

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 556.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ГАЗОВОГО И ИЗОТОПНОГО СОСТАВОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПЕРИОД ПОДГОТОВКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ (на примере Ташкентского геодинамического полигона)

© 2020 г. Ш. С. Юсупов¹, М. М. Закиров^{2,*}, Р. К. Умурзаков², Л. Ю. Шин²

¹ Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, ул. Зулфияханум, 3, г. Ташкент, 100128 Узбекистан

² Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова,
ул. Университетская, 3, г. Ташкент, 100128 Узбекистан

*E-mail: mzakirov1957@mail.ru

Поступила в редакцию 30.01.2020 г.

После доработки 24.08.2020 г.

Принята к публикации 10.09.2020 г.

В статье рассматриваются результаты режимных наблюдений за изменениями газового и изотопного составов в подземных водах глубоких скважин Ташкентского геодинамического полигона. Обсуждаются полученные результаты и установленные газохимические и изотопные аномалии, отвечающие за периоды подготовки и свершения Назарбекского землетрясения 11.12.1980 года. Произведен анализ Назарбекского, Туябугузского (25.05.2013, $M = 5.5$, $R = 50$ км) и Маржанбулакского (26.05.2013, $M = 6.2$, $R = 200$ км) землетрясений. Выявлены основные газохимические и изотопные аномалии, отвечающие за периоды подготовки и свершения землетрясений.

Ключевые слова: изотоп, миграция, гелий, молекулярный водород, дейтерий, подземные воды, предвестник, аномалия, вариация, карбонаты, термобарические условия, фракционирование

DOI: 10.31857/S0869780920060120

ВВЕДЕНИЕ

Изучение вариаций содержания газообразных компонент в подземных водах занимает особое место в комплексе гидрогеосейсмологических методов прогноза землетрясений. По литературным источникам известно, что подземные воды являются индикатором многих процессов, происходящих на глубине [15–17]. Особенно они реагируют на изменения напряжений в горных породах, связанных с подготовкой землетрясений [12, 14].

Актуальность исследования заключается в определении компонентного, газового и изотопного составов подземных вод в Ташкентском геодинамическом полигоне, что может способствовать прогнозированию возможной сейсмической активности территории.

При подготовке землетрясений горные породы претерпевают значительные упругие деформации. Распространяясь в окружающую среду эти деформации, в свою очередь, влияют на ход физико-химических и гидрогеодинамических процессов, выражающихся в колебаниях уровня, дебита, химического, газового и изотопного состава подземных вод [3, 8].

Изотопный и газовый состав подземных вод как предвестника предстоящего сильного землетрясения исследовали А.Н. Султанходжаев, А.А. Султанходжаев, И.Г. Чернов, Т.И. Исамухамедова, Ш.С. Юсупов и др. [3, 9, 10, 13].

Цель настоящей работы – изучение характера вариаций изотопного и газового составов в подземных водах в период подготовки землетрясения и после его свершения. Объектом исследований выбраны подземные воды Приташкентского артезианского бассейна, приуроченного к одному из сейсмоактивных районов Центральной Азии, в котором возможность возникновения землетрясений довольно высока.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика исследований заключается в анализе зарубежных и отечественных исследований в области гидрогеологии и собственных наблюдений авторов на Ташкентском геодинамическом полигоне в период подготовки и свершения ряда землетрясений. Гидрогеологические исследования термоминеральных вод в Приташкентского региона начались задолго до Ташкентского зем-



Рис. 1. Карта-схема г. Ташкент с эпицентрами Ташкентского и Назарбекского землетрясений.

летрясения 1966 г. Систематические гидрогеосейсмологические наблюдения ведутся с 1972 г. по настоящее время [1, 14]. Район исследования представлен на рис. 1.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Основные газовые компоненты, находившиеся под режимным наблюдением: углекислый газ, гелий и водород. Обусловлено это, в первую очередь, их высокой миграционной способностью из земных недр и реакционной способностью с окружающей средой, что позволяет использовать их вариации в качестве среднесрочных и краткосрочных предвестников землетрясений. Это положение поддерживается накопленным к 1980 г. разными водопунктами фактическим материалом по изучению вариаций концентраций газовых параметров во времени, а также наблюдениями за вариациями стабильных изотопов подземных вод ($^3\text{He}/^4\text{He}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в CO_2 , $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, D/H и $\delta^{18}\text{O}$ воды и др.).

Несомненно, что особое внимание в проводимых исследованиях должно уделяться пониманию явлений, происходящих в системе “газ–во-

да–порода”, поскольку соотношение между временем подготовки землетрясения и скоростью поступления химических компонентов из породы в поровый раствор определяет, в конечном счете, гидрогеохимическую аномалию.

