

УДК 551.243+551.2

Кендирбаева Дж.Ж.
*Институт сейсмологии НАН КР,
г.Бишкек, Кыргызстан*

ОБ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССАХ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПРАКТИКИ И ЗНАНИЙ

Аннотация: На основе глубокого анализа существующих представлений о результатах исследований, направленных на прогноз землетрясений, приводятся сведения о физико-химических процессах, участвующих в изменениях параметров в водной среде в периоды активизации сейсмичности. Это позволит объективизации раскрытия механизмов возникновения скачкообразных изменений в термоминеральных водах (ТМВ) Кыргызстана. На эту часть проблемы прогноза землетрясений сотрудники лаборатории геохимических и гидродинамических методов прогноза землетрясений обращают серьезное внимание, т.к. выяснение реальных процессов, за счёт которых формируются аномалии в гидрогеологическом мониторинге, приведёт к научно обоснованному выбору расширения сети мониторинга.

Ключевые слова: Подземная гидросфера, геохимические процессы, периоды подготовки, во время и после землетрясений, диффузии и конвекции, растворимость пород и минералов, кристаллизация солей и сорбция, воспроизводство и поглощение, добавление или удаление, физические аспекты, катионы и анионы.

ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮ БОЖОМОЛДОО МАКСАТТАРЫНДА ГИДРОГЕОХИМИЯЛЫК ӨЗГӨРҮҮЛӨРДҮ ЧЕЧМЕЛӨӨНҮН НЕГИЗГИ ПРОЦЕССТЕРИ

Кыскача мазмуну: Жер титирөөлөрдү божомолдоого багытталган изилдөөлөрдүн жыйынтыктары тууралуу колдо болгон элестетүүлөрдү терең талдоого алуунун негизинде сейсмикалуулукту активдештирүү мезгилдеринде суу чөйрөсүндөгү параметрлерди өзгөртүүгө катышкан физика-химиялык процесстер тууралуу маалыматтар келтирилет. Бул Кыргызстандын термоминералдык сууларындагы олку-солку өзгөрүүлөрдүн пайда болуу механизмдерин ачып берүүнү объективдештирүүгө мүмкүндүк берет. Жер титирөөлөрдү божомолдоо проблемаларынын ушул бөлүгүнө карата жер титирөөлөрдү божомолдоонун геохимиялык жана гидродинамикалык методдору лабораториясынын кызматкерлери олуттуу көңүл бурушат, анткени гидрогеологиялык мониторингтеги аномалиялардын эсебинен реалдуу процесстерди аныктоо мониторинг түйүнүн кеңейтүүнүн илимий негизделген тандоосуна алып келет.

Негизги сөздөр: жер алдындагы гидросфера, геохимиялык процесстер, даярдоо мезгилдери, жер титирөө маалында жана андан кийин, диффузиялар жана конвекциялар, тектердин жана минералдардын эрип кетүүсү, туздардын кристаллдашуусу жана сорбция, өндүрүү жана жутуп алуу, кошуу же өчүрүп салуу, физикалык аспектер, катиондор жана аниондор.

ABOUT THE BASIC PROCESSES FOR INTERPRETATION OF HYDROGEOCHEMICAL CHANGES FOR THE EARTHQUAKE PREDICTIONS: THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF PRACTICE AND KNOWLEDGE

Abstract : On the basis of the deep analysis of existing representations about investigation results directed on the earthquake predictions, data on the physical and chemical processes participating in changes of parameters in the water environment during the periods of seismicity activation are presented. It will allow understand the mechanisms of spasmodic changes occurrence in thermomineral waters (TMB) in the Kyrgyzstan. This part of a problem of the earthquake prediction is most actual for laboratory's employees, as a finding-out of real processes caused the anomalies in hydro-geological monitoring, will allow to define the optimal places for observational network extension.

Keywords: underground hydrosphere, geochemical processes, periods of preparation, during and after the earthquake, diffusion and convection, the solubility of rocks and minerals, salt crystallization and adsorption, absorption and reproduction, adding or removing, physical aspects, cations and anions.

