Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXXI, 1979 г.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ЗЕМЛИ

Н.И.ТОЛСТИХИН, О.Н.ТОЛСТИХИН,
И.Н.ТОЛСТИХИН

Среди других астрогеологических проблем особенно важно геологическое действие вращения Земли. Вращение Земли порождает образование громадных, невероятных количеств энергии... Оно настолько велико, что, безусловно, должно оказывать влияние и на твердую кору Земли.

Д.В. Наливкин.
Из истории геологических проблем.

О большой роли вращения Земли и изменения во времени скорости ее вращения в возникновении земных деформаций писал Б.Л.Личков. Он также подчеркивал первостепенное значение в тектонике воздействия на литосферу внешних оболочек Земли - атмосферы и гидросферы [31]. На колебательные и горизонтальные движения материков указывал и Д.В.Наливкин [36].

Развивая идеи Д.В.Наливкина, Б.Л.Личкова и других ученых, авторы ставили своей задачей показать некоторые глобальные закономерности размещения природных вод Земли, обусловленные ее вращением. При этом поверхностные и подземные воды рассматриваются в их единстве, исходя из высказываний В.И.Вернадского об единстве природных вод и о том, что „вода не может являться случайным явлением в земной коре, что она является одним из основных элементов ее механизма, пока нам плохо известного" [6, с.45].

К минеральным водам (МВ) здесь отнесены воды Мирового океана, морей, соляных озер, а также подземные МВ, имеющие лечебное, промышленное и энергетическое значение [37]. Поверхностные и подземные МВ - едины. Основой их размещения является гидрогеологическая структура Земли. Наличие континентов и океанов создает главную закономерность в размещении разнообразных по минерализации, составу и другим свойствам минеральных вод суши и однообразных по составу вод Мирового океана и окружающих его морей. На земном шаре в целом выделяется обусловленная вращением Земли система широтных поясов артезианских бассейнов и океанских котловин вместе с окружающими их гидрогеологическими складчатыми областями. Таких гидрогеологических поясов семь: Арктический, Бореальный, Средиземноморский, Экваториальный, Южный, Приантарктический, Антарктический [21, 45].

Арктический пояс приурочен к циркумполярным структурам Северного полюса и в значительной мере прикрыт Северным Ледовитым океаном. Бореальный пояс расположен вдоль 62-й параллели с.ш. и характеризуется широким развитием МВ суши. Средиземноморский тяготеет 35-й критической параллели с.ш.; в его пределах находятся высочайшие горные сооружения Европы и Азии. Экваториальный протягивается вдоль экватора. Это пояс наиболее теплых вод земного шара. Южный пояс расположен вдоль 35-й параллели ю.ш. и отличается фрагментарным размещением суши и обширным - океанских котловин. Приантарктический сосредотачивается вдоль 62-й критической параллели ю.ш. и представлен тремя гигантскими океанскими котловинами, кольцом опоясывающими Антарктиду и прикрытыми Южным океаном. Наконец, Антарктический пояс представлен Антарктидой. Он находится под мощным ледниковым щитом [17, 46].

Для гидрогеологических поясов может быть отмечена симметрия в их расположении относительно экватора [11, 45]. Так, по отношению к Арктическому поясу симметрично расположен Антарктический пояс, по отношению к Бореальному - Приантарктический. Симметрично расположены также Средиземноморский и Южный гидрогеологические пояса. Вместе с тем явно видна антисимметрия и антиподальность поясов в соотношении их подземных и поверхностных вод. Так, Арктический пояс находится на субмаринном этапе развития, а симметричный ему Антарктический - на субаэрально-субгляциальном. Бореальный пояс - в основном субаэральный, Приантарктический - океанический. Средиземноморский отличается значительным развитием суши, тогда как Южный - резким преобладанием океана. В целом отмечается более значительное развитие суши в северном полушарии и моря - в южном [6, 31].

Помимо широтной поясности гидрогеологическая структура Земли носит также определенные черты долготной секториальности, позволяющей выделить следующие долготные сектора с присущими им долготными рядами гидрогеологических структур и океанских котловин: А - Американский, Б - Европейско-Африканский (Евроафриканский), В - Азиатско-Австралийский, Г - Тихоокеанский. Долготная секториальность Земли связана с возникновением критических меридианов, обусловленным вращением Земли [21, 31, 43].

С широтно-поясным и долготно-секториальным размещением главнейших элементов поверхности Земли и ее гидрогеологических структур связан общий план размещения поверхностных и подземных МВ Земли.

