

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

УДК 550.343, +550.424

А. У. Абдуллаев, И. М. Камберов

*ТОО «Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований»
МЧС Республики Казахстан, Алматы, Казахстан*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РТУТИ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВЫДЕЛЕНИЯ АКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ

Аннотация. На основе краткого анализа ранее проведенных исследований содержания ртути в различных объектах среды (подземные и поверхностные воды, приземная атмосфера, грунт и почвенный воздух, образцы деревьев), направленных на поиски эффективных предвестников землетрясений, делается вывод о перспективности измерения содержания ртути для краткосрочного прогноза землетрясений и выделения активных тектонических разломов.

Ключевые слова: прогноз землетрясений, предвестники, содержание ртути, тектонические разломы, картирование, подземные воды, поверхностные воды, почвенный воздух, приземная атмосфера, годовые кольца деревьев.

Начиная с середины 60-х годов прошлого века, во многих странах были начаты исследования по поиску предвестников землетрясений. В частности, исследования геохимических предвестников начались после выявления явления изменения химического состава подземных вод до и после землетрясения. Советскими учеными по результатам пятилетних наблюдений в воде бальнеологической скважины г. Ташкент было установлено повышение содержания радона, ртути и ряда других элементов в три раза и сохранение этого уровня в течение шести месяцев до начала землетрясения. По окончании землетрясения содержание радона и ртути уменьшилось ниже первоначального уровня [1, 2]. Эти данные послужили основанием для поиска газогидрогеохимических предвестников землетрясений как наиболее эффективные.

В теоретическом аспекте, по утверждению авторов работы [3], в качестве возможных предвестников землетрясений представляется правильным отдавать предпочтение изучению тех химических элементов и их соединений, которые удовлетворяют следующим условиям: 1) имеют высокую физическую подвижность; 2) обладают малой химической активностью. На основе анализа физических свойств

химических элементов, авторы приходят к выводу, что ртуть обладает, в сравнении с другими химическими элементами, достаточно высокой физической подвижностью, что определяет потенциально высокую способность ртути к миграции на большие расстояния в относительно короткое время. Тем самым удовлетворяет первому условию теоретического аспекта вопроса о поисках предвестников землетрясений.

Ртуть весьма пассивна как в окислительных, так и в восстановительных реакциях, и по величине энергии «химической активности» уступает место подавляющему большинству химических элементов, тем самым удовлетворяет второму условию.

Таким образом, особые физико-химические свойства ртути, обуславливают рассмотрения ее в качестве важнейших информаторов об энергетических изменениях, происходящих в глубинах земной коры, связанных с развитием очага землетрясения.

Кроме прочих физико-химических свойств, ртуть легко высвобождается из горных пород в процессе термодинамических воздействий, в частности, из земной коры во время землетрясений. В Душанбе, например, приблизительно за день до сильного землетрясения, произошедшего 29 сентября 1981 года, концентрация газообразной ртути увеличилась на 400 % на расстоянии 20 км от эпицентра [4]. Авторы исследований [5] подтверждают, что эманации ртути являются предвестником землетрясений. Исследования эмиссии ртути показали ее аномальные содержания в сейсмогенных разломах. Повышенные концентрации ртути, связанные с землетрясениями, были также обнаружены в грунтовых водах, т.е. при землетрясении ртуть выделяется не только в виде газа, но и фиксируется в подземных водах [6].

Уникальные физико-химические свойства ртути используются при поисках собственно ртутных и ртутьсодержащих месторождений полезных ископаемых (полиметаллические, золото-серебряные, сурьмяные месторождения и др.) [7]. Ртуть также является индикатором месторождений нефти и газа [8]. Благодаря высокой миграционной способности ртуть над скрытыми и скрыто-погребенными месторождениями образует аномальные содержания в почве, почвенном воздухе и приземном атмосферном воздухе, которые легко регистрируются современной ртутOMETрической аппаратурой. Известно, что образование месторождений полезных ископаемых связаны с тектоническими разломами, которые являются также каналами миграции ртути от аномалеобразующих объектов (месторождений) на дневную поверхность [9]. При этом установлено, что при динамическом воздействии на почвенную среду, аномальные содержания ртути в почвенном воздухе над месторождениями полезных ископаемых возрастают в зависимости от величины нагрузки [10]. Токсичность ртути и ее негативное воздействие на здоровье населения и окружающую среду общеизвестно, что требует особого внимания при обращении с ней и своевременного выполнения природоохранных мероприятий [11].