Гидрогеологические показатели территорий Кыргызстана широко используются для решения как фундаментальных, так и прикладных задач, например, исследуя особенности карста и химической денудации пород, выделяются не только рост и состав сталактитов, сталагмитов и других натёчностей, но и этажность отложений за определённые этапы движения тектонических блоков, а по древним и современным образованиям вокруг минеральных источников - по травертинам и гейзеритам, судят о положении их выходов в прошлом, тогда как по наледям - о направленности эрозионной деятельности рек, что, в конечном итоге, закладывает основу реконструкции о палеорежиме земной коры. Также, в последнее время, установлено, что подземные воды могут служить источником информации о готовящихся землетрясениях, поскольку они содержат растворы газов и элементов, отдельные из которых имеют глубинную природу.

В качестве примера можно привести изменения в подземной гидросфере, фиксируемые до и после землетрясений, проявляясь за несколько лет (долгосрочный) и месяцев (среднесрочный), дней и часов (краткосрочный), переходят иногда из одной группы в другую, формируясь в позднюю фазу. Ещё известны подобные аномалии за сотни тысяч километров от эпицентра землетрясений. В то же время [16], исходя из сосредоточенности хлоридных вод, содержащих высокие концентрации рубидия, цезия и лития, к сейсмоактивным регионам, для прогноза землетрясений предлагают отношения Na/K , Na/Li , K/Cs и Rb/Cs , т.к. считают решающим при активизации накопление K и Li по отношению к Na , Cs - к K и Rb .

При этом данные по многим сейсмоактивным регионам нашей планеты, в том числе Кыргызстана, говорят о неоднородной сложности характера, контрастности и длительности проявления этих всплесков, причём для них нередко источником предполагают очаговую область сейсмичности [1-13].

Предварительные расчёты не позволяют надёжно прогнозировать сильные землетрясения, несмотря на достаточно хорошую согласованность с ними концентраций газов, особенно гелия, углерода и радона, а также изотопных отношений некоторых элементов, в связи с чем закономерно возникает вопрос: у этих компонентов какая концентрация должна быть в очаговой зоне, чтобы в наблюдательном пункте превышала в 2-3 раза многолетний фон, а также с какой скоростью они должны мигрировать, чтобы преодолеть путь в 15-20 км, тем более необходимо учесть, что нарушение химического равновесия в содержаниях одного иона повлечёт за собой изменение другого?

Поэтому в этой работе для раскрытия механизмов гидрогеохимических аномалий, о природе формирования которых научно-практические дискуссии набирают высокие темпы,

рассматриваются основные физико-химические процессы, происходящие с участием воды. Для этого сегодня в нашей лаборатории с использованием программы МЕЗОЗАВР-ПРОГНОЗ, версия-1.2 выделяются все режимобразующие факторы, оказывающие влияние на изменение физико-химических показателей термоминеральных вод (ТМВ) Кыргызстана, а также Алма-Атинского прогностического полигона Казахстана, предоставляющего информации в соответствии с Межгосударственным научным соглашением, составленным между нашими государствами. Так, сущность обработки режимных данных о ТМВ с помощью этой программы заключается в вычислении среднеквадратичного отклонения ($\pm \hat{\delta}$) от устойчивого фонового значения (x_1), дисперсии (S) определяемых ионов - хлора, карбонатов, гидрокарбонатов, углекислого газа, кальция, магния, в т. ч. температуры, избыточного давления и уровня ТМВ, а также подземных вод неглубоко залегающих водоносных горизонтов. Нормируются их временные ряды для расчёта доверительного интервала ($\pm 2\hat{\delta}$) по скользящим окнам 30 и 365 и более суток, т.е. по месяцам, в годовом и многолетнем разрезах.

Нами, в качестве теоретической основы объяснения природы гидрогеохимических аномалий, принято представление о пульсирующем дыхании Земли и теория отражения, а экспертная оценка объективности подхода по идентификации полезного сигнала проверяется сопоставлением с результатами аналогичных работ, полученных в других регионах земли. Это обусловлено тем, что объектами наблюдений являются термоминеральные (ТМВ) воды, рассматриваемые как одна из тенденций внешнего проявления тектоники, циркулируют в водоносных горизонтах и трещинах разного возраста и происхождения, представляя собой в то же время единую и сложно построенную вещественную структуру в земной коре.

Перенос вещества - массоперенос в природных водах с химической позиции обязан, главным образом, диффузионным и конвективным процессам. Первый, перераспределяющий ионы до выравнивания концентрации, характерен для водоёмов, озёр, морей и океанов, благодаря процессам баро- и термодиффузии. Сущность бародиффузии заключается в разделении ионов по молекулярному весу: тяжёлые молекулы занимают их нижние части, а по термодиффузии они диффундируют в холодные зоны. В то же время, в водах верхней части бассейна, несмотря на малые градиенты гравитационных и термических полей, как видно из рисунка 1, прослеживается сезонная неустойчивость.