В настоящей работе приведены данные о вариации изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}$ и содержания CO_2 , концентрации гелия, молекулярного водорода и изотопного состава воды (δD и $\delta^{18}\text{O}$) скважины Улугбек в Ташкентском геодинамическом полигоне в период подготовки и свершения Назарбекского землетрясения 1980 г. ($M = 5.3$) и Чаткал в период подготовки и свершения Туябугузского (25.05.2013, $M = 5.5$) и Маржанбулакского (26.06.2013, $M = 6.2$, $L = 230\text{--}240$ км от Ташкента) землетрясений (рис. 2, 3).

Необходимо отметить, что на протяжении длительного времени перед свершением землетрясений как в 1980 г., так и в 2013 г. газовые компоненты находились на одном и том же уровне. Только в период подготовки землетрясения, примерно за два месяца до наступления события, наблюдались аномалии концентраций гелия и углекислого газа в подземных водах выше фоновых значений.

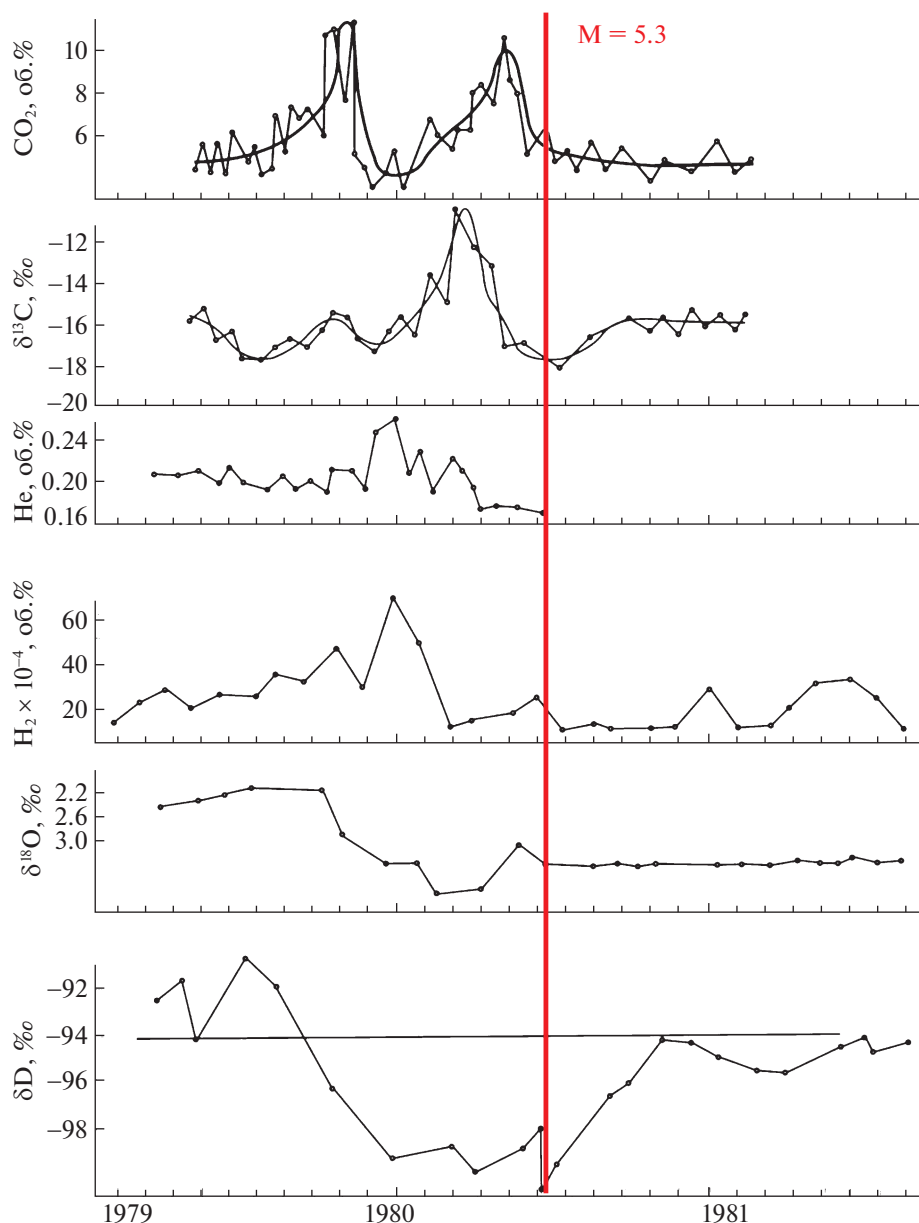


Рис. 2. Вариации изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}$ и содержания CO_2 , концентрации гелия, молекулярного водорода и изотопного состава δD и $\delta^{18}\text{O}$ воды скв. 7 (Улутбек) в Ташкентском геодинамическом полигоне в период подготовки и свершения Назарбекского землетрясения 1980 г.

