

## УРАН-ИЗОТОПНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОРИСКОВ В КЫРГЫЗСТАНЕ И РЕГИОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

*Мамбеталиев Э.Д.<sup>1</sup>, Тузова Т.В.<sup>2</sup>, Усупаев Ш.Э.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г. Бишкек, Кыргызстан,

<sup>2</sup>Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР (ИВПиГЭ), г. Бишкек, Кыргызстан

*В статье рассматриваются вопросы использования методов урановой изотопной геологии в решении задач оценки георисков: прорыва горных озер, опасностей в карьерах и шахтах при освоении месторождений, загрязнения от радиоактивных хвостохранилищ в Кыргызстане и трансграничных районах со странами Центральной Азии.*

*The present paper reviews the issues of using methods of uranium-isotopic geology to solve georisks assessment-related problems: mountain lakes outburst, hazards in opencast mines when developing deposits, contamination from radioactive tailing dumps in Kyrgyzstan and transboundary regions in Central Asia.*

Уран-изотопный метод основан на явлении процесса радиоактивного распада  $^{238}\text{U}$  в  $^{234}\text{U}$ , в результате которого происходит естественное разделение четных изотопов урана при их переходе из горных пород в жидкую фазу [1]. Фракционирование изотопов урана носит как установлено исследованиями научных школ В.В. Чердынцева и П.И. Чалова, в окружающей геологической среде глобальный характер [2-11]. Открытие "эффекта Чердынцева-Чалова" позволило многим исследователям Центральной Азии и СНГ (Алехина В.И., Батурич Г.Н., Вартамян Г.С., Васильев И.А., Гудзенко В.В., Дюлидзе Н.И., Ефимова Е.И., Киселев Г.Н., Ковалева С.А., Коченов А.В., Латипов П.Л., Мальшев В.И., Меркулова К.И., Мусин Я.А., Овчинников В.Я., Светличная Н.А., Таскаев А.Л., Титаева Н.А., Тихонов А.И., Тузова Т.В., Филонов В.А. и др.) по соотношению изотопов урана изучать различные геофизические процессы, протекающие в морях, океанах, реках, озерах, подземных водах, почвах, грунтах, горных породах и рудных телах [2-20].

На рудных объектах 30 месторождений полезных ископаемых определены уран-изотопный состав в подземных и поверхностных водах региона Центральной Азии. При освоении месторождений проводится оценка по изотопии урана для мониторинга развития и активизации опасных экзогенных процессов.

Анализы по изотопии урана выполнены исследователями в горячих рассолах, морских, минеральных, пресных водах, водах глубинных разломов, на рудных месторождениях, а также поверхностных водах России, Украины, Кавказа, Памира, Северного Тянь-Шаня, Якутии [4-6].

Установлено закономерное увеличение  $^{234}\text{U}$  в подземных водах скрытых рудных зон и его снижение в водах окисленных руд. В водах активизированных разломов сейсмоактивных зон, как правило, возрастает избыток  $^{234}\text{U}$ , а в залеченных разломах сохраняются равновесные соотношения урана. Поэтому выявление активных разломов являющихся источниками природных и техногенных георисков на основе метода изотопии урана является актуальной [4-6].

На территории Кыргызстана в водах Кадамджайского сурьмяного и Терексайского полиметаллического месторождений Тянь-Шаня, в верхней части окисления руд избыток  $^{234}\text{U}$  достигает 100% на Терексайском и 80%. При этом на Кадамджайском месторождениях убывает с глубиной до 12%.

На месторождении Актюз, где в рудных штоках представленных гранофирами палеозоя в стенке карьера при свежем вскрытии рудных тел на протяжении 150 м установлен избыток  $^{234}\text{U}$  в рудах - от  $1.30 \pm 0.02$  до  $1.73 \pm 0.02$ , непосредственно во вмещающих их породах - равновесное соотношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 0.99 \pm 0.02$ , а в зонах дробления дефицит  $^{234}\text{U}$  до 47%.

На Хайдарканском рудном поле с пластовыми залежами джаспероидных брекчий, в свежескрытой сухой камере на глубине 300 м от поверхности в пробах установлено соотношение  $\gamma = ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  от  $0.88 \pm 0.02$  в экранирующих оруденение сланцах до  $2.09 \pm 0.02$  в рудах с порошковой киноварью и охрами. В массивной однородной киновари  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1.17 \pm 0.02$ , а в кристаллической - дефицит  $^{234}\text{U}$ .