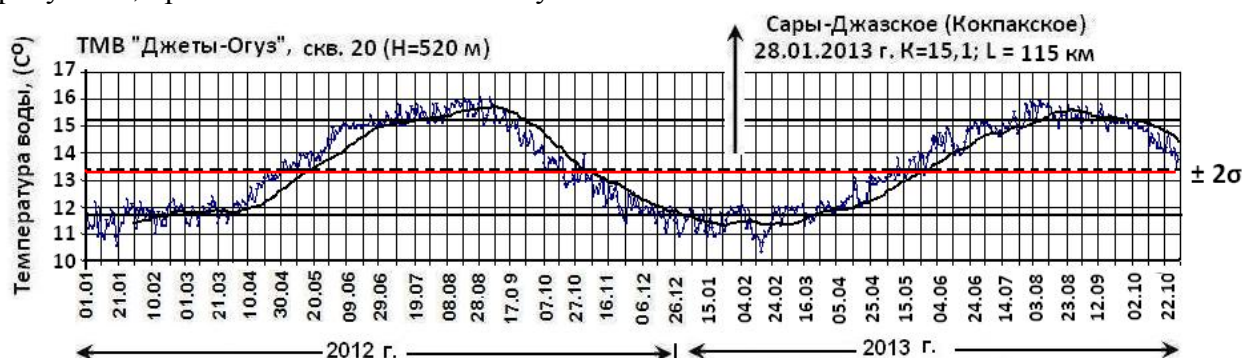


Рисунок 1. Изменение температуры ТМВ «Джеты-Огуз» в зависимости от сезонности и сейсмической активизации

Конвекция происходит в подвижной среде при естественном и вынужденном режиме. В первом случае она связана с градиентом температуры, приводящим к изменению плотности воды. Так, по термограммам обнаружено увеличение её температуры с глубиной, из-за чего зимой тяжёлые ионы погружаются на дно, тогда как в высокопроницаемых и сильно трещиноватых разрезах непрерывно происходят активные движения холодных вод сверху-вниз и снизу-вверх нагретых струй. Это вынужденная конвекция, когда за счёт градиента гидростатического напора в инфильтрационных системах образуется

горизонтальность их уровней, а из уплотняющихся геологических образований в элизионных системах выжимаются растворы с различными положениями уровней.

Итак, к ним относятся эффекты разбавления растворов, связанные с сезонными и климатическими колебаниями, приливные процессы (лунно-солнечные фазы) и, наконец, суточные колебания давления и температуры воздуха. Классический пример смешения вод имеет вид уравнения прямой: $Y = ax + b$, о чем в 1923 году описал Огильви А.Н., т.е. пресная и минерализованная вода, смешиваясь, образует множество по химическому составу промежуточных вод. Действительно, физико-геохимические различия источников «Тескейской гидротермальной линии», по данным [15] объясняются смешением гидротерм, идущих с глубин, в местах разгрузки с русловыми потоками. ТМВ Алтын-Арашан с тремя выходами, разгружающиеся на абсолютных отметках от 1950 до 2650м, уникальны по своим физико-химическим параметрам, в зависимости от гидролого-географического положения выходов. Так, для северной группы, выклинивающейся практически в пойме р. Арашан на высоте 1900-2000 м, характерны значения рН среды, равные 7.8-8.0 и Eh- от +200 +150мВ при температуре 33-35.5⁰С, и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый состав; для средней, тяготеющей к высоте 2200-2300 м и занимающей около 200-250 м² площади, свойственны хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатный натриевый состав и 50-50.5⁰С, высокая щелочность среды (рН= 9.0-9.5) и переходные условия разгрузки (от 0 до +100 мВ), тогда как южная, включающая около 3-4 одиночных родников имеет температуру 56.5⁰С, сульфатно-хлоридный натриевый состав и отдалена от поймы на 300-400 м (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика микрокомпонентного состава ТМВ Алтын-Арашан

Микроэлементы (мкг/л)	Участки ТМВ Алтын-Арашан		
	Средний	Северный 1	Северный -2
Бор	0,43	0,43	0,02
Фтор	16	16	4,0
Йод	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1
Бром	менее 0,1	менее 0,1	менее 0,1
Литий	0,28	0,21	0,16
Рубидий	0,03	0,06	0,04
Цезий	0,04	0,12	0,01
Молибден	0,004	0,003	0,002
Бериллий	0,0001	0,0002	0,0001
Сурьма	0,002	0,001	0,001
Мышьяк	0,006	0,001	0,002
Цинк	0,015	0,004	0,002
Серебро	0,001	0,001	0,0005
Медь	0,002	0,002	0,002
Вольфрам	0,015	0,02	не обн.

