Когарко и И.Д. Рябчиковым⁴, согласно которой первичный водный флюид уже на стадии отделения от базальтовых расплавов по концентрации и составу солей соответствует морской воде. Еще более радикальных взглядов придерживаются В.Ф. Дерпгольц и Е.С. Гавриленко⁵, которые полагают, что воды, образующие ЮВФ, являются крепкими растворами, подобными тем, что залегают в придонных частях котловин Красного моря.

Диаметрально противоположной точки зрения придерживаются А.Ф. Грачев и М.А. Мартынова⁶. По утверждению этих исследователей, рассматриваемые воды изначально вообще не содержат в себе растворенных солей, что при соответствующих условиях позволяет им играть ведущую роль в формировании инверсионных гидрохимических разрезов как в глубоких артезианских бассейнах, так и в крупных поверхностных водоемах. Суждения о том, что ювенильные воды изначально являются пресными, в свое время было высказано также А.А. Карцевым: «... эндогенные воды в момент своего выделения и образования практически лишены растворенных компонентов»⁷.

И сегодня по поводу изначальной минерализации ювенильной воды у некоторых ученых (Т.Г. Петров и др.) возникает группа вопросов, связанная с «...противоречием между общеизвестной прямой зависимостью растворимости от температуры и утверждениями о том, что водный флюид – это эквивалент ювенильной воды – будучи наиболее глубинным и высокотемпературным – имеет низкую минерализацию... даже утверждается, что в момент своего зарождения ювенильные воды не могут содержать в себе растворенных веществ. Что такое момент зарождения ювенильных вод? Чем отличаются ювенильные воды от гидротермальных, являющихся первоисточником минерального вещества, как общеизвестно, при высоких температурах?»⁸.

Попробуем разобраться в сложившейся ситуации и с этой целью более детально проанализировать условия, в которых осуществляется генерация ЮВФ. Как ранее было показано, зарождение первичной воды осуществляется в условиях рифтогенеза при плавлении вещества мантии. В соответствии с результатами физико-химического моделирования ее генерация осуществляется за счет кислородсодержащего мантийного флюида, представляющего самостоятельную водно-углекислую ветвь глубинной дегазации Земли⁹. Процесс этот происходит на глубинах 30–40 км при температуре 1200–1250°C. Как известно, в таких условиях вода состоит исключительно из мономерных молекул, которые к тому же в значительной степени диссоциированы на H^+ и OH^- .

Отсюда следует очень важный вывод: вода, присутствующая в магматическом расплаве, не может содержать в себе никаких растворенных веществ, поскольку ее растворяющая способность напрямую зависит от наличия в ней ассоциированных молекул (молекулярных агрегатов), а они в рассматриваемой обстановке полностью отсутствуют. Скорее вода сама растворена в магмах.

В том случае, когда у воды, содержащейся в магматическом расплаве, появляется возможность вместе с другими летучими, в первую очередь, газами отделиться от очага плавления и устремиться в область более низких температур и давлений, она мигрирует в виде пара и переходит в состояние жидкости лишь при соответствующих РТ условиях (температура ниже критической – +374°C). Несмотря на то, что в паробразной воде присутствует некоторое количество димеров (двумолекулярных агрегатов), ее растворяющая способность крайне низка и лишь жидкая вода приобретает это свойство, которое проявляется все ярче по мере роста числа ассоциированных молекул, т.е. при снижении температуры. Когда же вода уже в полной мере приобретает свое уникальное свойство – растворять в себе соли и газы в высоких концентрациях, решающую роль в формировании ее как природного раствора начинает

¹ Якуцени В.П. Геология гелия. Л.: Недра, 1968. 232 с.: Он же. Изотопный состав гелия – универсальный маркер источника и эволюции вещества Земли // Матер. Всероссийской конф. «Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь». М., ГЕОС, 2010. С. 666–668.

² Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 215 с.

³ Валяшко М.Г. Эволюция химического состава воды океана // История Мирового океана. М.: Наука, 1971. С. 97–104.

⁴ Когарко А.Н., Рябчиков И.Д. Летучие компоненты в магматическом процессе // Геохимия. 1978. №9. С. 1293–1321.

⁵ Гавриленко Е.С., Дерпгольц В.Ф. Глубинная гидросфера Земли. Киев: Наукова думка, 1971. 272 с.