Как видно из рис. 2, все геохимические и изотопные параметры, приведенные на нем, варьируют в период подготовки указанного землетрясения. Необходимо отметить, что наряду с аномалией концентраций He , H_2 и CO_2 на период землетрясений, наблюдается также и аномалия в изотопном составе воды. Причем, 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 считают авторы [13], 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 по-

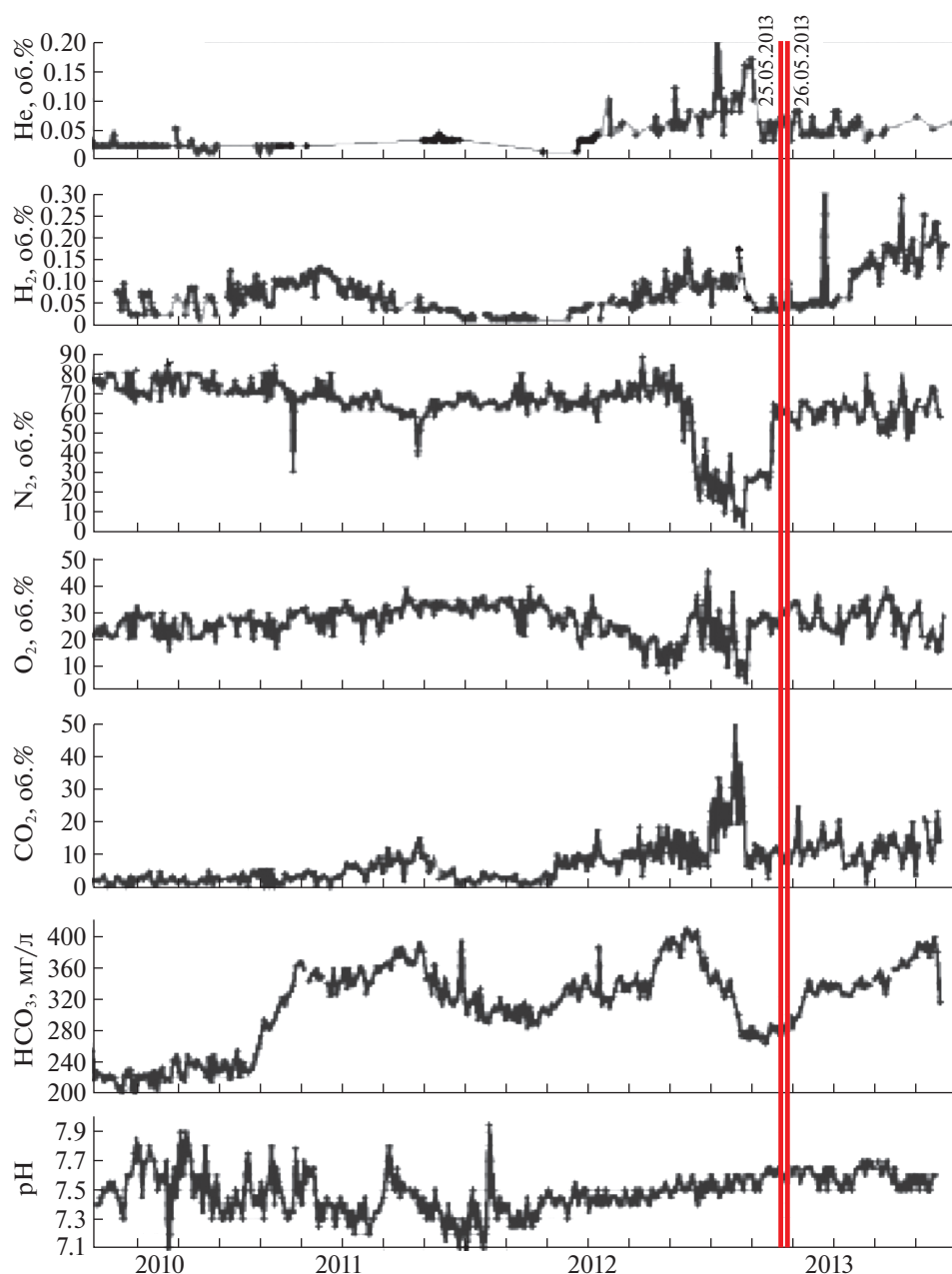


Рис. 3. Изменение гидрогеохимических параметров подземных вод скв. Чаткал во время подготовки и свершения Туябугузского (25.05.2013, $M = 5.5$, $R = 50$ км) и Маржанбулакского (26.05.2013, $M = 6.2$, $R = 200$ км) землетрясений.