Сказанное выше имеет реальную основу, т.к. за счёт увеличения энергии упругих напряжений открываются новые и закрываются старые трещины, по которым интенсифицируются, с одной стороны, массоперенос из твёрдой фазы в раствор и, наоборот, вывод из них, а с другой - воспроизводство и поглощение растворённых элементов через добавление и удаление молекул самой воды. Все эти процессы, конечно, вызывают изменение в химическом составе подземных вод: последовательный переход от гидрокарбонатных и сульфатных к хлоридным называется прямой метаморфизацией, а если в обратном

направлении - инверсионной. К первой относятся процессы растворения и выщелачивания вмещающих образований, среди которых выделяется конгруэнтность, когда вещество полностью переходит из твёрдой фазы в водную среду (NaCl и MgSO₄, CaCO₃ и Na₂CO₃ и др.), а с трудно растворимыми представителями - силикатами и боратами (инконгруэнтный процесс) связаны как отрыв ионов молекулами воды, так и химическое взаимодействие с твёрдой фазой. Этот процесс называется гидролизом, т.е. разложение вещества водой с образованием на её поверхности новых соединений. Например, при растворении галита (NaCl) проявляется конгруэнтное свойство, поскольку раствор становится полностью хлоридным натрием, а с полевым шпатом (KAl₃O₈) связано инконгруэнтное качество, т.к. химическая реакция, протекая по схеме: $4 KAl_3O_8 + 14H_2O = Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 + KOH + 8H_2SiO_3$, приводит к различному геохимическому облику.

В артезианских бассейнах со сложными по минерализации водами при совместном их воздействии перенос вещества осуществляется конвективной диффузией, т.е. гидравлической дисперсией за счёт напорного и концентрационного градиентов, тогда как в глубоких зонах он протекает при высоких Р-Т условиях с участием вмещающих пород. Это усиливается и ослабляется степенью растворения вмещающих пород, о чем свидетельствует вторичная известковистость, загипсованность и засоленность в разрезах осадочных горизонтов, что, по нашему мнению, формируется следующим образом. В системе «вода+порода» широко распространено растворение минералов и выщелачивание горных пород, где непрерывно происходит активный водообмен, т.е. по системам разломов внедряются компоненты, формируя «азональные» гидрогеохимические поля относительно фона, не свойственного для конкретной литолого-минералогической разности. Например, скрытая разгрузка рассолов в грунтовые воды не только увеличивает их минерализацию и химический состав, но и изменяет практически все параметры. Вот конкретный пример.

Главными минералами фтора являются флюорит (CaF₂) и вилиомит (NaF), силиит (MgF₂), гераксудит (Ca[Al(FOH)₅H₂O]), но их растворимость зависит не только от ионов водорода и гидроксилон (CaF_{2(ТВ)} + 2H⁺ = Ca²⁺ + 2HF; CaF_{2(ТВ)} + OH⁻ = CaOH + 2F⁻), но и от наличия алюминия, который встречается в кислой среде с основными катионами (CaF_{2(ТВ)} + Al³⁺ = AlF₂ + Ca²⁺) (рисунок 2).