Исследования ртути в подземных водах

По данным [12] были получены обнадеживающие результаты при измерениях содержания ртути в скважинной воде для применения элемента в качестве предвестника. Китайскими учеными [13] были проведены модельные исследования, направленные на изучение возможности увеличения потока ртути за счет закачки в водоносный пласт жидкости под высоким давлением (фрекинг). По результатам трех

экспериментов, было установлено увеличение содержания ртути более чем на 50 %, а в ряде случаев в несколько раз от фоновых значений.

В статье [14] обсуждаются результаты исследований долгосрочных и краткосрочных вариации концентраций Hg в подземных водах за период с 2017 по 2022 годы на западном побережье озера Байкал. Исследованные вариации с 2019 года до 2022 года были связаны с сейсмической реактивацией активных разломов Байкала и Хубсугула в 2020–2021 годах. Авторами был сделан вывод, что увеличение концентрации ртути в подземных водах было связано с расширением земной коры с наибольшим обогащением Hg, обусловленные афтершоками. Поток ртути зависит от характера активности разломов, а ее повышенные концентрации в осадочных слоях могут указывать на высвобождение различных форм ртути из сейсмически активных разломов в прошлом. Ход сейсмического процесса отразился в последовательной смене соотношений концентрации ртути и окислительно-восстановительного потенциала подземных вод [15]. Предполагается, что аномальное поведение ртути при сейсмической активности может быть одной из причин повышения ее концентрации в осадочных слоях второй половины 18 века – настоящего времени.

На Байкале Институтом нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН был организован научный стационар «Энхалук», который является центральным пунктом тектономагнитного мониторинга изменений напряженного состояния в земной коре этого района [16]. На ее базе измерялся химический состав и физико-химические параметры воды горячего источника, а также отбирались пробы для определения концентрации ртути. Годовые наблюдения выявили изменения концентраций ртути, которые сопровождают сейсмические события с магнитудой более 4 в районе объекта исследований. Первый временной интервал («бухтообразное» падение концентраций) составляет один – два месяца до сейсмического события. Второй этап (резкий рост содержаний за 7-10 дней до события) соответствует переходу к стадии реализации сейсмического события, приводящего к высвобождению ртути, при этом наблюдаются максимумы концентраций, которые затем возвращаются к фоновому уровню.

Исследования ртути в поверхностных водах

В середине 90-х годов прошлого столетия перед Южно-Байкальским землетрясением 1999 г. в истоке р. Ангары были проведены пятилетние мониторинговые наблюдения за содержанием ртути в поверхностных водах Байкала, и было зафиксировано повышение содержания ртути перед сильным Южно-Байкальским землетрясением [17]. В работе результаты определения содержания ртути в воде истока р. Ангара сопоставлены с распределением во времени землетрясений различных магнитуд, произошедших на разном удалении от пункта отбора воды. Установлено, что все значимые максимумы содержания ртути в воде являются откликами на сильные геодинамические воздействия. Прогнозные оценки тренда среднегодового содержания ртути указывают на возможность существенного повышения концентрации ртути в локальной области флюидной разрядки разлома при мощном геодинамическом воздействии. В качестве механизма реализации предположено, что раскрытие локальных областей глубинных разломов при сильном геодинамическом воздействии приводит к декомпрессии со вскипанием, дегазацией ртути и быстрым подъемом на поверхность по зонам раскрытых разломов.

Проведенные исследования показали, что состояние и сохранение воды Байкальской водной экосистемы зависит и от природных катаклизмов. В связи с этим рекомендовано продолжить геохимические и геодинамические исследования в мониторинговом режиме [18].

Исследования ртути в приземной атмосфере и почве

Наравне с исследованиями ртути в подземных водах и скважинах, проводились работы по изучению содержания ртути в скважинном газе [19], на основе которых был сделан вывод о том, что эманации ртути являются наилучшим краткосрочным предвестником землетрясений. Повышенная концентрация ртути была зарегистрирована после землетрясения в районе Ташкента в апреле 1966 года. Авторами [20] было высказано предположение, что ртуть может служить предвестником землетрясений. Результаты моделирования процессов формирования предвестников землетрясений под воздействием механических нагрузок показали, что рост выхода ртути из горной породы свидетельствует о наступлении начальной фазы процесса разрушения. Аналогичные исследования были проведены на образцах каменного угля, силвинита и карналлита [21]. Было установлено, что при нагрузках, составляющих около 2/3 от разрушающих, выход паров ртути увеличивается в 3-8 раз. В Таджикистане были проведены исследования по регистрации ртутных предвестников в естественных условиях в сейсмически активной зоне [22].