⁶ Грачев А.Ф., Мартынова М.А. О вероятном составе воды первичного океана // Вестник ЛГУ. 1980. № 12. С. 17–25; Они же. Некоторые закономерности формирования гидросферы // Вестник ЛГУ. 1980. № 24. С. 76–85.

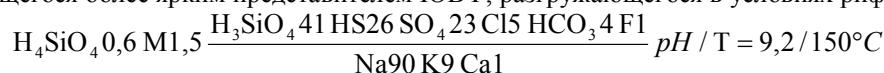
⁷ Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.

⁸ Petrov T.G. Graphic Representation of the Evolutionary Processes of the Compositions of Multicomponent Objects of Any Nature. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. Vol. 46. No. 2. Allerton Press, Inc. 2012. Pp. 79–93.

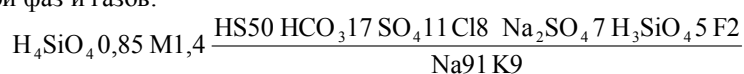
⁹ Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Мартынова М.А. и др. Структурно-гидрогеологические основы физико-химического моделирования процессов формирования гидросферы Байкальского рифта // Известия ВУЗов Сибири. Серия наук о Земле. 2005. № 8. С. 81–100.

играть резерв вещества, способного перейти в раствор¹. Так, для того чтобы ее химический состав отвечал представлениям М.Г. Валяшко, а тем более В.Ф. Дерпгольца, т.е. чтобы она имела соответствующий солевой состав и достаточно высокую минерализацию, ей в первую очередь необходимо накопить в себе большое количество хлора. Как известно, хлор является главным анионом практически всех природных вод, концентрация растворенных солей в которых превышает 5 г/кг (напомним, что в морской воде это 35 г/кг, а в рассоле даже более 300 г/кг). В то же время известно, что вещество, отделяющееся от зон плавления в условиях рифтогенеза, отличается достаточной однородностью, а в целом определяется элементным составом мантии. И здесь следует подчеркнуть особо, что хлор в этом веществе присутствует в исключительно низких концентрациях. Если к этому добавить, что в соответствии с экспериментальными данными хлор не отделяется от базальтовых магм вместе с другими летучими, а почти целиком удерживается в этих магмах², то станет очевидным следующий факт: хлору просто неоткуда взяться, чтобы насытить ЮВФ до концентрации, отвечающей воззрениям М.Г. Валяшко и В.Ф. Дерпгольца.

Этот вывод убедительно подтверждают данные о составе пароводяной смеси месторождения Наумафьядль (Исландия), являющегося более ярким представителем ЮВФ, разгружающегося в условиях рифтогенеза³:



Подтверждают данную концепцию также результаты реконструкции состава глубинных флюидов, произведенной В.И. Кононовым путем термодинамических расчетов, на основании химического анализа разгружающихся водной и паровой фаз и газов:



Согласно В.И. Кононову, именно «такой маломинерализованный высокотемпературный флюид кремнисто-гидросульфидного натриевого состава и характерен, по-видимому, для глубинных частей базальтового разреза областей современного вулканизма с океаническим типом земной коры»⁴.

Что же касается хлора, то В.И. Кононов на основании обобщения данных, полученных в результате изучения 14 скважин ряда гидротермальных систем Исландии (Рейкьяниса, Свартсенги, Несьяведлира и Наумафьядль) приходит к следующему заключению: «концентрация хлора в воде определяется только его поступлением либо из морской воды, либо из пород в результате процессов выщелачивания»⁵. Это означает, что в ЮВФ он попросту отсутствует.

Таким образом, остается открытым лишь один вопрос: как можно объяснить, что водные включения в базальтах, согласно данным А.Н. Когарко и И.Д. Рябчикова, имеют химический состав, аналогичный составу современной морской воды?

Здесь, скорее всего, свою роль играют два обстоятельства: во-первых, как уже отмечалось, хлор не отделяется от базальтового расплава и таким образом увеличивает свою концентрацию в породе, как бы мала она ни была в расплаве; во-вторых, оставшаяся в базальтах вода, безусловно, взаимодействует с вмещающей геологической средой, т.е. выщелачивает из породы наиболее растворимые соединения. Процесс этот во многом зависит как от времени, так и от количественного соотношения порода – вода. Как показали результаты анализов водных вытяжек из одних и тех же образцов горных пород (лерцолитов из Прибайкалья и острова Шпицберген), по мере увеличения данного соотношения концентрация раствора увеличивается и одновременно изменяется состав растворенных солей⁶. Скорее всего, в базальтах это соотношение таково, что вполне может обеспечить наблюдающийся солевой состав их жидких включений.

