



УДК:556.31.314.550.84.543.27

Мираббас ЗАКИРОВ,

Профессора Ташкентского государственного технического университета, д.г.-м.н

E-mail: mzakirov1957@mail.ru, ORCID:0000-0001-9572-6661

На основе рецензии К.М.Джаксымуратова, д.г.-м.н. (DSc), профессора Каракалпакского государственного университета

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТВОРЁННЫХ ГАЗОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИТАШКЕНТСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА

Аннотация

В статье рассматриваются закономерности формирования и миграции растворённых газов в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна. Показано, что геолого-тектоническая активность территории обуславливает вариации газового состава подземных вод, а возникающие газовые аномалии могут рассматриваться как гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений. Концентрации растворённых газов определялись на основе комплекса полевых и лабораторных исследований, включающих опробование скважин, натурные измерения и анализ газового состава. Выделены фоновые газовые аномалии, не связанные с сейсмичностью, характеризующиеся постепенным увеличением концентраций от областей питания к зонам погружения водоносных горизонтов. Установленные закономерности позволяют более корректно интерпретировать газовые вариации, связанные с сейсмическими событиями.

Ключевые слова: подземные воды, растворённые газы, вариации газов, миграция газов, разломы, сейсмическая активность, землетрясения, гидрогеосейсмологические предвестники.

TOSHKENTOLDI ARTEZIAN HAVZASI YER OSTI SUVLARIDA ERIGAN GAZLARNING SHAKLLANISH QONUNIYATLARI

Аннотация

Maqolada Toshkentoldi artesian havzasi yer osti suvlarida erigan gazlarning shakllanishi va migratsiyasi qonuniyatlari yoritilgan. Hududning geologik-tektonik faolligi yer osti suvlarining gaz tarkibida konsentratsiya o'zgarishlariga sabab bo'lishi, hosil bo'ladigan gaz anomaliyalari esa zilzilalarning gidroseismologik oldindan xabar beruvchi belgilaridan biri sifatida qaralishi ko'rsatilgan. Erigan gazlar konsentratsiyasi quduqlardan namuna olish, joyida o'lchash va laboratoriya tahlillarini o'z ichiga olgan kompleks tadqiqotlar asosida aniqlandi. Seysmiklik bilan bog'liq bo'lmagan fon gaz anomaliyalari aniqlanib, ular oziqlanish hududlaridan suvli qatlamlarning chuqurlashish zonalariga tomon gaz konsentratsiyalarining bosqichma-bosqich ortib borishi bilan tavsiflandi. Aniqlangan qonuniyatlar seysmik hodisalar bilan bog'liq gaz o'zgarishlarini to'g'ri talqin qilish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: yer osti suvlari, erigan gazlar, gaz variatsiyalari, gaz migratsiyasi, yoriqlar, seysmik faollik, zilzilalar, gidroseismologik oldindan xabar beruvchi belgilar.

REGULARITIES OF DISSOLVED GAS FORMATION IN GROUNDWATER OF THE PRE-TASHKENT ARTESIAN BASIN

Annotation

The paper examines the regularities of formation and migration of dissolved gases in groundwater of the Pre-Tashkent Artesian Basin. It is shown that geological and tectonic activity controls variations in groundwater gas composition, while the resulting gas anomalies may serve as hydrogeoseismological precursors of earthquakes.

Dissolved gas concentrations were determined using an integrated approach including well sampling, in situ measurements, and laboratory analyses. Background gas anomalies unrelated to seismicity were identified and are characterized by a gradual increase in concentrations from recharge areas toward zones of aquifer deepening. The established regularities provide a reliable basis for interpreting gas variations associated with seismic events.

Keywords: groundwater, dissolved gases, gas variations, gas migration, faults, seismic activity, earthquakes, hydrogeoseismological precursors.

Введение. У истоков изучения пространственного распространения гелия стояли В.П. Якуцени, И.Н. Яницкий и В.И. Башорин, позднее Ю.Б. Силантьев, И.Г. Киссин, Б.Р. Кусов, Р.М. Семенов, О.П. Смекалин, Г.А.Мавлянов, А.Н.Султанходжаев, Д.М.Закиров, Ш.С.Юсупов, М.М.Закиров и мн. др. Результатами их исследований явился отдельный раздел геологических изысканий – «гелиевая съемка», определяющая залежи углеводородов, зоны тектонических разломов и проведение мониторинговых наблюдений за АЭС и гидротехническими сооружениями [8].