род, с генерацией упругих волн, облегчающих поступление в воду более тяжелой по изотопу ^{13}C углекислоты из карбонатов ($\delta^{13}\text{C} = -4.9...+5.6\text{‰}$) [13, 15]. Последнее утверждение было сделано на основе результатов изотопных определений величин $\delta^{13}\text{C}$ как из растворенных CO_2 , HCO_3^- (H_2CO_3), так и CO_2 , выделенного из образцов керна водовмещающих пород (рис. 4).

На рис. 3 отчетливо проявлена аномалия в газовом составе подземных вод скважин санатория

“Чаткал” во время подготовки и свершения Туябугузского и Маржанбулакского землетрясений. Сплошной вертикальной линией показаны моменты свершения землетрясений, происшедших непосредственно в Ташкентском геодинамическом полигоне. Наблюдается увеличение концентраций изотопов гелия, водорода, кислорода, углекислого газа непосредственно перед самим землетрясением, а в момент сейсмической активности — резкое снижение содержания данных изотопов.

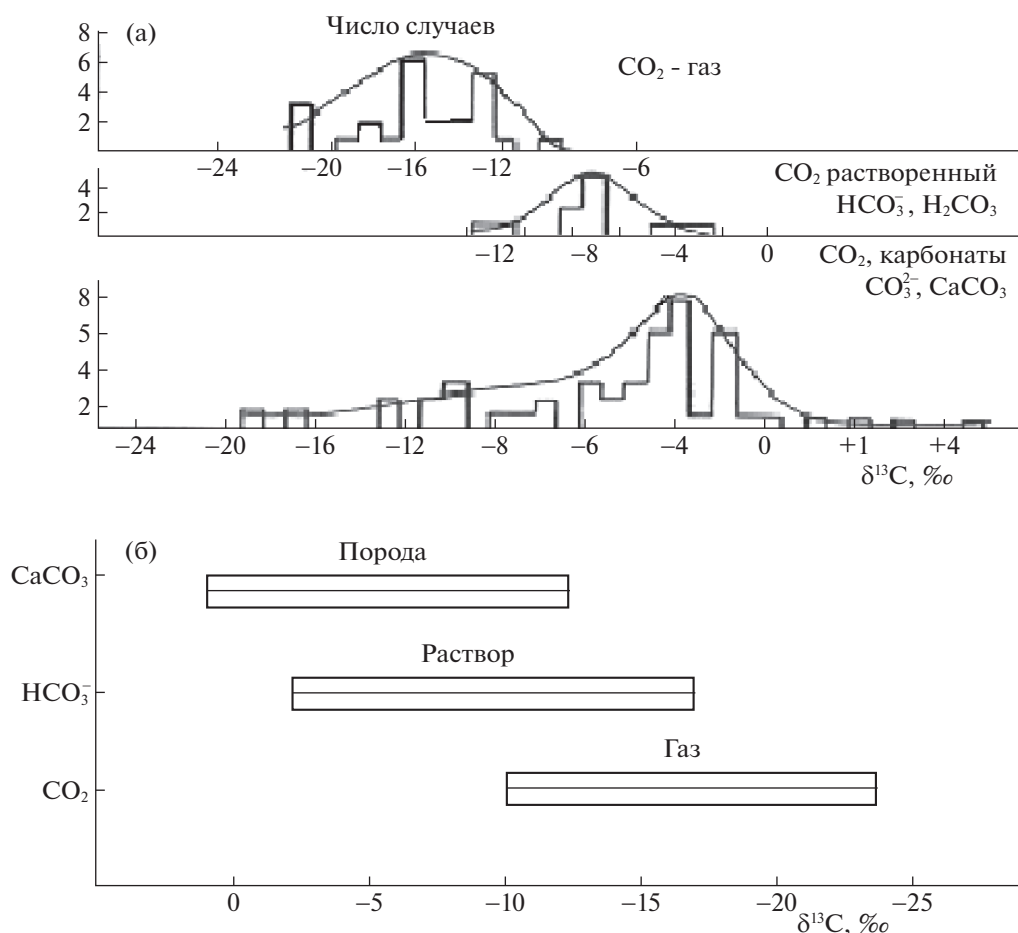


Рис. 4. Гистограммы распределения значений величины $\delta^{13}\text{C}$ трех состояний: (а) – в подземных водах Ташкентского геодинамического полигона; (б) – карбонатной системы [12, 13].