Тихоокеанский сектор и окружающее его Тихоокеанское кольцо гидрогеологических структур вносит диссимметрию в размещении МВ, отмеченную еще В.И.Вернадским [6]. Тихий океан является примером крупнейшего сектора поверхностных МВ, которому противостоят остальные сектора (А, Б, В) с меньшим развитием поверхностных МВ океана и значительным развитием МВ суши. Рассматривая Тихоокеанский сектор как крупное скопление поверхностных МВ Земли, можно внутри него выявить широтные пояса и долготные серии, вскрывающие сложность структуры пояса и существенную роль критических параллелей в этой структуре [11]. Такова третья закономерность в размещении МВ Земли - ее диссимметрия [41].

Океанские котловины - Австрало-Антарктическая, Африкано-Антарктическая и Беллинсгаузена, приуроченные к 62-й критической параллели ю.ш.,

составляют Приантарктический гидрогеологический пояс. Он кольцом окружает Антарктиду и является хорошим примером широтной зональности (поясности) в размещении поверхностных МВ, тесно связанной с вращением Земли.

Примером долготной секториальности в размещении поверхностных МВ могут послужить расположенные к западу и к востоку от Срединно-Атлантического хребта ряды котловин Атлантического океана. Таковы котловины - Гренландская, Северо-Американская, Бразильская, Аргентинская, мбря Уэдделла на западе Атлантического океана и Норвежская, Северо-Африканская, Гвинейская, Ангольская, Капская, Агульянс и Африкано-Антарктическая - на востоке его [49].

Наконец, минеральные (соляные) озера й внутренние моря широко распространены в Средиземноморском гидрогеологическом поясе, начиная от Средиземного моря на западе и кончая многочисленными соляными озерами аридного пояса Евразии [I5, I6, 37]. Не останавливаясь на дальнейшем рассмотрении закономерностей размещения поверхностных МВ гидросферы, подчеркнем, что их жизнь тесно связана с широтной климатической зональностью, а размещение - с широтной поясностью и долготной секториальностью.

Проблема закономерностей размещения подземных МВ, их провинций впервые обсуждалась на XУП сессии Международного геологического конгресса в Москве в 1937 г. Тогда закономерности размещения провинций МВ были показаны для территории СССР и Северной Азии. В дальнейшем распространение провинций МВ было выявлено для МНР (1949-1963). В 1974 г. провинции МВ были установлены Р.И.Ткаченко и Н.А.Мариновым для Советской и зарубежной Азии [I5], а в 1978 г. - теми же авторами для всей Африки. Для Тихоокеанского кольца и всего Тихоокеанского сектора они намечаются Е.А.Басковым и С.Н.Суриковым в 1975 г. [3]. Все это позволяет схематизировать провинции МВ для земного шара [2I].

К первой провинции МВ относятся углекислые, сероводородно-углекислые, азотно-углекислые воды, которые формируются при участии глубинных факторов воздействия [5, I2, I3, I7, 22, 23, 32, 37]. В наиболее активных в настоящее время сейсмических зонах разломы проникают до мантии. По ним устремляются флюиды, а вслед за ними и магмы. По пути к поверхности они мобилизуют некоторые компоненты из вмещающих пород, внедряясь в зону насыщения подземных вод, смешиваются с последними, вносят компоненты мантийного и корового происхождения, меняя состав МВ и все их свойства [28, 32]. К глубинным, существенно мантийным компонентам состава, по П.Н.Кропоткину и Б.М.Валяеву, относится не менее I7 элементов: водород, гелий, литий, бор, углерод, азот, кислород, фтор, натрий, сера, хлор, бром, ртуть и др. Среди них особенно важное значение для формирования МВ провинции имеют углерод и кислород - углекислый газ [I9]. Он выделяется как составная часть флюидов глубинного происхождения, а также выносится из магматических очагов и под их метаморфизующим воздействием - из пород, вмещающих магматические очаги. Насыщая МВ, углекислый газ повышает их агрессивность и существенно изменяет все их свойства. В результате воздействия флюидов и углекислого газа создается обширная ассоциация парагенетически связанных между собой разнообразных по составу и минерализации углекислых вод, с преобладанием гидро-

карбонатных, с переходами до сульфатных и хлоридных натриевых [35, 37]. В большинстве эти воды приурочены к гидрогеологическим массивам и являются трещинно-жильными. Но в ряде случаев углекислые трещинно-жильные МВ фундамента мигрируют в прикрывающий его чехол артезианских бассейнов, и тогда состав МВ в значительной мере зависит от состава вод той гидрохимической зоны, в которую мигрировала вода из фундамента [21]. Таковы, например, многие слабосолоноватые углекислые МВ, залегающие в приподнятом крыле Предкавказского артезианского бассейна в районе Кавказских минеральных вод или вскрытые недавно буровыми скважинами соленые углекислые МВ в основании чехла и в фундаменте Западно-Сибирского артезианского бассейна (во внутренних его частях).