Пульсационный характер миграции газов, связанный с тектонической активизацией, является актуальной задачей, способствующий изучению концентрации газового состава специализированными режимными наблюдениями для определения гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений.

Сложности выявления и объективной оценки гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений обусловлены слабой изученностью газо-химического состава подземных вод и недостаточным пониманием воздействий упругих

деформационных процессов подготовки землетрясений на газовый, изотопный состав подземных вод. Выявление гидрогеосейсмологических предвестников, необходимо исключить вариации газового состава, а именно гелия, в подземных водах, не связанные с сейсмической активностью. На практике можно определить фоновые вариации концентрации гелия в подземных водах и аномалии, выходящие за пределы интервалов фоновых концентраций, сопоставить с сейсмической активностью. Однако для прогностических целей не используются слабые аномалии, которые могут быть обусловлены подготовкой землетрясений. Не исключено также, что сильные аномалии невыясненной природы будут связываться с сейсмической активностью. Поэтому необходимо рассматривать влияние основных естественных и искусственных факторов, не связанных с сейсмической активностью, на газовый режим подземных вод в зонах с различной интенсивностью водообмена [8].

Большой вклад в развитие методологии исследований по проблеме прогноза землетрясений внесли учёные Узбекистана. В течение последних 50 лет сотрудниками Института сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз (А.Н. Султанходжаев, И.Г. Чернов, Ш.С. Юсупов, Ф.Г. Зиган, С.У. Латипов, Г.Ю. Азизов, Д.М. Закиров, Т.З. Закиров, Т.Л. Ибрагимова, Р.С. Зиявуллинов и др.) по поиску предвестников и прогноза землетрясений опубликованы научные труды, изобретения и научное открытие [8].

Методика исследований. Определение содержания концентрации газов включает: опробование скважин; лабораторные и полевые измерения содержания гелия в растворенном газе, в воде и сопоставление полученных данных с геолого-тектоническими условиями.

Результатами исследований явились традиционные методы, применяемые в гидрогеологических и гидрогеосейсмологических исследованиях, включающие полевое и лабораторное изучение газового состава подземных вод. При определении абсолютного содержания, растворенного газов в пробах, использовали прибор ИНГЕМ-1 и пробы обрабатывались хроматографическим методом на приборе газовый хроматограф Agilent Intuvo 9000.

Результаты исследований. В пространственном распределении значений $^3\text{He}/^4\text{He}$ на территории исследований наблюдаются заметные изменения. Самой яркой чертой распределения $^3\text{He}/^4\text{He}$ является значительное повышение этой величины в термоминеральных водах Юго-Восточных склонов Ферганского хребта, южных предгорий хребта Атбаши, а также предгорий хребта Заилийского Алатау. Но подчеркнём, что сейсмичность сама по себе не может привести к формированию повышенных значений $^3\text{He}/^4\text{He}$, так что, по-видимому, наличие на данных участках активных глубинных разломов лишь облегчает поступления к поверхности Земли повышенного содержания лёгкого изотопа гелия [8].

Это положение поддерживается накопленным к настоящему времени опытом в изучении вариаций во времени концентраций газовых параметров, а также наблюдениями за вариациями стабильных изотопов подземных вод ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в CO_2 , $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, D/H и $\delta^{18}\text{O}$ воды и др.) [8].

Результатами исследований режимных наблюдений определены значения газового состава подземных вод (CO_2 , He, H_2) и изотопный состав как самой воды (D/H, $\delta^{18}\text{O}$), так и $\delta^{13}\text{C}$ растворенных в ней CO_2 . Выявлены геохимические и изотопные аномалии, соответствующие периодам подготовки довольно сильного землетрясения с эпицентром в п. Назарбек, в 25 км от наблюдательного водопункта [8].