С позиции изотопной геохимии гелия, основным источником газов осадочного чехла являются слагающие его породы [6, 17]. По литературным источникам известно, что гелий, в основном, концентрируется в зонах разрывных нарушений, в породах высокой радиоактивности и углеводородных скоплениях. К факторам увеличения концентрации гелия относятся: близость источников α -излучений (граниты и продукты их разрушения); неглубокое залегание кристаллического фундамента и наличие домезозойских коренных пород; процесс разложения углеводородов в древних газовых скоплениях [11].

К числу важнейших факторов накопления и сохранности гелия можно причислить и длительность контакта подземных вод с породами, продуцирующими гелий. Освободившись из разрушенных минералов химическим и механическим путем, растворенные в водах гелиевые пузырьки мигрируют по нарушениям в верхние слои литосферы.

Содержание гелия в подземных водах Ташкентского геодинамического полигона варьируется в пределах 0.03–2.7 об. %. Аномальные изменения во всех водопунктах в 6–8 раз выше фонового значения. Основываясь на наших [7] и литературных данных [3–5, 8, 9], можно сказать, что на стадии подготовки основного толчка землетрясений, по мере возрастания упругих напряжений, в породах происходит образование многочисленных микротрещин вокруг наблюдаемых водопунктов. Это в свою очередь приводит к повышению выхода захороненных газов из пород водосодержащих пород. Из вышесказанного следует, что основной источник повышения концентрации гелия в подземных водах – миграция газов из более глубоких слоев литосферы по имеющимся разрывным нарушениям (тектоническим разломам) и в результате процесса трещинообразования водосодержащих пород. Все анализируемые нами водопункты находятся в зоне

Каржантауского глубинного разлома Пскемско-Ташкентской сейсмогенной зоны [2].

Изменяется во времени и изотопный состав водорода и кислорода самой воды. Сейсмически спокойный период характеризуется стабильными содержаниями дейтерия и кислорода-18, близкими к фоновым. Досейсмические изменения в воде скв. Улугбек начались примерно за год до реализации события. Наблюдались повышенные значения содержаний этих изотопов (на ~4‰ по дейтерию и ~0.6‰ по $\delta^{18}\text{O}$) относительно средне-фоновых величин. Затем произошел медленный синхронный спад их концентраций до минимальных значений, наблюдаемый для δD на протяжении пяти, а для $\delta^{18}\text{O}$ — двух месяцев. Облегчение изотопного состава водорода и кислорода относительно фоновых значений составило соответственно 4 и 0.2‰. Момент землетрясения пришелся на стабилизированные к этому времени содержания ^{18}O и минимальные концентрации дейтерия, восстановление которых происходило еще в течение последующих трех месяцев.

Наряду с аномалиями величин δD и $\delta^{18}\text{O}$ на период Назарбекского землетрясения наблюдаются также аномалии в содержаниях водорода, гелия, углекислого газа и его изотопного углерода, растворенного в подземных водах (см. рис. 2). В связи с этим произведена оценка влияния процесса изотопного обмена между этими газами и подземными водами бассейна, которая показала, что даже увеличение концентраций H_2 и CO_2 до максимальных значений, когда-либо наблюдаемых в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна, может изменить содержание дейтерия (увеличить) и кислорода-18 (уменьшить) в этих водах лишь на ~0.002‰, что более чем на порядок меньше точности измерений.

Процесс изотопного обмена в системе “вода—порода—газ”, протекающий в изменившихся термобарических условиях зон подготовки землетрясений, в принципе также может влиять на изотопный состав подземных вод. Температурный коэффициент фракционирования изотопов кислорода при взаимодействии вод с нижнемеловыми отложениями, имеющими наибольший кислородный сдвиг, оценен в ~0.2‰/1°C. Однако поскольку изотопный обмен — процесс долговременный и не сравнимый по времени с температурными вариациями, то можно утверждать, что и в результате его реализации не может быть обусловлено изменение содержания O_2 в течение ограниченного времени наблюдений.

Для возникновения аномалии по водороду в ~5‰ необходимо, чтобы таких вод выделилось примерно в десять раз больше, чем прочносвязанных, что и наблюдается. Наличие аномалий

только в скважинах, расположенных в зонах разломов, т.е. в областях, для которых характерны повышенные скорости образования трещин. На основании этого сделано предположение о том, что аномалии величин δD и $\delta^{18}\text{O}$ обусловлены процессами, происходящими в системе “вода—порода—газ” не по всему водоносному горизонту, а лишь в локальных его участках. Представление об их локальности подтверждается оценкой баланса радиогенных составляющих инертных газов, проведенной для системы “вода—порода—газ” в условиях Приташкентского артезианского бассейна.