Территория первой провинции МВ наименьшая по сравнению с занятой другими провинциями. Как правило, она приурочена к районам современной вулканической деятельности (горячие углекислые воды преимущественно) или к районам с проявлением вулканизма, угасшего в кайнозойское время (преимущественно холодные углекислые МВ). В единичных случаях, требующих тщательного изучения, отдельные проявления углекислых МВ встречаются за пределами указанных районов. Поскольку основным специфическим компонентом МВ первой провинции является углекислый газ, природа которого связывается с вулканическими процессами в самом широком смысле этого слова, а отчасти и с обусловленными ими термометаморфическими процессами, генерирующими углекислый газ из горных пород вмещающих магматические очаги, постольку данную провинцию углекислых минеральных вод можно назвать вулканогенной провинцией трещинно-жильных углекислых МВ [12, 14, 22].

Наиболее широкое распространение отдельные области и районы этой провинции получили в Средиземноморском гидрогеологическом поясе, в Тихоокеаническом кольце, в африканской рифтовой зоне, в Экваториальном гидрогеологическом поясе и в пределах срединно-океанических хребтов. Следовательно, она наиболее широко проявляется в тех критических параллелях и меридианах, где получили развитие современные и кайнозойские вулканические явления.

Минеральные воды второй провинции - азотные, реже метановые и смешанные по составу газов - формируются на больших глубинах в зонах тектонических трещин в сейсмически активных районах земного шара [2, 4, 24, 27, 33, 40]. Именно в этих районах активные разломы проникают глубоко. По ним в глубь гидрогеологических массивов следуют водозные воды метеорного или речного происхождения. В пути следования они меняют свой состав, минерализацию, нагреваются и приобретают другие свойства, становятся термальными натриевыми при разнообразном анионном составе, который зависит от гидрогеологической обстановки. Нагревшиеся термы, как правило, выходят на поверхность по разломам и нередко образуют термальные линии. Трещинно-жильные термальные воды второй провинции иногда проникают по разломам из фундамента в чехол артезианских бассейнов и создают в них ореолы рассеяния термальных вод миграционного происхождения. В газовом составе таких артезианских терм нередко отмечается преобладание метана.

Поскольку ведущим фактором в возникновении термальных вод данной провинции является сейсмическая деятельность, можно назвать ее сейсмогенной. Наиболее широко вторая провинция МВ распространена в Средиземноморском и Экваториальном поясах Земли, в Тихоокеанском кольце, в рифтовых зонах и т.д. Вторая провинция МВ развита более широко, чем первая, обрамляет провинцию углекислых вод, а местами и внедряется в нее.

В целом первая и вторая провинции приурочены к гидрогеологическим складчатым областям альпийского возраста и омоложенным в четвертичное время более древним. Обе провинции объединяет то, что они являются провинциями трещинно-жильных вод [17].

Минеральные воды третьей провинции - метановые азотные и смешанные по газовому составу - формируются в чехле артезианских бассейнов на разных глубинах, холодные и горячие, в основном пластовые. Наиболее широко распространены среди вод третьей провинции разнообразные соленые воды и рассолы [38]. Меньшим развитием пользуются сульфатные и гидрокарбонатные МВ разнообразного катионного состава. Йод, бром, сероводород - таковы ведущие специфические компоненты состава. Поскольку развитие соленых и рассольных артезианских вод во времени связано с морскими бассейнами, все такие артезианские бассейны могут быть выделены в талассогенную провинцию пластовых МВ. По размерам территории талассогенная провинция занимает первое место на земле. Помимо артезианских бассейнов суши она охватывает огромные пространства морских бассейнов, где находятся субмаринные артезианские бассейны, погрузившиеся под уровень моря вследствие колебательных тектонических процессов. Наконец, к талассогенным следует отнести и подземные воды осадочного чехла океанских котловин и подстилающих чехол базальтов основания, нередко переслаивающихся с вулканитами. Можно предполагать, что в отдельных случаях океанические котловины представляют своеобразные потенциальные артезианские бассейны океанского типа.

Огромные территории суши земного шара, занятые третьей - талассогенной провинцией, относятся к Бореальному гидрогеологическому поясу. Именно здесь сосредоточены наиболее крупные артезианские области Европы и Азии [15, 17, 35].

Минерализация подземных вод талассогенной провинции изменяется в очень широких пределах в зависимости от геологической истории осадочного чехла конкретного артезианского бассейна. Для правильного понимания и прогнозирования минерализации и состава артезианских вод в глубоких частях бассейнов необходимо владеть палеогеологией и учением о фациях. В свое время Д.В.Наливкин в учении о фациях дал указания, как прогнозировать минеральные воды нормальной солености, повышенной и пониженной солености. Базируясь на этих указаниях и учитывая миграционные свойства седиментационных вод, можно выделить артезианские области с рассольными МВ на глубине - Североморскую, Восточно-Европейскую и Восточно-Сибирскую. Наметились также области с пониженной и нормальной соленостью соленых вод - Западно-Сибирская, Охотскоморская и др. Таковы лишь немногие примеры, число которых можно было бы увеличить.