В момент схождения Назарбекского (11.12.1980 г.) землетрясения с $M = 5.3$, происшедшего непосредственно в исследуемом регионе, все геохимические и изотопные параметры варьируют в период подготовки указанного землетрясения. Отметим, что наряду с аномалией концентраций He и CO_2 на период Назарбекского землетрясения наблюдается также и аномалия в его изотопном составе. Причём, если для концентрации CO_2 аномалия представлена в виде двух пиков, то для величины $\delta^{13}\text{C}$ – только одним, по времени проявления совпадающим со вторым пиком CO_2 . Первый пик общего содержания углекислого газа, как считает автор [1, 2, 8], возможно, обусловлен начальными процессами подготовки землетрясения. В этот период колебания значений $\delta^{13}\text{C}$ были не очень велики. Второй пик CO_2 , коррелирующий с максимальными значениями $\delta^{13}\text{C}$, может быть связан с более интенсивным развитием упругих напряжений и соответствующих деформаций горных пород, с генерацией упругих волн, облегчающих поступление в воду более тяжёлой по изотопу ^{13}C углекислоты из карбонатов ($\delta^{13}\text{C} = -4,9 \div +5,6 \text{ ‰}$).

На территории исследований количественное и объёмное содержание гелия находится в пределах от 0,022 до 1,12 мл/л и от 0,014 до 1,6 об.%. Повышенное содержание гелия (до 1,12 мл/л и до 1,6 об.%), с одной стороны, объясняется сильной экранирующей способностью мощного осадочного чехла, в частности, глинистых и мергелистых отложений палеогена и палеоген-неогенового возраста, с другой – приуроченностью водопунктов к тектоническим разломам и ослабленным зонам.

Согласно геолого-тектоническим условиям, на исследуемых полигонах глубинные разломы затухают в большинстве случаев в юрских и верхнедевонских отложениях, где обнаружены повышенные концентрации гелия. Наиболее интенсивные из них расположены в пределах скв. в пос. Улугбек (1,8 об.%) и в скв. Хавотаг № 6 (1,6 об.%), № 8 (1,12 об.%). Максимальные значения концентрации гелия в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна приурочены к разрывным деформациям между Каржантауским поднятием и Чирчикско-Голодностепской синклиналиной зоной, а также к району Хавотагского участка в пределах одноименной Хавотагской структуры на периферии Приташкентского артезианского [8]. Палеозойский фундамент в этой части бассейна разбит серией разломов, обусловивших наличие зон аномальной проницаемости осадочной толщи для глубинных палеозойских вод, и поэтому здесь выявленные гелиевые аномалии указывают на продолжительное влияние глубинных разломов, на увеличение концентрации гелия.

В зоне затрудненного водообмена наибольшие значения в концентрации гелия отмечены в подземных водах водопунктов: Занги-ота, Ахмад Ясавий, Янгиюль, Кибрай, Ботаника и ДВС в пределах 0,13-0,3 об.%, 0,0023-0,0061 мл/л с температурой от 55 до 69°C. В водопунктах Янгиюль, Занги-ота концентрации гелия на глубине 1570-2000 м существенно выше, чем на тех же глубинах в водопунктах Назарбек и Институт овощебахчевых культур (ИОБК).

При наблюдаемом закономерном росте концентрации гелия как в объёмном проценте (об.%), так и в абсолютном содержании (мл/л) с глубиной в интервале 1600-1800 м происходит скачкообразное увеличение концентрации гелия. Это обусловлено наличием в разрезе мощной водоупорной толщи глинистых и мергелистых отложений палеогеновых и палеоген-неогеновых осадков, представляющих «ловушки» и затрудняющих водообмен подземных вод и миграцию гелия

к поверхности земли [8].

А-фактор близости источников α -излучений (граниты и массивы интрузивов) и наличия устойчивых палеозойских пород. Включает породы преимущественно высокогорной части обрамления Ферганской депрессии, Южный Тянь-Шань и Памир и верхней раздробленной части структуры Хавотаг на глубине 1800 м. К этому фактору отнесены водопункты в районе п. Хавотаг, высокогорные родники Южного Тянь-Шаня, Арашанбулак.