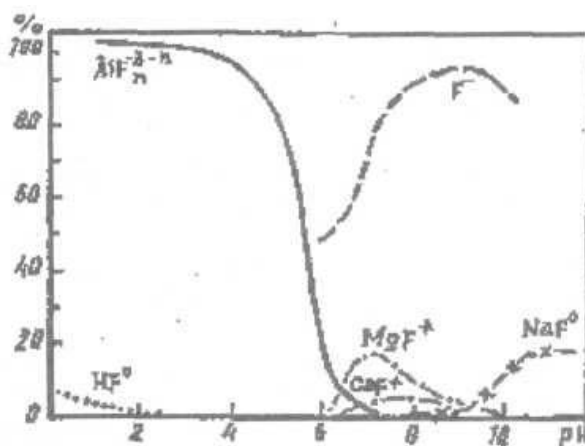


Рисунок 2. Миграционные формы фтора в подземных водах в зависимости от pH среды

Подземные воды с повышенным содержанием фтора встречаются в глубоких горизонтах, обладающих высокими градиентами температуры, а основной его формой миграции служат соединения, имеющие высокую устойчивость и разлагающиеся в щелочных средах. Его свойство как универсального иона определяется широким спектром химических процессов в системе «вода-порода», в связи с чем его содержание зависит не только от

одноименных ионов или их ионной силы, но и от растворимости фторсодержащих минералов, т.к. с помощью элементов-комплексообразователей фтор увеличивается: чем комплексное соединение устойчивее, тем он интенсивнее переходит в воду.

Как отмечают [17], для фтора основной средой являются пластовые гидрокарбонатные натриево-кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, гидрокарбонатные магниевые, сульфатные натриевые и натриево-кальциевые воды в осадочных отложениях, а также трещинно-жильные гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатно-гидрокарбонатные натриевые воды в изверженных и метаморфических породах.

На территории Кыргызстана повышенные концентрации фтора связаны со щелочными азотными термами, широко распространёнными в кристаллических массивах, так и в отдельных глубоких горизонтах межгорных впадин (таблица 2).

Таблица 2

Содержание фтора в термоминеральных водах Кыргызстана

Типы гидрогеологических структур	Вмещающие породы и их возраст	Виды водопунктов и интервал глубин, м	Содержание фтора, мг/л	Типичные представители
Гидрогеологические массивы	Гранитоиды (O ₂ -S ₁), метаморфические сланцы палеозоя (PZ)	Родники, скважины от 150 до 2300	от 8,0 до 16	Аксуу, Алтын-Арашан, Ысык-Ата, Аламедин, Арча-Бешик, Джуукучак
Межгорные артезианские бассейны	Конгломераты, песчаники, алевролиты N ₂ , кристаллические породы (PZ)	Родники, скважины 1500- 4300	От 9.2 до 12-17,2	Майлуу- Суу, Кара-Ой, Кош-Кель, Балыкчы, Бишкек, Уч-Кайнар, Красный-Пахарь

К этому необходимо добавить, что отличительной чертой фтора является малая растворимость его кальциевых солей и верхний предел контролируется соотношением Na/Ca. Действительно, при высокой растворимости CaCl₂, CaBr₂ и CaI₂ таковая CaF₂ минимальна (ПР_{CaF₂} n 10⁻¹¹). Вследствие высокой растворимости NaF (при 20⁰ 428 г/кг), натриевые воды всегда им недонасыщены, причём количество F⁻ находится в закономерной связи с геолого-тектоническими условиями структур при подчиненной роли литолого-фациальной представленности вмещающей среды, подтверждая глубинность механизма формирования его концентрационных признаков.

Итак, выход отдельных соединений из вмещающих образований свидетельствует об их избирательной реакции: так, песчаники с галитовыми включениями, отдав хлориды натрия в раствор, с одной стороны, становятся лессовидным суглинком, а с другой - на поверхности разрушения образуют каолинит с содержанием H₂, отсутствующего в составе полевого шпата. Поэтому разложение молекулы воды и поглощение из неё ионов определяются химическим составом и минерализацией, скоростью фильтрации, температурой и величиной напора подземных вод, циркулирующих в них. Это активизируется, благодаря наличию кислорода и углекислого газа. Так, первый в водах вызывает окисление сульфатов, а за счёт сернистого выщелачивания образуются сульфатные натриевые воды, содержащие, тогда

как углекислый газ, активизирующий переход вещества из алюмосиликатов в терригенных образованиях, формирует гидрокарбонатные воды, в которых HCO_3^- появляются при соединении OH^- с CO_2 .