Помимо трех провинций МВ на суше земного шара известны также и апровинциальные районы, к которым относятся Балтийский, Украинский, Канадский, Бразильский и другие щиты и некоторые древние гидрогеологические складчатые области, например Уральская, не затронутые и неактивизированные неосейсмическими и неовулканическими процессами. Для апровинциальных областей и районов характерно присутствие железистых и радоновых апровинциальных МВ, которые формируются в особых благоприятных условиях. Эти апровинциальные МВ встречаются также и в любых провинциях МВ.

Опробование глубоких скважин, вскрывших подземные воды Балтийского кристаллического и Украинского массивов, показало, что в глубоких их частях залегают соленые и рассольные воды. Эти факты побудили некоторых гидрогеологов, например В.Ф.Дерпгольца, высказать предположения о существовании единой непрерывной глобальной глубинной гидрохлоросферы. Однако, по данным В.И.Кононова и Б.Г.Поляка, существование гидрохлоросферы ставится под сомнение для Исландии, по данным И.С.Ломоносова не вызывает уверенности ее существование в Байкальской рифтовой зоне [28, 32].

Какова же роль глубинного фактора в формировании подземных МВ? Этот вопрос интересовал многие поколения ученых [42]. Давно оформились и укрепились взгляды на атмосферное происхождение азотных термальных вод второй провинции, на седиментационное происхождение многих соленых вод и рассолов артезианских бассейнов третьей провинции. Возникли и развиваются гипотезы возрожденных и ювенильных вод, и другие.

Если представления о глубинном подкоровом тепловом потоке, активизирующем процессы преобразования подземных вод, разделяются почти всеми исследователями, то существование потока подкоровых ювенильных вод и других летучих компонентов до настоящего времени подвергалось сомнениям [19]. По мере охвата исследованиями вод всей планеты и совершенствования методов их изучения, наши представления о МВ и их генезисе становились более точными и конкретными. Большой прогресс в познании природы подземных вод, условий их формирования связан с бурным развитием в последние десятилетия изотопных исследований как собственно вещества самой воды, так и многих содержащихся в воде компонентов состава [I, 7, 9, I3, 20, 39, 48, 5I].

Анализ изотопного состава водорода и кислорода воды позволяет сделать достаточно надежные выводы о генезисе воды [20, 39]. Эти новые возможности основаны на следующих главных закономерностях распределения изотопов водорода и кислорода в подземных водах, атмосфере и гидросфере. Изотопный состав водорода и кислорода океанической воды можно считать примерно постоянным в пространстве и во времени (во всяком случае для фанерозоя). Главным процессом, приводящим к фракционированию изотопов H и O в природе является процесс испарения океанических вод, обеспечивающий переход в атмосферу изотопно-легкой воды. Зависимость коэффициента фракционирования от температуры приводит к широтным и сезонным вариациям величин δD и δO^{18} в атмосферной влаге. Эти вариации проявляются в систематическом совместном уменьшении относительных концентраций тяжелых изотопов в испаряющейся влаге с понижением температуры испарения (от $\delta D = \delta O^{18} = 0$ для океанической воды, принимаемой в качестве стандарта, до $\delta D = -30\%$ и

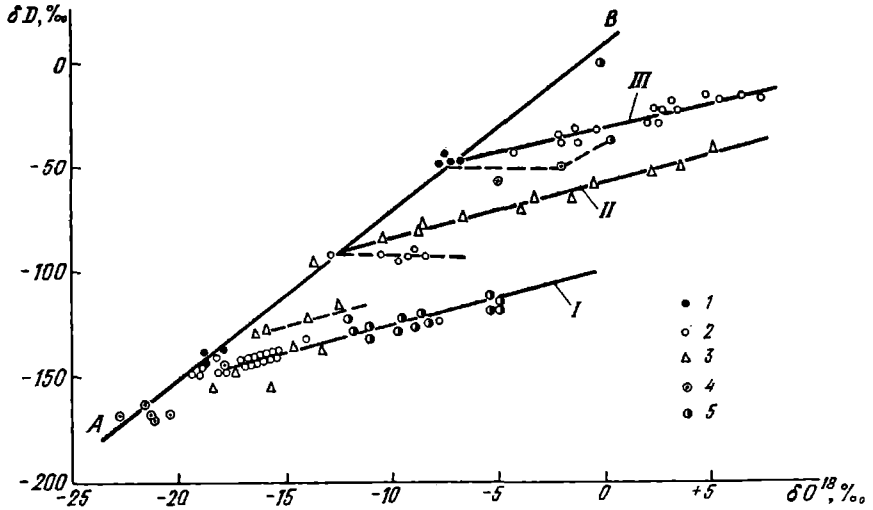


Рис.1. Изотопные вариации δD и δO^{18} для некоторых термальных источников США [50]