Утверждая, что вода в ЮВФ является ультрапресной, возможно, следует обсудить еще один вопрос. Почему-то специалисты в области петрографии, рудной минералогии и др. не всегда согласны с тем, что ЮВФ может сохранить низкую минерализацию воды, пройдя путь от очага плавления до места разгрузки. Они полагают, что независимо от того, с какими породами происходит взаимодействие, вода приобретает достаточно весомый солевой состав. Попробуем их разубедить. Физическая природа подобного взаимодействия раскрыта Ф.А. Летниковым⁷. Речь идет о сопоставлении скорости движения ЮВФ и скорости диффузионных процессов. Когда скорость потока намного больше скорости диффузии реагирующего компонента внутри твердой фазы, то в короткий отрезок времени после того, как прореагировала поверхность минеральных зерен, и процесс перешел в диффузионную область, флюид *в ничтожной степени* реагирует с породой и, по сути, флюидный перенос идет в равновесных условиях. В этом и заключается ответ на вопрос, задаваемый петрологами и геохимиками – каким образом флюид из мантии, пройдя расстояние в десятки и даже в сотни километров по разрезу литосферы и ее поверхности, сохраняет свои многие физико-химические свойства и состав⁸. Объяснение, на наш взгляд, более чем убедительное.

Что касается рудных гидротермальных месторождений, то, представляется, здесь вообще не должно быть никаких вопросов. Безусловно, РТ условия, в которых зарождается и движется ЮВФ, могут способствовать тому, что его используют как транспортное средство и вместе с ним или в его воде осуществляется миграция рудных компонентов. Но перемещаются они лишь до «станции назначения», т.е. соответствующего геохимического барьера, где «пассажиры высаживаются» и формируют месторождения.

Кроме того, еще раз считаем важным подчеркнуть, что, говоря об ультрапресной воде, мы имеем в виду лишь главные компоненты солевого состава природных вод, т.е. Cl – SO₄ – HCO₃ (CO₃), Na – Mg – Ca; о мик-

¹ Мартынова М.А., Часовникова Е.В. Гидрогеохимия. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1993. 225 с.

² Sigvaldsson G.E., Oskarsson N. Chlorine in basalts from Iceland. Geochim. et Cosmochim. Acta, 1976. Vol. 40. Pp. 777–789.

³ Кононов В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. М.: Наука, 1983. 216 с.

⁴ Там же.

⁵ Там же.

⁶ Грачев А.Ф., Мартынова М. А. О вероятном составе воды первичного океана // Вестник ЛГУ. 1980. № 12. С. 17–25.

⁷ Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 230 с.

⁸ Там же.

рокомпонентах, к которым относятся элементы рудной минерализации, речь вообще не идет.

И, наконец, последняя тема, которой следует коснуться, обсуждая ЮВФ – это эффекты, к которым приводит его разгрузка в верхние геосферы.

Не касаясь прямых выходов ЮВФ на поверхность Земли (а это в первую очередь уже упоминавшиеся водородные термы, приуроченные к срединной неовулканической зоне Исландии, а также, возможно, их аналоги – гейзеры Сонома в Калифорнии и термальное поле Ахуачапан в Сальвадоре), остановимся на его роли в формировании различных водных объектов.

Здесь, прежде всего, следует обратиться к работам исследователей, которые, практически не рассматривая особенности ЮВФ как такового, тем не менее, отводят главную роль в формировании крупномасштабных гидрохимических инверсий именно ему. Это, в частности, многие работы Ю.А. Ежова, посвященные обращенной гидрохимической инверсии ряда глубоких артезианских бассейнов¹. Причину данного явления названный автор видит во внедряющихся из больших глубин по разломам *газопарожидких пресных флюидов*, состоящих главным образом из метана, углекислоты, водорода, а также парообразной и жидкой воды.