На Чаувайском рудном поле в джаспероидных брекчиях, плотно сцементированных кремнем, вблизи контакта известняков песчаников и сланцев, не зависимо от их положения и обводненности вмещающих пород, установлены значения  $\gamma$  от  $0.70 \pm 0.02$  для джаспероидов с кристаллами киновари до  $1.99 \pm 0.02$  для джаспероидов с вкрапленной киноварью.

На месторождении Чонкой-Улугтауского рудного поля зафиксированы значения  $\gamma$  от  $0.82 \pm 0.02$  для листовитов до  $1.17 \pm 0.02$  для массивной киновари [11].

**Изотопы урана в водах глубинных разломов.** В водах глубинных разломов земной коры, как правило, имеет место большой избыток  $^{234}\text{U}$  по сравнению с поверхностными и грунтовыми водами тех же регионов. Для узлов пресечения региональных субширотных и северо-западных тектонических зон, в подземных водах активизированных разломов избыток  $^{234}\text{U}$  на 60-90% выше, чем в источниках прилегающих районов [5,7].

Изотопия урана позволяет при создании сети мониторинга проводить исследования георисков сейсмо-тектонического характера.

**Изотопный состав уранов атмосферных осадках и ледниках.** Из-за эоловых процессов, осуществляющих в воздухе пылевой перенос литосферных материалов, содержащих уран, обнаружены измеримые концентрации урана в атмосферных осадках, ледниках и талых водах морено-ледниковых комплексов [13-14].

Воды атмосферных осадков характеризуются ультранизким общим содержанием урана  $C_u = (1 - 6) \cdot 10^{-7}$  г/л и равновесным соотношением его изотопов  $\gamma = 1,02 \pm 0,02$ .

Талые воды погребенных льдов отличаются более высоким содержанием урана  $C_u = (2 - 30) \cdot 10^{-6}$  г/л и неравновесным соотношением  $\gamma$  за счет преимущественного выщелачивания наиболее подвижного дочернего изотопа  $^{234}\text{U}$  из моренных отложений;  $\gamma$  во льдах морен отклоняется от равновесия до 15-20%.

В талых водах ледников содержание урана больше, чем в атмосферных осадках, но меньше, чем в погребенных льдах, а  $\gamma$  в них незначительно отклоняется от равновесного.

Вода в морено-ледниковых озерах по значениям  $C_u$  и  $\gamma$  отличается от талых вод ледников и атмосферных осадков тем больше, чем больше в питании озера доля погребенных льдов, слагающих борта и днища озерных ванн и тоннелей каналов стока, что может свидетельствовать о нестабильности озера и повышении вероятности его прорыва. Чем выше общее содержание урана в озерных водах и чем больше отношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в них отличается от равновесного, тем «старше» озеро в своем развитии и тем вероятнее возможность его прорыва. Так, для Северного Тянь-Шаня по изотопному составу урана наиболее прорывоопасными озерами являются озера Тезтор в бассейне р. Ала-Арча ( $C_u = 6 - 28 \cdot 10^{-6}$  г/л;  $\gamma = 0,90 - 0,93$ ) и Аtdжайлоо в бассейне р. Кегеты ( $C_u = 1,69 \pm 0,05 \cdot 10^{-6}$  г/л;  $\gamma = 0,89 \pm 0,01$ ). Озера Тезтор прорывались уже несколько раз после 1991 г., последний прорыв, который был спрогнозирован уран-изотопным методом, произошел 31.07.2012 г. Оз. Аtdжайлоо прорвалось в 1997 г. и сейчас находится на прорывоопасной стадии развития [15-18].

**Изотопы урана в поверхностных и подземных водах.** Концентрация урана в реках и отношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в них изменяются в широком интервале. Воды горных рек формируются в основном за счет атмосферных осадков, тающих льдов и подземных вод верхнего водоносного горизонта. Изотопный состав урана в последних зависит от водовмещающих пород, является надежной естественной меткой вод региона, оставаясь при неизменной гидрологической обстановке постоянным в течение десятилетий, но может заметно отличаться для вод разных мест. Это позволяет по изотопному составу урана оценивать долю каждой генетической

составляющей речного стока и изучать его относительное распределение по всему речному бассейну. Наличие в бассейне хотя бы одного надежного гидрологического поста дает возможность на период изотопного опробования рассчитать все элементы водного баланса бассейна. Изотопия урана позволяет оценить вклад балансовых составляющих в формировании таких георисков как затопление, подтопление селевые паводки при условии проведения многолетних мониторинговых исследований. Возможности метода показаны при уточнении элементов водного баланса бассейнов рек Иссык-Кульского бассейна, Чу, Сары-Джаз, Талас (Северный Тянь-Шань), Гунт, Пяндж, Кыкылсу (Памиро-Алай) [8-10, 12, 19, 20].