Подземные воды скв. Хавотаг находятся в южной части Приташкентского артезианского бассейна на одноименной структуре. На глубинах 1800-2100 м вскрыты в отложениях палеозоя трещинно-карстовые напорные, термальные воды (46-52°C). Концентрация гелия в пределах 1,1-1,6 об.%, 0,016-0,022 мл/л.

Высокогорные скв. Хавотаг 6, Хавотаг 8, представлены отложениями палеозоя, с температурой воды от 12 до 84°C. Концентрация гелия 0,02-1,34 об.% или 0,002-0,08 мл/л. Подобное значение концентрации гелия здесь связано, во-первых, с закономерным радиоактивным распадом; во-вторых, при оценке обогащения подземных вод гелием учитывается не только радиоактивность водовмещающих пород, но и подстилающих отложений.

Б-фактор представлен наличием осадочных пород юрского, мелового, палеогенового и неогенового возрастов, смятых сложными построенными складками, местами разорванными разломами. Развиты процессы трещинообразования [4] в водосодержащих породах и миграция газов из более глубоких погребенных горизонтов, по имеющимся разрывным нарушениям. В основном, они представлены пластами относительно водоупорных с прослоями карбонатных и терригенных пород. К этому фактору относятся водопункты скв. Фазылов, Улугбек, Чаткал, с глубиной залегания подземных вод 220-300 и 1600-2300 м. Концентрация гелия – от 0,012-0,156 об.%, реже, 1,8 об.% и 0,0084-0,025 мл/л, редко, 0,35 мл/л, температура в пределах 22-42°C.

Как известно, механизм проявления фоновых значений гелия зависит от самих водовмещающих пород, от их деформированности или трещиноватости, а также от наличия погребенных тектонических разломов. В подобных условиях миграция гелия определяется в основном транспортными (водами и флюидами) и диффузионными процессами.

В-фактор представлен процессами скопления гелия в застойных зонах. Отличительная черта этого фактора в том, что сам опробуемый водоносный горизонт на глубине от 200-800 до 1300-3800 м, где оптимальные условия для накопления гелия создаются в ограниченной части осадочного чехла. Режим воды в этих зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена. Эти участки перекрыты с подошвы и кровли глинами и глинисто-мергелистыми водонепроницаемыми отложениями. Водовмещающие породы залегают в виде антиклинальных складок, являющихся естественными «ловушками» для углеводородов, в данном случае для гелия. Ниже залегают до палеозойские и палеозойские отложения, способствующие скоплению гелия за счёт притока подземных вод по разрывным нарушениям. Освободившиеся из разрушенных минералов химическим или механохимическим путём гелиевых пузырьков, растворенные в водах, мигрируют путём диффузии или по разрывным нарушениям в верхние части разреза. Подобные условия наиболее распространены в водопунктах, расположенных в равнинной части исследуемой территории: скв. Янгиюль, Занги-ота, ДВС (Дворец водного спорта), ИОБК, А.Ясавий и Текстиль, Озодбаш, Минора, Чимион 14а, Чимион 14к. Эти водопункты имеют концентрацию гелия в пределах 0,062-0,32 об.% или 0,002-0,006 мл/л, температура воды 44-65°C [8].

Г-фактор определяет зоны активного водообмена, характеризующиеся низкими значениями концентрации гелия в подземных водах. К ним относятся водопункты скв. Шурчи 5, 7, 8, Чимганская и родники Чинар, Ходжикент, Тескарибулак, Хумсан и Нурата. Здесь существуют оптимальные условия для диссипации гелия в атмосферу, иными словами, размещены пути фильтрации, по которым происходит миграция гелия, растворенного в подземных водах. В зоне интенсивного водообмена не происходит скопления концентрации гелия, а наблюдается миграция гелия через структурно-тектонические нарушения. В связи с этим концентрации гелия в подземных водах, изученных водопунктов значительно низкие – 0,00002-0,00008 мл/л и 0,05-0,15 об.% (рис. 1). Если проследить за изменением содержания гелия, то наблюдается, на первый взгляд, нечёткое, но плавное его увеличение в горизонтальном простирании от областей питания в сторону погружения пластов. С точки зрения целостности гидрогеологических и тектонических условий, содержание газов в ненарушенных структурах высокое, т. е. имеет максимальное значение в зонах затрудненного водообмена, а минимальное – в зоне активного водообмена.