По существу такой же точки зрения придерживается и А.А. Розин, объясняющий инверсии солевого состава подземных вод Западно-Сибирского артезианского бассейна миграцией слабоминерализованных растворов со стороны фундамента². Однако вопрос: что конкретно представляет собой «глубинный водный флюид», создающий эффект опреснения в нижних частях артезианских бассейнов, названными исследователями не рассматривается.

Позднее было установлено, что подток снизу ультрапресных вод мантийного генезиса, т.е. ЮВФ происходит в Байкальской рифтовой зоне, в результате чего формируются гидрохимические инверсии не только в артезианских бассейнах, к примеру, в Усть-Селенгинской впадине, но и в самом озере Байкал³.

Скорее всего, основным фактором, объясняющим низкую минерализацию воды бессточного озера Танганьика, расположенного в пределах Восточно-Африканской рифтовой системы, также является участие в его питании ЮВФ⁴.

Полагаем, что приведенных примеров достаточно, чтобы показать масштабность рассматриваемого явления, т.е. участия, а иногда и ведущей роли ЮВФ в формировании самых различных водных объектов – от гидротерм до крупных поверхностных водоемов. Бесспорно, остаются открытыми вопросы, касающиеся количественной стороны процесса. Здесь ясно лишь одно: если бы поступление ЮВФ в верхние геосферы не было бы достаточно масштабным, о наблюдающихся эффектах не могло бы быть речи.

Таким образом:

1. При рифтогенезе от магматических расплавов, формирующихся в мантии за счет эффекта декомпрессии, отделяется ювенильный водный флюид (ЮВФ).

2. Единственным достоверным диагностическим признаком, доказывающим мантийное происхождение данного флюида, является «мантийная метка», т.е. изотопное соотношение гелия ($^3\text{He} / ^4\text{He} = n \times 10^5$).

3. Вода, являющаяся главной составляющей флюида, изначально не содержит в себе растворенных солей, т.е. является ультрапресной. По мере продвижения к поверхности Земли она, естественно, обретает определенное солевое содержание, величина и качественный состав которого зависят от геологической среды, с которой вода приходит в соприкосновение.

4. Ювенильный водный флюид способен играть роль «транспортного средства» при переносе рудных компонентов к зоне рудоотложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валяшко М.Г. Эволюция химического состава воды океана // История Мирового океана. М.: Наука, 1971. С. 97–104.
Valyashko M.G. (1971). Evolyutsiya khimicheskogo sostava vody okeana. In: Istoriya Mirovogo okeana. Nauka. Moskva. Pp. 97–104.
2. Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР. Л.: Недра, 1982. 216 с.
Vetshtein V.E. (1982). Izotopy kisloroda i vodoroda prirodnykh vod SSSR. Nedra. Leningrad. 216 p.
3. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 215 с.
Vinogradov A. P. (1967). Vvedenie v geokhimiю okeana. Nauka. Moskva. 215 p.
4. Гавриленко Е.С., Дерпгольц В.Ф. Глубинная гидросфера Земли. Киев: Наукова думка, 1971. 272 с.
Gavrilenko E.S., Derpgol'ts V.F. (1971). Glubinnaya gidrosfera Zemli. Naukova dumka. Kiev. 272 p.
5. Грачев А.Ф., Мартынова М. А. О вероятном составе воды первичного океана // Вестник ЛГУ. 1980. № 12. С. 17–25.
Grachev A.F., Martynova M. A. (1980). O veroyatnom sostave vody pervichnogo okeana, Vestnik LGU. N 12. Pp. 17–25.
6. Грачев А.Ф., Мартынова М.А. Некоторые закономерности формирования гидросферы // Вестник ЛГУ. 1980. № 24. С. 76–85.
Grachev A.F., Martynova M.A. (1980). Nekotorye zakonomernosti formirovaniya gidrosfery. Vestnik LGU. N 24. Pp. 76–85.
7. Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Мартынова М.А. и др. Структурно-гидрогеологические основы физико-химического моделирования процессов формирования гидросферы Байкальского рифта // Известия ВУЗов Сибири. Серия наук о Земле. 2005. № 8. С. 81–100.
Didenkov Yu.N., Bychinskii V.A., Martynova M.A. i dr. (2005). Strukturno-gidrogeologicheskie osnovy fiziko-khimicheskogo modelirovaniya protsessov formirovaniya gidrosfery Baikal'skogo rifta. Izvestiya VUZov Sibiri. Seriya nauk o Zemle. N 8. Pp. 81–100.
8. Ежов Ю.А. Закономерности распространения химических инверсий в подземной гидросфере // Сов. геология. 1981. № 1. С. 106–112.