Наряду с определением содержания ртути в водах скважин в течение более двух недель, регистрировался поток паров ртути из почвенной среды. Было показана значительная большая инерционность изменений содержания ртути в воде по сравнению с изменениями потока паров ртути в ходе ежесуточных и ежечасных пробоотборах. Исследованиями, проведенными на окраине г. Душанбе, установлена высокая чувствительность потока паров ртути к сейсмическим колебаниям и оценены соответствие результатов регистрации потоков пары ртути прогностическим закономерностям [23]. В работе [24] прямые измерения содержания ртути (Hg) в природных газах в режиме реального времени на двух газовых месторождениях Опошня и Мирненское выявили кратковременную изменчивость концентрации Hg во всех исследованных газовых скважинах, их особенностями являются кратность их периодов и хорошее совпадение с фазами собственных колебаний Земли. Относительно низкочастотное колебание с периодом 25 ч соответствует лунному приливному циклу. Предполагается, что причиной этих эффектов является колебательный механизм адсорбции-десорбции ртути в пористой газосодержащей среде и концентрация Hg в газовом потоке реагирует на изменения давления и напряжения внутри продуктивного слоя, образовавшийся в результате эвакуации газа, а также приливным деформациям и внешним сейсмическим полям. Отмечая приуроченность ртутьсодержащих месторождений углеводородов к зонам пересечения продольных глубинных нарушений, параллельных молодым складчатым системам, с поперечными к ним крупными планетарными зонами долгоживущих разломов древнего заложения с характерными чертами рифтогенеза, авторы [25] предполагают, что геохимическая система (ртутьсодержащая газовая залежь – эксплуатационная скважина) может генерировать прогнозный сигнал на более поздних этапах подготовки землетрясений по сравнению с прогнозным сигналом водно-гелиевой съемки. При этом чувствительность данной системы к внешним

динамическим воздействиям с резонансной частотой может оказаться значительно выше за счет большей подвижности газовых компонент.

Исследования ртути в деревьях

В работе рассматриваются результаты исследований, направленные на установление связи содержания Hg в годовых кольцах деревьев с проявлением землетрясений и крупными разрывными нарушениями. Пробы керны деревьев (тополь (*Populus suaveolens* Fisch.) и сосна (*Pinus sylvestris* L.) были отобраны в Тункинской впадине летом 2018 г. [26]. По данным измерений наибольший разброс содержаний Hg зафиксирован в кольцах тополя вблизи поселков Кырен, Галбай и Зун-Мурино, также характеризующихся наибольшими средними содержаниями по сравнению с остальными точками отбора кернов. Среднее содержание Hg в кернах тополя в общей выборке 7 нг/г, при максимальном – 35 нг/г. Распределение содержания Hg в кернах тополя характеризуется периодами длительностью от 13 до 44 лет и кратностью от 2,6 до 7 раз. Вблизи пос. Кырен выделяются “отрезки” в кернах тополя со средним содержанием Hg 22 нг/г в период с 1957 по 1973 г. и 5 нг/г – с 1974 по 2018 г. Похожий характер распределения содержания Hg в кернах отмечается и в керне тополя вблизи пос. Галбай: повышенное, по сравнению со средним для данной точки, содержание Hg в период с 1959 по 1981 г. (16 нг/г), затем с 1982 по 2006 г. снижение до 5 нг/г, а после 2007 г. увеличение до 13 нг/г. Содержание Hg в керне тополя вблизи пос. Зун-Мурино отмечается пиком повышенного содержания Hg – 14 нг/г в период с 1978 по 2001 г., до 1977 и после 2001 г. среднее содержание 2–4 нг/г. В исследованных кернах тополя в некоторых случаях максимальная концентрация Hg наблюдается непосредственно в год землетрясения (Галбай, 1989, 2016; Зун-Мурино, 1975), но чаще – до и/или после землетрясения (Зун-Мурино, 1957, 2016). Резюмируя результаты исследований можно отметить, что повышенные содержания Hg приурочены к разрывным нарушениям как субширотного, так и северо-западного простирания. Максимальная концентрация Hg выявлена в кернах сосны и тополя на участке пересечения крупных тектонических разломов. Прослежена связь между пиками высоких концентраций Hg в древесине и периодами сильных землетрясений с магнитудой более 4,0. Полученные данные могут выступать палеоиндикаторами деформаций земной коры, фиксируя как отдельные процессы кратковременного сброса тектонических напряжений, так и сами землетрясения.