Классическим примером этого является процесс галогенеза, благодаря чему последовательно осаждаются CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и Cl^- -ных минералов, а одной из причин служит снижение пластового давления в зонах тектонических разломов, влекущее за собой смешение разных по химическому составу вод, а также нарушение кислотно-щелочных условий и окислительно-восстановительного потенциала. Так, в допалеозойских образованиях хр. Тескей Ала-Тоо выявлены катагенетические гипс и кварц, ангидрит и галит, непосредственно сформированные в водной среде, о чем свидетельствуют временные ряды скв. 6 и 20 ТМВ «Джеты-Огуз». Это наглядно иллюстрирует, с одной стороны, непрерывность процессов карбонатизации в известняках и доломитах карбона, представляющих собой не только пути фильтрации вод, но и условия обмена компонентами, а с другой - вмещающую среду для вывода ионов в результате изменения рН-Eh обстановки, т.к. при достижении верхнего предела насыщения выпадает карбонат кальция. Поэтому в их порах, кавернах и трещинах наблюдается вторичное минералообразование при участии воды, контактное равновесие в химическом составе и минерализации которых нарушается, например, при сейсмической активизации (рисунок 3).

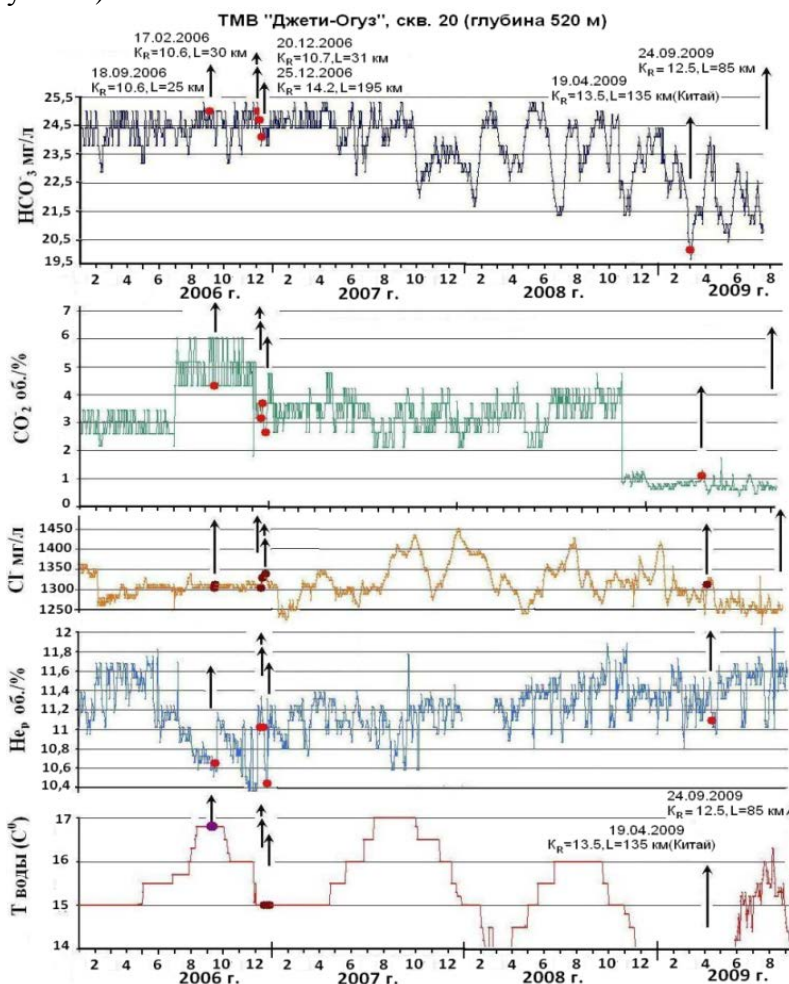


Рисунок 3. Вариационные кривые временных рядов скв. 20. ТМВ «Джеты-Огуз».

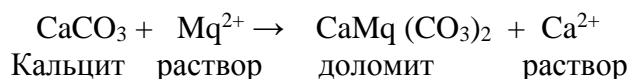
Ионы натрия и гидрокарбонатов, являясь свободными, а их соединения хорошо растворимыми в воде, встречаются повсеместно в ТМВ Кыргызстана, особенно в зонах разломов. При этом их амплитуды колебания на региональном уровне проявляются контрастнее, чем сульфата, кальция и магния, которые, активно участвуя в выпадении

соединений, могут дать локальную информацию, т.е. о структурных блоках, охваченных эпицентрными зонами.