¹ Ежов Ю.А. Закономерности распространения химических инверсий в подземной гидросфере // Сов. геология. 1981. № 1. С. 106–112.

² Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск: Наука, 1977. 100 с.

³ Грачев А.Ф., Мартынова М.А. Некоторые закономерности формирования гидросферы...; Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Мартынова М.А. и др. Структурно-гидрогеологические основы физико-химического моделирования...

⁴ Мартынова М.А., Хаустов В.В. Об азотных термах Восточно-Африканской рифтовой системы // Система «Планета Земля»: 300 лет со дня рождения М.В. Ломоносова. 1711–2011. М.: ЛЕНАНД, 2010. С. 338–346.

- Ezhov Yu.A. (1981). Zakonomernosti rasprostraneniya khimicheskikh inversii v podzemnoi gidrosfere. Sov. geologiya. N 1. Pp. 106–112.
9. Кадик А.А., Френкель М.Я. Магмообразование сопряженное с декомпрессией коры и мантии в присутствии летучих компонентов // Геохимия. 1980. № 4. С. 467–496.
Kadik A.A., Frenkel' M.Ya. (1980). Magmoobrazovanie sopryazhennoe s dekompressiei kory i mantii v prisutstvii letuchikh komponentov. Geokhimiya. N 4. Pp. 467–496.
10. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.
Kartsev A.A. (1972). Gidrogeologiya neftnykh i gazovykh mestorozhdenii. Nedra. Moskva. 280 p.
11. Когарко А.Н., Рябчиков И.Д. Летучие компоненты в магматическом процессе // Геохимия. 1978. № 9. С. 1293–1321.
Kogarko A.N., Ryabchikov I.D. (1978). Letuchie komponenty v magmaticheskom protsesse. Geokhimiya. N 9. Pp. 1293–1321.
12. Кононов В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. М.: Наука, 1983. 216 с.
Kononov V.I. (1983). Geokhimiya termal'nykh vod oblastei sovremennogo vulkanizma. Nauka. Moskva. 216 p.
13. Ланге О.К. Гидрогеология. М.: Высшая школа, 1969. 365 с.
Lange O.K. (1969). Gidrogeologiya. Vysshaya shkola. Moskva. 365 p.
14. Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 230 с.
Letnikov F.A. (1992). Sinergetika geologicheskikh sistem. Nauka. Novosibirsk. 230 p.
15. Мартынова М.А. О двух типах подземных вод эндогенного генезиса областей современного вулканизма // Гидрогеология и гидрогеохимия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. Вып. 2. С. 21–32.
Martynova M.A. (1983). O dvukh tipakh podzemnykh vod endogennoho genezisa oblastei sovremennogo vulkanizma. In: Gidrogeologiya i gidrogeokhimiya. Izd-vo LGU. Leningrad. Vyp. 2. Pp. 21–32.
16. Мартынова М.А., Мартыанова Г.И. О роли глубинного флюида в формировании инверсионных гидрохимических разрезов // Вестник ЛГУ, 1984. № 18. С. 78–82.
Martynova M.A., Mart'yanova G.I. (1984). O roli glubinnogo flyuida v formirovanii inversionnykh gidrokhimicheskikh razrezov. Vestnik LGU. № 18. Pp. 78–82.
17. Мартынова М.А., Мартыанова Г.И., Сергеева Т.В. К проблеме формирования гидрохимических инверсий // Вестник ЛГУ. 1986. № 4. С. 29–38.
Martynova M.A., Mart'yanova G.I., Sergeeva T.V. (1986). K probleme formirovaniya gidrokhimicheskikh inversii. Vestnik LGU. N 4. Pp. 29–38.
18. Мартынова М.А. Гидрогеологические аспекты тектоники литосферных плит // Роль подземной гидросферы в истории Земли. М.: Наука, 1990. С. 39–48.
Martynova M.A. (1990). Gidrogeologicheskie aspekty tektoniki litosfernykh plit. In: Rol' podzemnoi gidrosfery v istorii Zemli. Nauka. Moskva. Pp. 39–48.