Обсуждение результатов исследований

Проведенный краткий обзор ранее проведенных исследований содержания ртути в различных средах и на многих сейсмоопасных регионах с целью изучения и оценки возможности применения элемента в качестве предвестника землетрясений дают основание отметить следующее:

- в теоретическом аспекте особые физико-химические свойства ртути (в первую очередь, высокая физическая подвижность и малая химическая активность), обуславливает рассмотрение ее в качестве важнейших информаторов об энергетических изменениях, происходящих в глубинах земной коры, связанных с развитием очага землетрясения;

- для повышения эффективности прогнозирования землетрясений целесообразно применение комплексного подхода: измерение содержания ртути в

различных средах с привлечением гидрогеохимических и других данных сейсмологического мониторинга;

- в условиях антропогенного воздействия на окружающую среду в сейсмоопасных регионах с целью разбраковки аномалии целесообразно погоризонтное опробование, как в пределах тектонических зон, так и на заведомо выбранном «фоновом» участке.

Выводы

1. Ртуть является одним из перспективных химических элементов для применения на стадиях среднесрочного и краткосрочного прогноза землетрясений, а также для картирования сейсмоактивных разломов.

2. Получены положительные результаты или обнаружены перспективы применения ртути при прогнозе землетрясений в процессе исследования ее содержания в подземных и поверхностных водах, в газах, углеводородах, в почве, почвенном и атмосферном воздухе, а также в образцах деревьев.

3. Для оперативного выделения активных разломов возможно применение газортутной съемки по почвенному воздуху.

Данная работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования № 382/ПЦФ24-26 от 01.10. 2024 г.

Список литературы

1. Мавлянов Г.А., Султанходжаев А.Н., Уломов В.И. и др. Явление изменения химического состава подземных вод при землетрясении. - Диплом на открытие Л 129 от 01.03.1971. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. – М., 1973. – 42 с.

2. Стахеев Ю.И. Гидрохимические предвестники землетрясений. – М.: Наука, 1985. – С. 81.

3. Шварцман Ю.Г., Кайев Ю.А., Цевелев М.А., Мозолева Е.Л. Теоретические предпосылки использования газортутных аномалий как возможного предвестника землетрясений // Прогноз землетрясений. – Душанбе-Фрунзе: Дониш. – 1988. – № 9. – С. 154-159.

4. Varshal G.M., Sobolev G.A., Barsukov V.L. et al. 1984. Separation of volatile components from rocks under mechanical loading as the source of hydrogeochemical anomalies preceding earthquakes. Pure and Applied Geophysics 122: 463-477.

5. Cicerone R.D., Ebel J.E., Britton J. 2009. A systematic compilation of earthquake precursors. Tectonophysics 476: 371-396.

6. Koval P.V., Udodov Yu.N., Andrulaitis L.D. et al. 2003. Mercury in the source of the Angara River: five-year concentration trend and possible reasons of its variations. Doklady Earth Sciences 389(2): 282-285.

7. Камберов И.М. Эффективность ртутнометрического метода при поисках скрытых и скрыто-погребенных месторождений полезных ископаемых // Горно–металлургическая отрасль. – 2012. – № 7. – С. 55-56.

8. Камберов И.М., Маев А.Г., Николаева Л.Ф., Суздальцева Т.В. Газортутный метод при поисках месторождений углеводородов // Геология и разведка недр Казахстана. – 1996. – № 5. – С.40-45.

9. Сауков А.А. Геохимические методы поисков полезных ископаемых. – М.: МГУ, 1963. – 248 с.