1 – Йеллоустонский парк; II – Лассенский парк; III – Гейзеры; 1 – местные метеорные воды; 2 – кислые геотермальные воды района Гейзеров; 3 – кислые геотермальные воды Лассенского национального парка; 4 – геотермальный пар; 5 – кислые геотермальные воды Йеллоустонского парка

δO^{18} = -3,5% для осадков Антарктиды); на графике Крэйга [50] в координатах δD – δO^{18} метеорные воды в подавляющем числе случаев лежат близ прямой $\delta D = 8\delta O^{18} + 1{,}0\%$. Однако для каждого региона могут быть получены достаточно устойчивые средние величины δD и δO^{18} в метеорных водах, т.е. в водах, являющихся потенциальным источником питания подземных МВ. Нанеся на график Крэйга эти средние величины и результаты изотопных анализов исследуемых подземных МВ, можно количественно оценить соотношение морских, седиментационных, поверхностных и метеорных вод, принимавших участие в формировании МВ, а по величине кислородного сдвига – степень метаморфизма подземных вод, происшедшего в результате их взаимодействия (обычно при повышенных значениях температуры) с вмещающими породами. На рис.1 видно, что главным источником вод гидротерм являются метеорные воды („исходные" точки I лежат на линии *AB*), которые в дальнейшем претерпевают метаморфизм, сопровождающийся фракционированием изотопов в системе вода – пар.

Если изотопия кислорода и водорода характеризует происхождение основной части самих подземных вод, то наиболее четким критерием наличия ювенильных компонентов в подземных водах является изотопное отношение $^3He/^4He$ [44]. Многочисленными исследованиями последнего десятилетия показано, что в мантии Земли $^3He/^4He \approx 3\cdot10^{-5}$, в 1000 раз превышая значение этого отношения в радиогенном гелии земной коры и более чем в 10 раз – в атмосфере. Следовательно, высокие (10^{-6}–10^{-5}) и повышенные (10^{-7}–10^{-6}) значения $^3He/^4He$ в гелии подземных вод свидетельствуют об участии в их фор-

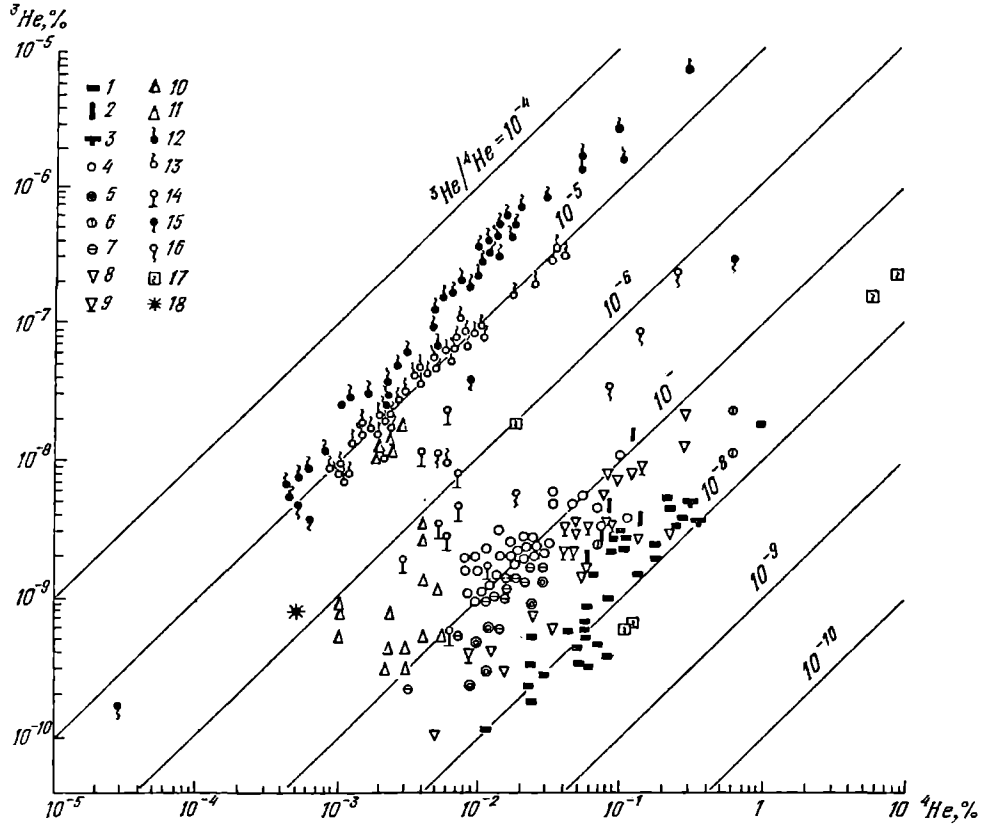


Рис.2. Изотопный состав гелия в природных газах и водах Земли, отражающий особенности тектонического строения региона