Если относительно природы формирования аномалий изотопного состава воды мы пришли к какому-то заключению, то этого не скажешь о природе формирования аномалий газового состава, в частности молекулярного водорода. Как уже отмечалось выше, при незначительных фоновых содержаниях H_2 наблюдаются отдельные всплески, когда его концентрация возрастала на 1–2 порядка в периоды подготовки и после свершения сильных землетрясений. На момент землетрясения, как правило, концентрации молекулярного водорода имели минимальные значения. Кроме того, с течением времени изменялось и его среднефоновое содержание. Так, например, если в период подготовки Назарбекского землетрясения (см. рис. 2) фоновое содержание H_2 составляло десятитысячные и тысячные доли процента, а увеличение концентрации водорода до сотых долей процента принималось за аномалию, то после 1983 г. фоновое содержание H_2 возросло на 2–3 порядка.

Полученные результаты дают нам возможность сделать следующие выводы:

— изотопный состав молекулярного водорода, растворенного в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна, характеризуется концентрациями δD , изменяющимися в диапазоне от –200 до –130‰. Возможным источником поступления молекулярного водорода с наблюдаемым изотопным составом в водоносный горизонт может быть химическая реакция между подземными водами нижележащих водоносных горизонтов и свежими сколами пород, образующихся при их растрескивании;

— наблюдаемые вариации газов гелия и водорода в подземных водах — следствие передаваемых упругих напряжений на стадии подготовки основного толчка землетрясений, что приводит к процессам трещинообразования водосодержащих пород и миграции газов из более глубоких слоев литосферы по имеющимся разрывным нарушениям, т.е. тектоническим разломам;

– аномалии концентрации CO_2 и изотопного углерода $\delta^{13}\text{C}$ углекислого газа, растворенного в подземных водах, в период подготовки землетрясения, возможно, связаны с более интенсивным развитием упругих напряжений и соответствующих деформаций горных пород с генерацией упругих волн, облегчающих поступление в воду более тяжелой по изотопу ^{13}C углекислоты из карбонатных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При подготовке землетрясений горные породы в Ташкентском геодинамическом полигоне претерпевают значительные упругие деформации. Распространяясь в окружающую среду, эти деформации влияют на ход физико-химических и гидрогеодинамических процессов, выражающихся в колебаниях уровня, дебита, химического, газового и изотопного состава подземных вод. Аномалии, возникающие в периоды подготовки землетрясений, как в изотопном, так и в газовом составе подземных вод (He , H_2 , CO_2), обусловлены процессами взаимодействия в системе “вода–порода–газ” для водовмещающих пород вокруг наблюдательных скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закиров М.М., Агзамов И.А., Очилев Г.Э., Бозоров Ж.Ш. Особенности изменения гидрогеохимических параметров подземных вод в период предшествующей и сопутствующей сейсмической активности // Евразийское научное объединение. 2019. № 12-6 (58). С. 511–516.
2. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Срединного Тянь-Шаня. Ташкент: Фан, 1978. 144 с.
3. Исамухамедова Т.И. Особенности формирования изотопного состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Ташкент, 1988. 25 с.
4. Кропоткин П.Н., Валяев Б.И. Дегазация земли и геотектоника // Тез. докл. IV симп. “Дегазация земли и геотектоника”. М: Наука, 1976. С. 3–11.
5. Крупнова Т.Г., Сухарев Ю.И. Химия окружающей среды. Уч. пос. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. Ч. 2. 15 с.
6. Матвеев Э.С., Толстихин И.Н., Якуцени В.П. Изотопный гелиевый критерий происхождения газов и выявления зон неотектогенеза (на примере Кавказа) // Геохимия. 1978. №3. С. 220–227.
7. Садыков Ф.С., Юсупов Ш.С., Закиров М.М. Особенности концентрации гелия, растворенного в подземных водах, как предвестника подготовки предстоящего сильного землетрясения // ГЕОРИСК- 2015. Матер. 9-й Междунар. научно-практ. конф. М.: РУДН, 2015. С. 354–359.
8. Султанходжаев А.Н., Латипов С.У., Хасанова Л.А. и др. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений / Под ред. Г.А. Мавлянова. Ташкент: Фан, 1983. 135 с.
9. Султанходжаев А.Н., Чернов И.Г., Исамухамедова Т.И. Формирование изотопного состава водорода и кислорода подземных вод Приташкентского артезианского бассейна // Тез. докл. X Всесоюз. симпозиума по геохимии стабильных изотопов. М.: б. и., 1984. С. 52.
10. Султанходжаев А.Н., Чернов И.Г., Юсупов Ш.С. Изучение изотопного состава углерода карбонатной системы подземных вод Ташкентского геодинамического полигона // Тез. докл. X Всесоюз. симпозиума по геохимии стабильных изотопов. М.: б.и., 1984. С. 55.
11. Финкельштейн Д.Н. Инертные газы. М: Наука, 1979. 195 с.
12. Юсупов Ш.С. Механизм формирования изотопных предвестников (на примере изотопного состава углерода в карбонатной системе CO_2 , HCO_3^- (H_2CO_3) подземных вод) // Тез. пятого Казахско-Китайского Междунар. симпозиума “Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии”. Алматы. ИС МОН РК, 2004. С. 224–225.
13. Юсупов Ш.С. Особенности формирования изотопного состава углерода углекислоты подземных вод и его связь с сейсмичностью (на примере некоторых сейсмоактивных районов Средней Азии): автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Ташкент, 1986. 24 с.
14. Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. Применение изотопного состава углерода для прогнозирования землетрясений // Тез. докл. XX симпозиума по геохимии изотопов. М.: ГЕОХИ РАН, 2013. С. 375–379.
15. Ballentine C.J., Sherwood Lollar B. Regional groundwater focusing of nitrogen and noble gases into the Hugoton–Panhandle giant gas field, USA // Geochim Cosmochim Acta. 2002. 66: 2483–2497.
16. Gerling P., Idiz E., Everlien G., Sohns E. New aspects on the origin of nitrogen in natural gas in Northern Germany // Geologisches Jahrbuch. 1997. D103: 65–84.
17. Kotarba M.J. Geochemistry, Poland. In: Lokhorst A. (ed.). NW European Gas Atlas—composition and isotope ratios of natural gases. The European Union, 1998. CD ROM.