Сорбция - самопроизвольное сгущение растворённого и газообразного вещества вблизи твёрдой фазы в результате поглощения его из раствора. Различают адсорбцию, осуществляемую только поверхностью, и абсорбцию, происходящую во всём объёме твёрдой фазы. Активными сорбентами являются соединения, сложенные коллоидными частицами, с удельной поверхностью, приблизительно равной $100\text{ м}^2/\text{г}$. Это глины и органические вещества - торф, уголь и гумус. В первом случае твёрдой фазой поглощаются катионы и анионы, а во втором - молекулы, например, газов. С его помощью из подземных вод извлекают редкие элементы, вывод которых затруднен кристаллизацией, тем более в недрах практически отсутствуют растворы, насыщенные калием и литием, рубидием и барием, медью и свинцом, цинком и кобальтом.

К процессам, сочетающим **воспроизводство и поглощение** растворённого вещества, относятся ионный обмен (обменная сорбция) и метасоматическое замещение, окислительно-восстановительные и биохимические реакции, а также радиоактивный распад. За счёт ионного обмена сорбируемые элементы из воды заменяются другими из горных пород. Поэтому разделяют абсорбционный и адсорбционный обмен. В первом случае ионы называются поглощённым комплексом, поскольку они находятся на поверхности адсорбента. К ним относятся глинистые минералы с различной обменной способностью. Так, монтмориллонит обладает высокой обменной способностью, тогда как каолинит - на порядок меньше. Поскольку эти минералы характеризуются отрицательным зарядом и обмениваются лишь катионами, то интенсивность поглощения, определяемая валентностью и радиусом заряда, измеряется в мг-экв/100г и регулируется ёмкостью поглощения горных пород по следующей схеме: $\text{K}^+ \rightarrow \text{Na}^+ \rightarrow \text{Li}^+ \rightarrow \text{Sr}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$.

На формирование химического состава подземных вод оказывает существенное влияние и метасоматическое замещение - обменная абсорбция: катионы горных пород замещаются другими катионами раствора, сопровождаясь перестройкой структуры минерала и горных пород, в отличие от обменной адсорбции, когда минералогический состав твёрдой фазы сохраняется. Примером этого является доломитизация известняка: часть иона



кальция переходит в воды, место которого занимают ионы магния из неё, в результате чего кальцит превращается в доломит.

Окислительно-восстановительные и биогеохимические реакции являются наиболее важными в преобразовании химического состава подземных вод. Нередко окисление или восстановление происходит с участием органического вещества, т.к. последнее, в большинстве случаев, является питательной средой. Поэтому приведём восстановление сульфатного кальция: $\text{CaSO}_4 + 2\text{C}_{\text{орг.}} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S}$, согласно которой с уменьшением сульфатных ионов появляются гидрокарбонаты.

Радиолиз воды вызывает появление и удаление из неё радиогенных продуктов. Роль этого процесса в формировании газового и изотопного состава подземных вод велика, т.к. в них появляются радон, гелий и аргон, а также разлагаются молекулы воды на H_2 и O_2 . Именно фиксация кислорода в водах глубоких горизонтов обязана этой реакции.

Добавление и удаление H_2 и O_2 связано с изменением концентрации ионов, приводящей к полной перестройке их химического состава. Это гидратация и дегидратация минералов, подземное испарение и вымораживание, мембранные эффекты. Если в вопросах генезиса подземных вод имеет место дегидратация - выделение из минералов кристаллизационной и конституционной, т.е. химически связанной воды, то для верхней части земной коры, в большинстве случаев, характерна гидратация, о чем может свидетельствовать различное

количество воды в минералах. Так, содержание воды в гипсе составляет (%) до 21, в монтмориллоните - до 24, а в соде превышает 60. Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что осадочный слой Кыргызского Тянь-Шаня, широко представленный сульфатными горными породами, сложен ниже глубин 1-1.5 км ангидритом (CaSO_4), сменяющимся выше гипсом ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Проще говоря, в сейсмически спокойные периоды на них оказывают влияние внешние явления атмосфера, вода и минералы, на которые при сейсмической активизации накладывается отпечаток нарастающее напряжение, а протекающие процессы в них контролируются физико-химическими свойствами элементов и их соединений, обусловленными формой миграции и степенью подвижности (таблица 3).