10. Патент № 5368, KZ, МКИ6 G01V9/00. Способ атмохимических поисков месторождений полезных ископаемых и устройство для его осуществления / Камберов И.М., Политиков М.И. (РК) – № 950724.1; Заявлено 12.09.95; Опубл. 15.10.97. Бюл. № 4.
11. Камберов И.М., Мадьяров Н.А., Асанова А.А. Предложения по изучению масштабов накопления ртутьсодержащих материалов и отходов для снижения их негативного воздействия на здоровье населения и окружающую среду в Казахстане // Вестник Кокшетауского технического института. – 2021. – № 1 (41). – С.15-23.
12. Султанходжаев А.Н., Абдуллаев А.А., Хасанова Л.Д. и др. // Узб. Геол. Журнал. – 1982. – № 2. – С. 34.
13. Yangfen I., Zonghua W., Chunsheng S. e.a. J. *Geochem. Explor.*, 1989, v. 33. P.195.
14. Rasskazov S.V., Ilyasova A.M., Snopkov S.V., Chuvashova I.S., Chebykin E.P. Mercury hazard of earthquakes in the Baikal seismic zone / *Limnology and Freshwater Biology* 2022 (3): 1332-1334. <http://limnolfwbiol.com/index.php/LFWB/article/view/902>.
15. Чебыкин Е.П., Ильясова А.М., Снопков С.И., Рассказов С.В. Сигналы ртути подземных вод Култукского полигона во время подготовки и реализации Байкало-Хубсугульской сейсмической активизации 2020–2021 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2022.1.7> (дата обращения: 12.07.2025).
16. Ртуть в подземных водах Байкала – гидрогеохимический предвестник землетрясений? Саева О.П., Дядьков П.Г., Волынкин С.С. // Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: материалы Международной науч. конференции. – Новосибирск: изд. СГУГиТ, Т.2, № 2. – С. 83-89.
17. Ртуть в воде истока р. Ангара пятилетний тренд концентрации и возможные причины его вариаций / Коваль П. В. [и др.] // Доклады РАН– 2003. – № 2, т. 389. – С. 235–238.
18. Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Ключевский А.В. и др. Повышенные содержания ртути в воде истока реки Ангара: отклики на геодинамические воздействия и сильные землетрясения // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2020. – Т. 491. № 2. – С. 77-81.
19. Li Xuanhu. J. *Earthquake Prediction Res.*, 1992, v.1.p. 223.
20. Фурсов В.З., Вольсфон Н.Б., Хваловский А.Г. ДАН СССР, 1968, т. 179, с.1213.
21. Пережилов А.Е., Стахеев Ю.И., Ибраев Т.А. // Горный журнал. – 1995. – № 1. с. 1.
22. Гидрогеохимические предвестники землетрясений / под. ред. Г.М. Варшал. – М.: Наука, 1985. – 286 с.
23. Stakheev Yu., Gerasimovsky V.I., Stakheeva S.A. *Geochem. Internal.*, 1975, v.13, p. 1668.
24. Ryzhova V., Mashyanova N., Ozerova N., Pogareva S. / Regular variations of the mercury concentration in natural gas // *The Science of the Total Environment*. – 2003. – № 304. – P. 145–152.
25. Рыжов В.В., Машьянов Н.Р., Озерова Н.А. Особенности пространственно-временной изменчивости содержания ртути в природных углеводородных газах. Опубликовано в: Эколого-геохимические проблемы ртути (сборник научных статей). – М.: ИМГРЭ, 2000. – С. 66-82.
26. Рихванов Л.П., Ляпина Е.Е., Юсупов Д.В. Эманиации ртути Байкальского рифта по данным изучения годовых колец деревьев (на примере Тункинской впадины). Док. РАН. Науки о Земле. – 2021. – т. 496, № 1. – С. 30-35.