CHANGES IN GAS AND ISOTOPIC COMPOSITION OF GROUNDWATER DURING THE PREPARATION OF SEISMIC EVENTS (BY THE EXAMPLE OF TASHKENT GEODYNAMIC TEST SITE)

Sh. S. Yusupov^a, M. M. Zakirov^{b,*}, R. K. Umurzakov^b, and L. Yu. Shin^b

^a Mavlyanov Institute of Seismology, Uzbekistan Academy of Sciences, ul. Zul'fiyakhonum, 3, Tashkent, 100128 Uzbekistan

^b Karimov Tashkent State Technological University, Universitetskaya ul., 3, Tashkent, 100128 Uzbekistan

*E-mail: mzakirov1957@mail.ru

The article deals with the results of regime observations over changes in gas and isotope composition of groundwater in deep wells at the Tashkent geodynamic test plot. The results obtained and the revealed geochemical and isotopic anomalies responsible for the periods of preparation and completion of the 11.12.1980 Nazarbek earthquake are discussed. The analysis of the Nazarbek, Tuyabuguz (25.05.2013, $M = 5.5$, $R = 50$ km) and Marzhanbulak (26.05.2013, $M = 6.2$, $R = 200$ km) earthquakes has been performed. The main geochemical and isotopic anomalies responsible for the periods of preparation and occurrence of earthquakes are identified.

Keywords: isotope, helium concentration, migration, molecular hydrogen, deuterium, groundwater, precursor, anomaly, variation, carbonates, thermobaric, fractionation