Так, для бассейна р. Чу по изотопному составу урана установлено следующее [19, 20]:

- рассчитана доля стока р. Чон-Кемин в балансе бассейна ( $25 \pm 5\%$ ), что совпадает с данными гидрологических наблюдений;

- показана стабильность отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  во времени в течение последнего полувека на участках отсутствия заметной приточности: Быстровка - Токмак ( $\gamma = 1,51 \pm 0,01$ ); Кен-Булуь - Карасу ( $\gamma = 1,31 \pm 0,04$ ); р-н Тасоткельского вдхр ( $\gamma = 1,30 \pm 0,01$ );

- оценена доля подземной составляющей стока с южных склонов Кыргызского хр. от г. Токмок до Кордая (не более 50%) и за счет выклинивания обогащенных ураном вод подземных вод в районе Тасоткельского вдхр. (50-60 %);
- обнаружено обогащение ураном поверхностных вод вдоль по течению за счет подземных до опасных концентраций в нижней части бассейна в районе урановой аномалии.

Для бассейнов рек Гунт-Пяндж показаны особенности формирования изотопного состава урана в водах Памира и оценена доля приточности на разных участках зоны формирования стока р. Аму-Дарья [21, 22].

Для бассейна р. Кызылсу оценена доля стока основных притоков от истоков реки до границы с Таджикистаном и определен вклад вод разного генезиса (ледниковых, коренных пород, четвертичных отложений) в питании каждого притока [19, 20].

**Изотопы урана в подземных водах.** Подземные воды связаны с поверхностными водами, они формируются путем смешения атмосферных осадков, поверхностного стока и трещинных, карстовых, трещинно-пластовых и пластовых вод нижележащих горизонтов.

Уран в грунтовых водах формируется в результате процессов растворения, выщелачивания и десорбции в специфических условиях, на биологических и геохимических барьерах. Наиболее высокие содержания урана в водах урановых месторождений. По результатам исследований Латипова С.У. подземные воды артезианских бассейнов Средней Азии в зависимости от литологического состава вмещающих пород имеют следующие значения соотношений  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ : воды известняков  $1,10 -$

1,20; песков 1.30-1.60; песчаников 2,10-2,20; галечников и конгломератов 2,3-2,5; гранитов и гранодиоритов 3,60-5,50. Им оценены скорости движения подземных вод меловых отложений в краевых частях Ташкентского бассейна в среднем около 10 см/год, а в центральной части депрессии около 1 см/год, а также рассчитан возраст Ташкентских минеральных вод в 1.7 млн.лет [4]. Изотопия урана в подземных водах позволяет вести мониторинг за такими георисками как подтопление территорий, засоление, загрязнений грунтовых вод.

**Изотопы урана в подземных водах урановых месторождений.** Высокая концентрация урана и его изотопный состав в подземных водах зависит от наличия радиоактивных руд в горных породах. По данным Н.Г. Сыромятникова, К.Е. Ивановой (1961, 1976), в ореольных водах возникает аномальный избыток  $^{234}\text{U}$  (до  $17.0 \pm 0.05$ ), при высоких концентрациях общего содержания ( $C_u = 10^{-3}$  г/л). Однако в водах рудных тел избыток  $^{234}\text{U}$  не превышает 200%, на периферии рудных тел наблюдается его увеличение, причем с удалением по направлению движения вод на сотни метров происходит увеличение в несколько раз [6].

**Изотопы урана в подземных водах в результате миграции радионуклидов из хвостохранилища рудных объектов.**

Отходы горнорудного производства Кыргызстана сконцентрированные в техногенно созданных радиоактивных хвостохранилищах содержат около 70% тех же изотопов, которые содержались в природных рудных телах.

В водах, омывающих погруженные рудные тела Терек-Тереканское рудного поля, а также в водах, омывающих неокисленные руды, избыток урана-234 достигает 200%.

В источниках подземных вод Актюзского полиметаллического рудного поля отношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  достигает 2.52, при высоких концентрациях урана (до  $10^{-4}$  г/л).

Максимальный избыток урана-234 в подземных водах зафиксирован в Кеминской рудной зоне ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 3.2 \pm 0.01$ ) [4,11].

Рудные радиоактивные и нерадиоактивные месторождения сопровождаются подземными водами с аномальными избытками  $^{234}\text{U}$ , достигающими 200% и более. На рудных урановых месторождениях общее содержание урана в водах в несколько раз выше, чем в неурановых.