References

1. Mavlyanov G.A., Sultanhodzhaev A.N., Ulomov V.I. i dr. YAvlenie izmeneniya himicheskogo sostava podzemnyh vod pri zemletryaseni. - Diplom na otkrytie L 129 ot 01.03.1971. Otkrytiya, izobreteniya, promyshlennye obrazcy, tovarnye znaki. – M., 1973. – 42 s.
2. Staheev YU.I. Gidrohimicheskie predvestniki zemletryaseni. – M.: Nauka, 1985. – S. 81.
3. SHvarcman YU.G., Kajev YU.A., Cevelev M.A., Mozoleva E.L. Teoreticheskie predposylki ispol'zovaniya gazortutnyh anomalij kak vozmozhnogo predvestnika zemletryaseni // Prognoz zemletryaseni. – Dushanbe-Frunze: Donish. – 1988. – № 9. – S. 154-159.
4. Varshal G.M., Sobolev G.A., Barsukov V.L. et al. 1984. Separation of volatile components from rocks under mechanical loading as the source of hydrogeochemical anomalies preceding earthquakes. Pure and Applied Geophysics 122: 463-477.
5. Cicerone R.D., Ebel J.E., Britton J. 2009. A systematic compilation of earthquake precursors. Tectonophysics 476: 371-396.
6. Koval P.V., UdodovYu.N., Andrulaitis L.D. et al. 2003. Mercury in the source of the Angara River: five-year concentration trend and possible reasons of its variations. Doklady Earth Sciences 389(2): 282-285.
7. Kamberov I.M. Effektivnost' rtutometricheskogo metoda pri poiskah skrytyh i skryto-pogrebennyh mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh // Gorno–metallurgicheskaya otrasl'. – 2012. – № 7. – S. 55-56.
8. Kamberov I.M., Maev A.G., Nikolaeva L.F., Suzdal'ceva T.V. Gazortutnyj metod pri poiskah mestorozhdenij uglevodorodov // Geologiya i razvedka neдр Kazahstana. – 1996. – № 5. – S. 40-45.
9. Saukov A.A. Geohimicheskie metody poiskov poleznyh iskopaemyh. – M.: MGU, 1963. – 248 s.
10. Patent № 5368, KZ, MKI6 G01V9/00. Sposob atmohimicheskikh poiskov mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / Kamberov I.M., Politkov M.I. (RK) – № 950724.1; Zayavleno 12.09.95; Opubl. 15.10.97. Byul. № 4.
11. Kamberov I.M., Mad'yarov N.A., Asanova A.A. Predlozheniya po izucheniyu masshtabov nakopleniya rtut'soderzhashchih materialov i othodov dlya snizheniya ih negativnogo vozdejstviya na zdorov'e naseleniya i okruzhayushchuyu sredu v Kazahstane // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo instituta. – 2021. – № 1 (41). – S.15-23.
12. Sultanhodzhaev A.N., Abdullaev A.A. Hasanova L.D. i dr. // Uzb. Geol. Zhurnal. – 1982. – № 2. – S. 34.
13. Yangfen I., Zonghua W., Chunsheng S. e.a. J. Geochem. Explor., 1989, v. 33. P.195.
14. Rasskazov S.V., Ilyasova A.M., Snopkov S.V., Chuvashova I.S., Chebykin E.P. Mercury hazard of earthquakes in the Baikal seismic zone / Limnology and Freshwater Biology 2022 (3): 1332-1334. <http://limnolfwbiol.com/index.php/LFWB/article/view/902>.
15. CHEbykin E.P., Il'yasova A.M., Snopkov S.I., Rasskazov S.V. Signaly rtuti podzemnyh vod Kultukskogo poligona vo vremya podgotovki i realizacii Bajkalo-Hubsugul'skoj sejsmicheskoy aktivizacii 2020–2021 gg. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2022.1.7>
16. Rtut' v podzemnyh vodah Bajkala – gidrogeohimicheskij predvestnik zemletryaseni? Saeva O.P., Dyad'kov P.G., Volynkin S.S. // Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Ekonomika. Geoekologiya: materialy Mezhdunarodnoj nauch. konferencii. – Novosibirsk: izd. SGUGiT, T.2, № 2. – S. 83-89.