1 – 11 – газовые залежи (каждая точка соответствует осредненному по залежи результату двух и более анализов): древних платформ (1 – *Русская платформа*; 2 – *Днепрово-Донецкая впадина*; 3 – Восточно-Сибирская платформа); эпигерцинских платформ (4 – Туранская плита; 5 – Западная Сибирь; 6 – Западный Казахстан; 7 – Скифская плита); межгорных впадин (8 – Фергана; 9 – Таджикская депрессия); геосинклинальных районов (10 – Сахалин; 11 Туркмения); 12–16 – газы термальных источников (12 – Исландия; 13 – Курило-Камчатская вулканическая зона; 14 – Западная Камчатка; 15 – Закавказье; 16 – Прибайкалье и Забайкалье); 17 – газы, отобранные в рудниках; 18 – гелий атмосферы

мировании глубинных летучих компонентов, в том числе и ювенильных вод. Доля ювенильного гелия в подземных водах достигает 100% в гидротермах Исландии [26], колеблется в пределах 10–50% в термальных и холодных источниках Курило-Камчатской вулканической области [30] и Кавказа [34] и близка к нулю в подземных водах Русской платформы (рис.2).

Очевидно, что из-за уникальных особенностей геохимии гелия вклад ювенильного гелия в общий его баланс в МВ всегда максимален и намного превышает вклад других летучих компонентов [44, 51]. Количественное соотношение глубинного гелия и других летучих предстоит выяснить дальнейшими исследованиями. Однако на качественном уровне вопрос об участии ювенильных газов и вод в формировании тех или иных МВ может быть решен однозначно.

Перспективными и полезными являются исследования изотопного состава и некоторых других летучих компонентов, входящих в МВ [8, 13]. Так, например, близкий к метеоритному изотопный состав серы некоторых гидротерм Исландии (сульфидов, сульфатов, самородной серы) свидетельствует о ювенильном глубинном происхождении этого элемента [10]. В то же время в подавляющем большинстве случаев можно говорить о смешанном, преимущественно метаморфогенном происхождении этого элемента [8, 9, 18, 25].

Применение изотопных методов исследования МВ наряду с традиционными гидрогеологическими, геологическими и химическими методами позволит уточнить происхождение подземных вод. Исследования изотопного состава летучих компонентов МВ подтверждают мнение Эд.Зюсса, В.А.Обручева, А.П.Герасимова и других ученых, о том, что многими минеральными углекислыми и азотными термальными источниками выносятся на поверхность наряду с мобилизованными в коре, также и подкоровые ювенильные компоненты. Нет никаких оснований полагать, что в минеральных источниках первой и второй провинций нацело отсутствуют ювенильная вода и другие ювенильные компоненты, задача заключается в том, чтобы правильно оценить ее вклад количественно, как и других компонентов состава.

Повышение чувствительности и точности изотопных исследований позволило приступить к изучению изотопного состава воды из газожидких включений в минералах и породах, в том числе породах предположительно мантийного происхождения. Весьма возможно, что дальнейшие работы в этом направлении помогут установить изотопный состав ювенильной воды и решить вопрос о ее вкладе в воды месторождений МВ на количественном уровне.

Итак, поток глубинных вод, в том числе и ювенильных, наиболее тесно связан с вулканогенной провинцией, ослабевает в пределах сейсмогенной провинции и проявляется лишь в отдельных ограниченных точках в талассогенной провинции [51].

В заключение следует коснуться одного злободневного вопроса наших дней - охраны природных вод от загрязнения и истощения. В условиях расширяющегося и углубляющегося влияния человека на геологическую среду, в том числе и на гидрогеологические условия, возникают новые проблемы в эксплуатации ресурсов природных вод, требуется особый подход к их охране. Действительно, интенсивная эксплуатация подземных вод вообще и МВ в частности проявляется в образовании крупных депрессионных воронок. Это приводит к изменению условий питания, разгрузки и перетекания подземных вод из одного горизонта в другой. В результате мощных длительных откачек нарушается баланс солей в системе подземная вода - горная порода. Исследования группы специалистов, возглавляемой С.Р.Крайновым [29], показывают, что изменяется минерализация, состав макро- и микрокомпонентов. Эти изменения бывают настолько существенными, что воды, весьма благоприятные по своим питьевым качествам, могут стать неприемлемыми для систематического употребления. Особенно нужно быть осторожным в этом отношении со строительством на минеральных водах курортов-гигантов (Кисловодск).