Таблица 3

Формы миграции и миграционная способность элементов и их соединений в воде

Формы миграции ионов	Миграционная способность, мол. %	Формы миграции ионов	Миграционная способность, мол. %	Формы миграции ионов	Миграционная способность, мол. %
Ca^{2+}	65-98	Mg^{2+}	63-98	Na^+	94-100
CaCO_3^0	0,01-5	MgCO_3^0	0,01-5	NaSO_4^-	≤ 5
CaSO_4^0	0,01-25	MgSO_4^0	0,1-25	NaHCO_3^-	≤ 5
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)^0$	0,01-1	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)^0$	0,01-1	NaCO_3^-	≤ 5
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)^+$	0,1-2	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)^+$	0,1-1	Na_2SO_4	≤ 5
$\text{Ca}(\text{SO}_4)_2^{2-}$	0,1-2	MgSO_4	0,1-5		
HCO_3^-	60-98	CO_3^{2-}	80-98	SO_4^{2-}	93-95

Таким образом, на основе вышеизложенного материала заключаем, что механизм формирования и развития гидрогеохимических аномалий осложнено из-за многофазности объектов - ТМВ, в которых всплески отражает результат взаимодействия двух и более сред, существенно различающихся по реакции к физико-химическим процессам.

Литература

1. Оролбаев Э.Э. Влияние Сарыкамышского землетрясения на режим Джеты-Огузского месторождения ТМВ. – Деп. ВИНТИ, 3 3356-82, 1982, 13 с.
2. Комиссаров В.В. Исследования процессов миграции гелия в водах разломов в связи с прогнозом землетрясений // Гидрогеохимические и гидрогеодинамические исследования на прогностических полигонах Киргизии. Фрунзе: Илим, 1988. – С. 78-95.
3. Гребенникова В.В. Гидрогеохимические и гидрогеодинамические исследования с целью прогноза землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня. Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума, 2-4 июня 2010 г. Алматы, Казахстан, 2010. – С. 151-155.
4. Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. Основные результаты гидрогеологических исследований для прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня. Вестник Института сейсмологии НАН КР.-2013.-№2. интернет-журн. URL: http://www.journal.seismo.kg/archive/journal_2013-2/article5.pdf
5. Милькис М.Р. Гидрогеологические предвестники Ашхабадского землетрясения 1948 г. // Гидрогеодинамические предвестники землетрясений. М.: Наука, 1984. 76-94.
6. Гидрогеохимические предвестники землетрясений. М.: Наука, 1985. 216 с.

7. Прогноз землетрясений №3, 1983. Душанбе: Дониш, 1985. 286 с.
8. Вартамян Г.С., Бредехоефт Дж.Д., Роуэллоффс Э. Гидрогеологические методы исследования тектонических напряжений //Советская геология, №9, 1991. – С. 3-12.
9. Киссин И.Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры //Физика Земли, 1993, №8. – С. 59-69.
10. Войтов Г.И., Юнусов Ш.С. Изотопно-углеродный предвестник сильных тектонических землетрясений //Доклады РАН, 1996, т. 346, №3. – С. 392-395.
11. Киссин И.Г. Флюдонасыщенность земной коры, электропроводность и сейсмичность //Физика Земли, 1996, №4. – С. 30-40.
12. Кальметьева З.А., Гребенникова В.В, Мусиенко Е.В. Поле напряжений Киргизского Тянь-Шаня //Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. Сб. мат-лов 2 Междунар. Симп. Москва-Бишкек: Изд. Дом «Printhouse», 2003. – С. 233-240.
13. Оролбаев Э.Э. Гидрогеологическая скважина как объёмный деформограф //Мат-лы 1X научной конференции молодых ученых АН Кирг. ССР. Фрунзе, 1988. – С.138-139.
14. Абдуллаев А.У., Кайев Ю.А., Гребенникова В.В. О связи химического состава самоизливающихся подземных вод с режимом эксплуатации скважин в сейсмоактивных районах //Inland Earthquake. Urumqi, Vol. 18, №4, 1991, p. 629-632.
15. Иманкулов Б.И., Кендирбаева Дж.Ж., Кожакова Н.Т. Разломная гидрогеологическая система Кыргызского Тянь-Шаня как отражение эндогенных и экзогенных факторов //Известия НАН РК, № 2. Алматы. 2006. С.44-45.
16. Крайнов С.Р. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1988. С. 172-191.
17. Матыченков В.Е., Иманкулов Б. Минеральные воды Киргизии. Фрунзе: Илим, 1987. Стр. 235.
18. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. Л.: Гидрометеиздат. 1981. Стр. 334.