17. Rtut' v vode istoka r. Angary pyatiletnij trend koncentracii i vozmozhnye prichiny ego variacij / Koval' P. V. [i dr.] // Doklady RAN– 2003. – № 2, t. 389. – S. 235–238.
18. Grebenshchikova V.I., Kuz'min M.I., Klyuchevskij A.V. i dr. Povyshennye soderzhaniya rtuti v vode istoka reki Angara: otkliki na geodinamicheskie vozdejstviya i sil'nye zemletryaseniya // Dokl. RAN. Nauki o Zemle. – 2020. – T. 491. № 2. – S. 77-81.
19. Li Xuanhu. J. Earthquake Prediction Res., 1992, v.1.p. 223.
20. Fursov V.Z., Vol'sfon N.B., Hvalovskij A.G. DAN SSSR, 1968, t. 179, s.1213.
21. Perezhilov A.E., Staheev YU.I., Ibraev T.A. // Gornyj zhurnal. – 1995. – № 1. – s. 1.
22. Gidrogeohimicheskie predvestniki zemletryasenij / pod. red. G.M. Varshal. – M.: Nauka, 1985. – 286 s.
23. Stakheev Yu., Gerasimovsky V.I., Stakheeva S.A. Geochem. Internal., 1975, v.13, p. 1668.
24. Ryzhova V., Mashyanova N., Ozerova N., Pogareva S. /Regular variations of the mercury concentration in natural gas // The Science of the Total Environment 304 (2003), p. 145–152.
25. Ryzhov V.V., Mash'yanov N.R., Ozerova N.A. Osobennosti prostranstvenno-vremennoj izmenchivosti soderzhaniya rtuti v prirodnyh uglevodorodnyh gazah. Opublikovana v: Ekologo-geohimicheskie problemy rtuti (sbornik nauchnyh statej). – M.: IMGRE, 2000. – S. 66-82.
26. Rihvanov L. P., Lyapina E.E., YUsupov D.V. Emanacii rtuti Bajkal'skogo rifta po dannym izucheniya godovyh kolec derev'ev (na primere Tunkinskoj vpadiny). Dok. RAN. Nauki o Zemle. – 2021. – t. 496, № 1. – S. 30-35.

А. У. Абдуллаев, И. М. Камбаров

*ҚР ТЖМ «Сейсмологиялық бақылаулар мен зерттеулердің ұлттық ғылыми
орталығы» ЖШС, Алматы, Қазақстан*

ТЕКТНИКАЛЫҚ ЖАРЫЛЫМДАРДЫ БӨЛУ ЖӘНЕ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ЖЕР СІЛКІНІСІН БОЛЖАУ ҮШІН СЫНАПТЫ ЗЕРТТЕУДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Андатпа. Бұрын жүргізілген зерттеулердің қысқаша талдауы негізінде қоршаған ортаның әртүрлі объектілеріндегі сынаптың құрамы (жер асты және жер үсті сулары, жер үсті атмосферасы, топырақ және топырақ ауасы, ағаш үлгілері), жер сілкінісінің тиімді болжамын іздеу, жер сілкінісін қысқа мерзімді болжау және белсенді тектоникалық жарылымдарды оқшаулау үшін сынап құрамын өлшеу перспективасы туралы қорытынды жасалады.

Түйінді сөздер: жер сілкінісінің болжамы, бастапқы белгілері, сынап мөлшері, тектоникалық жарылымдар, картаға түсіру, жер асты сулары, жер үсті сулары, топырақ ауасы, жер үсті атмосферасы, жылдық ағаш сақиналары.

A. U. Abdullaev, I. M. Kamberov

*LLP «National Scientific Center for Seismological Observations and Research» Ministry of
Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan*

THEORETICAL BASIS AND PROSPECTS OF MERCURY RESEARCH FOR SHORT-TERM EARTHQUAKE FORECASTING AND IDENTIFICATION OF ACTIVE TECTONIC FAULTS

Abstract. Based on a brief analysis of previously conducted studies of mercury content in various environmental objects (underground and surface water, ground atmosphere, soil and soil air, tree samples) aimed at finding effective earthquake precursors, a conclusion is made about the prospects of measuring mercury content for short-term earthquake forecasting and identifying active tectonic faults.

Keywords: earthquake prediction, precursors, mercury content, tectonic faults, mapping, groundwater, surface water, soil air, surface atmosphere, tree rings.

Сведения об авторах / Information about the authors

Абдуллаев Абдулазиз Умарович – доктор геолого-минералогических наук, Академик Международных академий МАИН и МАНЭБ, заведующий Лабораторией флюидного режима земной коры ТОО «Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований» МЧС РК, Алматы, Казахстан. E-mail: u.abdullaev@mail.ru

Камберов Иркин Мурдунович – ведущий научный сотрудник лаборатории флюидного режима земной коры ТОО «Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований» МЧС РК, Алматы, Казахстан. E-mail: irkamberov@mail.ru

Abdulaziz U. Abdullaev – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of International Academies MAIN and MANEB, Head of the Laboratory of the Fluid Regime of the Earth's Crust LLP «National Scientific Center for Seismological Observations and Research» Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan. E-mail: u.abdullaev@mail.ru

Irken M. Kamberov – leading researcher of the Laboratory of the Fluid Regime of the Earth's Crust LLP «National Scientific Center for Seismological Observations and Research» Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan. E-mail: irkamberov@mail.ru