Проводимые в огромных масштабах мелиоративные работы влекут за собою нарушение водного и солевого баланса. Все это заставляет вновь поставить

вопрос о необходимости создания водных заповедников, чтобы для будущих поколений сохранить, и в достаточном количестве, хорошие питьевые и лечебные воды. Одним из таких важнейших водных заповедников должно стать озеро Байкал с его уникальными мировыми запасами высококачественных вод. Но для этого необходимо принять срочные действенные меры по защите его вод от продолжающегося загрязнения [47].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабинец А.Е. Происхождение подземной гидросферы в свете изучения изотопного состава воды. - В кн.: Процессы развития земной коры и полезные ископаемые Днепровско-Донецкой впадины. Тезисы. Раздел 3. Киев-Полтава, Наукова думка, 1968, с. 50-51.

2. Барабанов Л.И., Дислер В.И. Азотные термы СССР. М., изд. Центрального ин-та курортологии и физиотерапии. 1968, 120 с.

3. Басков Е.А., Суриков С.Н. Гидротермы тихоокеанского сегмента Земли. М., Недра, 1975, 171 с.

4. Богородицкий К.Ф. Высокотермальные воды СССР. М., Наука, 1968, 168 с.

5. Вартанян Г.С. Геолого-структурные условия формирования месторождений углекислых вод горно-складчатых регионов и особенности их геологического изучения. Автореф. докт. дисс. М., изд. ВСЕГИНГЕО, 1974, 42 с.

6. Вернадский В.И. История природных вод. М., Изд-во АН СССР, 1960, т. 4, кн. 2, 651 с.

7. Виноградов А.П., Девирц А.Л., Добкина Э.И. Современное содержание трития в природных водах. - Геохимия, 1968, № 10, с. 1147-1162.

8. Виноградов В.И. К вопросу о происхождении вулканической серы. - В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., Наука, 1966, с. 93-108.

9. Виноградов В.И. Роль осадочного цикла в геохимии изотопов серы. Автореф. докт. М., изд. Геолог. ин-та АН СССР, 1975, 41 с.

10. Виноградов В.И., Кононов В.И., Поляк Б.Г. Изотопный состав серы в термопроявлениях Исландии. - ДАН СССР, 1974, т. 217, № 5, с. 1149-1152.

Виноградова Н.Г. Большой лик океана. Памяти Л.А.Зенкевича. - Природа, 1976, с. 94-105.

12. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование / Под ред. С.И.Набоко. М., Недра, 1974, 262 с.

13. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М., Недра, 1968, 244 с.

14. Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса. Краткие тезисы IУ Всесоюзного вулканологического совещания. Петропавловск-Камчатский, изд. Дальневосточного научн. центра АН СССР, 1974, 257 с.

15. Гидрогеология Азии / Под ред. Н.А.Маринова. М., Недра, 1974, 576 с.

16. Гидрогеология и гидрология Аридной зоны земного шара / Под ред. А.И.Силин-Бекчурина. М., ИЛ, 1956, 372 с.

. Гидрогеология СССР. Сводный том. Вып. 1. М., Недра, 1978, 656 с.

18. Гриненко В.А. Основные процессы разделения изотопов серы и их геохимическое значение. Автореф. докт. дисс. М., изд. Ин-та геохимии и аналитич. химии им. В.И.Вернадского, 1974, 61 с.

19. Дегазация земли и геотектоника. Тезисы докладов симпозиума, апрель 1976. М., Наука, 1976, 90 с.

20. Дейтерий и кислород-18 в подземных водах (масспектрометрические исследования). М., Недра, 1976, 180 с. Авт.: Ю.В.Селецкий, В.А.Поляков, А.В.Кубовский, Н.Н.Исаев.

21. Закономерности формирования и распространения минеральных вод СССР. Мат. конференции по подземным минеральным водам, 1973. М., Наука, 1975, 210 с.

22. Иванов В.В., Кононов В.И. Проблема генезиса терм регионов активного вулканизма. - Изв. АН СССР. Сер. геолог., 1977, № 11, с. 131-143.

23. Изотопный состав водорода, кислорода, углерода, аргона, гелия термальных вод и газов Курило-Камчатской вулканической области как показатель их формирования. - Геохимия, 1973, № 2, с.180-189. Авт.: Е.А.Басков, В.Е.Ветштейн, С.Н.Суриков, Г.А.Малюк, Т.А. Мишина, И.Н.Толстихин.

24. Изотопный состав кислорода и водорода сульфидных вод Сочи-Адлерского артезианского бассейна. - Геохимия, 1972, № 9, с.1102-1108. Авт.: О.В.Горбушина, В.Е.Ветштейн, Г.А.Малюк, Е.В.Иосифова, Р.Р.Арутюнян.