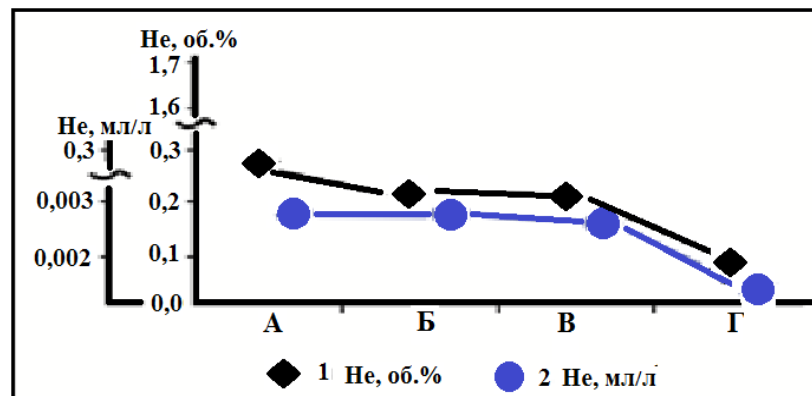


Рис. 1. График зависимости концентрации гелия от (А, Б, В, Г) гидрогеологических и тектонических факторов [8]:

1 – гелий, об.%,

2 – гелий, мл/л.

Выводы. Таким образом, можно сделать следующее заключение: изменения концентрации газов в подземных водах, вызванные влиянием различных естественных и искусственных факторов, весьма различны. Выявление фоновых, не связанных с сейсмичностью, изменений концентрации газов - необходимы для обоснованного выделения аномалий

гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений; сгруппированы гидрогеологические и тектонические условия водоносных отложений и водовмещающих пород.

Выделенные четыре фактора с различными значениями концентрации газов свидетельствуют о плавном увеличении в горизонтальном простирании от областей питания в сторону погружения пластов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юсупов Ш.С., Закиров М.М., Умурзаков Р.К., Шин Л.Ю. Результаты изучения измерений газового и изотопного составов подземных вод в период подготовки сейсмической активизации (на примере Ташкентского геодинамического полигона) // Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, –Москва, 2020, №6, –С. 32-40.
2. Закиров М.М. Закономерности изменения гелия в подземных водах Узбекистана. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук (DSc). Ташкент, "ALEKSA POLIGRAFIYA", 2020, 58 с.
3. Zakirov M., Agzamova I., Mavlyanova N. Factors determining the change of helium concentration in underground waters of Uzbekistan and the according territories // Tashkent state technical university named after Islam Karimov, Technical science and innovation. ISSN: 22181-0400. –Tashkent. 2019.- №2. –P. 148-153.
4. Umurzakov R., Zakirov M. Conditions at formation of molecular hydrogen in groundwaters of seismic active regions of Uzbekistan // International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences. Centre for info Bio Technology (CIB Tech) Jaipur. –India, 2019. –Vol. 9 (1). January-April. –P. 71-75.
5. Закиров М.М., Норматова Н.Р., Агзамова И.А. Некоторые вопросы изменения концентрации гелия в подземных водах южного Тянь-Шаня и Памира // Вестник НУУз. –2019. №3/2. –С. 252-257.
6. Zakirov M., Agzamova I.A., Yusupov Sh.S., Shin L. Yu. On the results of studying changes in gas and isotopic compositions of underground waters during the preparation of seismic // Technical science and innovation, –2021. №2 –p. 68-74.
7. Закиров М.М. Особенности изменения гелия в подземных водах Узбекистана. Ташкент, "UMID DESIGN", -2022, 216с.
8. Закиров М.М. Некоторые теоретические аспекты модели миграции гелия в слоистой системе на Ташкентском геодинамическом полигоне // Геология и минеральные ресурсы. –2025. №2 – С. 49–55.
9. Юсупов Ш.С. Изотопная геохимия углерода подземных вод Центральной Азии. Ташкент, ООО «SIVASH», 2017.- 219 с.