REFERENCES

1. Zakirov, M.M., Agzamova, I. A., Ochilov, G.E., Bozov, Zh.Sh. Osobennosti izmeneniya gidrogeokhimicheskikh parametrov podzemnykh vod v period predshestvuyushchei i soputstvuyushchei seismicheskoi aktivnosti [Features of changes in hydrogeochemical parameters of underground waters during the period of preceding and accompanying seismic activity]. Eurasian scientific association, 2019, no. 12-6 (58), pp. 511–516. (in Russian)
2. Ibragimov, R.N. Seismogennyye zony Tyan'-Shanya [Seismogenic zones of the Middle Tien Shan]. Tashkent, Fan Publ., 1978, 144 p. (in Russian)
3. Isamukhamedova, T.I. Osobennosti formirovaniya izotopnogo sostava podzemnykh vod Pritashkentskogo artezianskogo basseina [Features of formation of isotopic composition of underground waters of the Pritashkent artesian basin]. Extended abstract Cand.Sci. (Geol.-Min.) Dis. Tashkent, 1988, 25 p. (in Russian)
4. Kropotkin, P.N., Valyaev, B. I. Degazatsiya Zemli i geotektonika [Degassing of the Earth and geotectonics]. Abstracts IV Symp. on Earth Degassing and Geotectonics. Moscow, Nauka Publ., 1976, pp. 3–11. (in Russian)
5. Krupnova, T.G., Sukharev, Yu.I. Khimiya okruzhayushchei sredy [Environmental Chemistry] Manual. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2005, part 2, 15 p. (in Russian)
6. Matveev, E.S., Tolstikhin, I.N., Yakutseni, V.P. Izotopnyi gelieviy kriterii proiskhozhdeniya gazov i vyavleniya zon neotektogeneza (na primere Kavkaza) [Isotopic helium criterion of gas origin and detection of neotectogenesis zones (by the example of the Caucasus). Geokhimiya, 1978, no. 3, pp. 220–227. (in Russian)
7. Sadykov, F.S., Yusupov, Sh.S., Zakirov, M.M. Osobennosti kontsentratsii geliya, rastvorenogo v podzemnykh vodakh kak predvestnika podgotovki predstoyashchego sil'nogo zemletryaseniya [Features of the concentration of helium dissolved in underground water as a precursor of preparation for the upcoming strong earthquake]. Proc. Intern. Scientific and practical conference "GEORISK-2015". Moscow, October 12–14, 2015. Moscow, RUDN Publ., 2015, pp. 354–359. (in Russian)
8. Sultankhodzhaev, A.N., Latipov, S.U., Khasanova, L.A., et al. Gidrogeoseizmologicheskie predvestniki zemletryaseniya [Hydrogeoecological earthquake precursors]. Mavlyanov, G.A., Ed., Tashkent, Fan Publ., 1983, 135 p. (in Russian)
9. Sultankhodzhaev, A.N., Chernov, I.G., Isamukhamedova, T.I. Formirovaniye izotopnogo sostava vodoroda i kisloroda podzemnykh vod Pritashkentskogo artezianskogo basseina [Formation of isotopic composition of hydrogen and oxygen in underground waters of the Tashkent artesian basin]. Abstracts X All-Union Symposium on geochemistry of stable isotopes. Moscow, 1984, p. 52. (in Russian)
10. Sultankhodzhaev, A.N., Chernov, I.G., Yusupov, Sh.S. Izucheniye izotopnogo sostava ugleroda karbonatnoi sistemy podzemnykh vod Tashkentskogo geodinamicheskogo poligona [Study of the carbon isotope composition of the carbonate system of underground waters of the Tashkent geodynamic test plot]. Abstracts X All-Union Symposium on geochemistry of stable isotopes. Moscow, 1984, p. 55. (in Russian)
11. Finkel'shtein, D.N. Inertnye gazy [Inert gases]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 195 p. (in Russian)
12. Yusupov, Sh.S. Mekhanizm formirovaniya izotopnykh predvestnikov (na primere izotopnogo sostava ugleroda v karbonatnoi sisteme CO_2 , HCO_3^- , (H_2CO_3) podzem-

- nykh vod [Mechanism of formation of isotopic precursors (by the example of isotopic composition of carbon in the CO_2 , HCO_3 , (H_2CO_3) carbonate system of groundwater]. Abstract of the 5th Kazakh-Chinese International Symposium "Modern geodynamics and seismic risk of Central Asia". Almaty, 2003, pp. 224–225. (in Russian)
13. Yusupov, Sh.S. Osobennosti formirovaniya izotopnogo sostava ugleroda uglekisloty podzemnykh vod i ego svyaz's seismichnost'yu (na primere nekotorykh seismoaktivnykh raionov Srednei Azii) [Features of formation of the isotopic composition of carbon dioxide in groundwater and its relation to seismicity (on the example of some seismically active regions in Central Asia)]. Extended abstract of Cand. Sci. (Geol.-Min.) Dis. Tashkent, 1986, 24 p. (in Russian)
 14. Yusupov, Sh.S., Shin, L.Yu. Primenenie izotopnogo sostava ugleroda dlya prognozirovaniya zemletryaseni [Application of carbon isotope composition for earthquake forecasting]. Abstracts XX Symposium on Isotope Geochemistry, Moscow, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, 2013, pp. 375–379. (in Russian)
 15. Ballentine, C.J., Sherwood Lollar, B. Regional groundwater focusing of nitrogen and noble gases into the Hugoton–Panhandle giant gas field, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2002, no. 66, pp. 2483–2497.
 16. Gerling, P., Idiz, E., Everlien, G., Sohns, E. New aspects on the origin of nitrogen in natural gas in Northern Germany. *Geologisches Jahrbuch*, 1997, no. D103, pp. 65–84.
 17. Kotarba M.J. Geochemistry, Poland. In: NW European Gas Atlas—composition and isotope ratios of natural gases. Lokhorst, A. Ed., The European Union, 1998. CD ROM.