25. Изотопный состав серы сульфатов и сульфидов вод некоторых районов Предкавказья в связи с их генезисом. - Геохимия, 1966, № 9, с.1087-1094. Авт.: С.Г.Панкина, В.Д.Мехтиева, В.А.Гриненко, М.Н.Чурмантеева.

26. Изотопы гелия в газах гидротерм Исландии. - ДАН СССР, 1974, т.217, № 1, с.172-175. Авт.: В.И.Кононов, Б.А.Мамырин, В.Г.Поляк, Л.В.Хабарин.

27. Изучение и использование глубинного тепла Земли / Под ред. Ф.А.Макаренко. М., Наука, 1973, 316 с.

28. Исландия и срединно-океанический хребет. Глубинное строение, сейсмичность, геотермия / Отв. ред. В.В.Белоусов, А.В.Горячев. М., Наука, 1977, 196 с.

29. Крайнов С.Г., Петрова И.Г. Фтороносные подземные воды, их геохимические особенности и влияние на биогеохимические процессы. - Геохимия, 1976, № 10, с.1533-1541.

30. Компоненты верхней мантии Земли в газах Камчатки. - Геохимия, 1976, № 5, с.682-695. Авт.: И.Л.Каменский, В.А.Лобков, Э.М.Прасолов, Н.С.Бескровный, Е.И.Кудрявцева, Г.С.Ануфриев, В.П.Павлов.

31. Личков Б.Л. К основам современной теории Земли. Л., изд. ЛГУ, 1985, 120 с.

32. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, Наука, 1974, 166 с.

33. Мавринский Б.Ф. Термальные воды складчатых и платформенных областей СССР. М., Наука, 1971, 242 с.

34. Матвеева Э.С., Толстихин И.Н., Якуцени В.П. Изотопно-гелиевый критерий происхождения газов и выявления зон неотектогенеза (на примере Кавказа). - Геохимия, 1978, № 3, с.307-317.

35. Минеральные воды СССР. Пояснительная записка к карте минеральных вод СССР масштаба 1:4000000. Под ред. В.В.Иванова. М., изд. ЦНИИКиФ, 1974, 324 с.

36. Наливкин Д.В. Из истории геологических проблем. - Зап. ЛГИ, т.67, вып.2, 1974, с.3-9.

37. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды. Л., Недра, 1977, 240 с.

38. Посохов Е.В. Формирование хлоридных вод гидросферы. Л., Гидрометеоиздат, 1977, 248 с.

39. Природные изотопы гидросферы / Под ред. В.И.Ферронского. М., Недра, 1975, 187 с.

40. Проблема глубинного происхождения термальных подземных вод в свете современной информации о глубинной гидросфере. - Изв. АН СССР. Сер. геолог., 1972, № 8, с.113-123. Авт.: А.И.Германов, Б.Ф.Мавринский, К.Е.Питьева, В.А.Поляков, Ю.Б.Селецкий, В.М.Швец.

41. Пущаровский Ю.М. Тектонические движения в океанах. – Геотектоника, 1978, № 1, с.3-18.

42. Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л., изд-во ЛГУ, 1977, 360 с.

43. Стовас М.В. Опыт математического анализа тектонических процессов, вызываемых изменениями фигуры Земли. Автореф. докт. дисс. Л., изд. ЛГИ, 1951; 37 с.

44. Толстихин И.Н. Изотопы гелия в природе. Автореф. докт. дисс. М., изд. Ин-та геохимии и аналитич. химии им. В.И.Вернадского, 1975, 51 с.

45. Толстихин Н.И. О поясах артезианских бассейнов Земли. – В кн.: Д-ды отделений и комиссий. Л., изд. ГО СССР, 1969, вып. 14, с. 6-9.

46. Толстихин Н.И., Толстихин О.Н. Природные воды Земли и криосфера. – В кн.: Вопросы криологии Земли. М., Наука, 1976, с. 11-22.

47. Трофимук А.Л. Стратегия научного наступления. – Коммунист, 1977, № 18, с.41-44.

48. Уклонский А.С., Глущенко В.М., Крайнова Л.Н. Изотопный состав вод Узбекистана. Ташкент, Наука, 1965, 32 с.

49. Физико-географический атлас мира. М., изд. Глав. упр. геодезии и картографии ГГК СССР, 1964, 298 с. карт.

50. Craig H., Gordon L. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphera. – In: Stable isotopes in oceanographie studies and paleotemperatures. Spoleto, 1965, p.9-130.

51. Tolstikhin I.N. A Review: Sonne Recent Advances in Isotope Geochemistry of Light Rare Gases Advances in Earth and Planetary Sciences, edit by M.Ozima, C.Alexander. Tokyo, Japan, 1978, p.33-62.