19. Мартынова М.А., Часовникова Е.В. Гидрогеохимия. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1993. 225 с.
Martynova M.A., Chasovnikova E.V. (1993). Gidrogeokhimiya. Izd-vo SPbGU. S.-Peterburg. 225 p.
20. Мартынова М.А., Хаустов В.В. О генезисе углекислых минеральных вод Северного Кавказа с позиций тектоники плит // Вестник ЛГУ. 1990. Вып. 3. № 5. С. 31–42.
Martynova M.A., Khaustov V.V. (1990). O genezise uglekislykh mineral'nykh vod Severnogo Kavkaza s pozitsii tektoniki plit. Vestnik LGU. Vyp. 3. N 5. Pp. 31–42.
21. Мартынова М.А., Хаустов В.В. Об азотных термах Восточно-Африканской рифтовой системы // Система «Планета Земля»: 300 лет со дня рождения М.В. Ломоносова. 1711–2011. М.: ЛЕНАНД, 2010. с. 338–346.
Martynova M.A., Khaustov V.V. (2010). Ob azotnykh termakh Vostochno-Afrikanskoi riftovoi sistemy. In: Sistema «Planeta Zemlya»: 300 let so dnya rozhdeniya M.V. Lomonosova. 1711–2011. LENAND. Moskva. Pp. 338–346.
22. Общая гидрогеология / Отв. ред. Е.В. Пиннекер. Новосибирск: Наука, 1980. 230 с.
Obshchaya gidrogeologiya (1980). Otв. red. E.V. Pinneker. Nauka. Novosibirsk. 230 p.
23. Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск: Наука, 1977. 100 с.
Rozin A.A. (1977). Podzemnye vody Zapadno-Sibirskogo artezianskogo basseina i ikh formirovanie. Nauka. Novosibirsk. 100 p.
24. Саваренский Ф.П. Гидрогеология. М. – Л.: ОНМ, НКТП СССР, 1935. 335 с.
Savarenskii F.P. (1935). Gidrogeologiya. ONM, NKTP SSSR. Moskva – Leningrad. 335 p.
25. Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 360 с.
Samarina V.S. (1977). Gidrogeokhimiya. Izd-vo LGU. Leningrad. 360 p.
26. Семихатов А.Н. Гидрогеология. М.: Изд-во СельхозГИЗ, 1954. 328 с.
Semikhatov A.N. (1954). Gidrogeologiya. Izd-vo Sel'khozGIZ. Moskva. 328 p.
27. Тихомиров В.В. Общая гидрогеология. СПб.: СПбГУ, 2003. 298 с.
Tikhomirov V.V. (2003). Obshchaya gidrogeologiya. SPbGU. S.-Peterburg. 298 p.
28. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 436 с.
Faif U., Prais N., Tompson A. (1981). Flyuidy v zemnoi kore. Mir. Moskva. 436 p.
29. Якуцени В.П. Геология гелия. Л.: Недра, 1968. 232 с.
Yakutseni V.P. (1968). Geologiya geliya. Nedra. Leningrad. 232 p.
30. Якуцени В.П. Изотопный состав гелия – универсальный маркер источника и эволюции вещества Земли // Матер. Всероссийской конф. «Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь». М.: ГЕОС, 2010. С. 666–668.
Yakutseni V.P. (2010). Izotopnyi sostav geliya – universal'nyi marker istochnika i evolyutsii veshchestva Zemli. In: Mater. Vserossiiskoi konf. «Degazatsiya Zemli: geotektonika, geodinamika, geoflyuidy, neft' i gaz, uglevodorody i zhizn'». GEOS. Moskva. Pp. 666–668.
31. Petrov T.G. Graphic Representation of the Evolutionary Processes of the Compositions of Multicomponent Objects of Any Nature. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, Vol. 46, No. 2. Allerton Press Inc., 2012. Pp. 79–93.
32. Rubey W.W. Geologic history of sea water. In: The origin and evolution of atmosphere and oceans, 1964. Pp. 1–63.
33. Sigvaldsson G.E., Oskarsson N. Chlorine in basalts from Iceland. Geochim. et Cosmochim. Acta. 1976. Vol. 40. Pp. 777–789.