Например изотопный состав и содержание урана в подземных водах Кара-Балтинского хвостохранилища, определенный в реке Кара-Балта и 9 скважинам, где были отобраны пробы воды объемом до 20 литров, соответственно составили по изотопии от  $1.632 \pm 0.032$  (р. Кара Балта),  $1.723 - 1.760 \pm 0.029$  (для подземных вод), а также содержание урана в р. Кара Балта  $3.53 \pm 0.11$ , в подземных водах от  $2.11 - 2.64 \pm 0.08$  г/л. [4,23].

Причина геориска в том, что аллювиально-пролювиальные отложения

четвертичного возраста сложенные гравийно-галечными отложениями имеют коэффициенты фильтрации от 80 до 100 м/сут, при этом покровные суглинки мощностью от 0,7 до 1 м., способствуют интенсивному проникновению загрязняющих радионуклидов из хвостохранилища в подземные воды. Общая площадь хвостохранилища составляет до 240 га. Содержание урана изменяется от  $52 \cdot 10^{-5}$  до  $204 \cdot 10^{-5}$  [24].

Использование метода неравновесного урана для мониторинга георисков от воздействия радиоактивных отходов следует осуществлять как вблизи хвостохранилищ, так и в зоне их негативного влияния.

#### Выводы

1. Оценка изотопного состава и концентрации урана в подземных водах и горных породах в различных гидро- и инженерно-геологических условиях позволяет создавать мониторинговые сети наблюдений и предупреждать геориски от прорыва плотин горных озер, загрязнении вод, в том числе исходящих из горных хранилищ радиоактивных отходов.
2. Высокая интенсивность протекающих на поверхности Земли физико-химических процессов, ведет к увеличению концентрации урана в верхней части гидросферы на несколько порядков в сравнении с глубинными водами. Посредством метода радиоактивного распада урана-238, имеется возможность оценки темпов развития экзогенных и эндогенных процессов в условиях современного преобразования геосферы.
3. Скрытые рудные полезные ископаемые на глубине имеют аномальные содержания урана-234, вследствие преобразующего воздействия подземных вод в рудной зоне, что позволяет использовать изотопы урана, в качестве не только поискового критерия скрытого оруденения, а также мониторинговой оценке георисков при освоении месторождений.

#### Литература:

1. Чердынцев В.В., Чалов П.И. Явление естественного разделения  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ . Открытия в СССР. М.: ЦНИИПИ, 1963.
2. Тузова Т.В. Физические основы метода и исследование возможностей датирования некоторых природных объектов по неравновесному урану. Автореф. канд дисс. Алма-Ата 1966, 16 с.
3. Чалов П.И. Датирование по неравновесному урану. Фрунзе: Илим, 1968, 110с.
4. Латипов С.У. Выявление гидрогеологических особенностей некоторых артезианских бассейнов Средней Азии с применением данных изотопных отношений урана. Автореф. канд дисс. Ташкент, 1972, 22 с.
5. Чалов П.И. Изотопное фракционирование природного урана. Фрунзе: Илим, 1975, 230 с.
6. Сыромятников Н.Г., Иванова Э.И., Трофимова Л.А. Радиоактивные элементы как геохимические

индикаторы породы- и рудообразования. – М.: Атомиздат, 1976.

7. Чалов П.И., Тузова Т.В., Алехина В.М. Изотопные особенности вод разломов земной коры в сейсмически активной зоне. – Фрунзе: Илим, 1981.

8. Чалов П.И., Тузова Т.В., Меркулова К.И. Неравновесный уран как количественный индикатор при изучении формирования стока рек. // Водные ресурсы, №4, 1983, с.105-111.

9. Чалов П.И., Тузова Т.В. Уран-изотопный метод изучения распределения стока речных бассейнов. // Мелиорация и водное хозяйство, №2, 1990, с.44-46

10. Чалов П.И., Тихонов А.И. Изучение условий обводнения рудных месторождений на основе уран-изотопной информации (на примере Чаувайского рудного поля). // Геология рудных месторождений. №3. 1990, с. 103-109.

11. Тузова Т.В., Филин К.С. Оценка доли подземной составляющей стока малых горных рек уран-изотопным методом. // Водные ресурсы, №2, 1990, с. 72-75.

12. Тузова Т.В., Романов В.В., Власова Л.В., Ерохин С.А., Жердев А.А., Шатравин В.И. Уран и тритий в ледниковых озерах Северного Тянь-Шаня // Водные ресурсы, 1994, т.21, №2. – с. 236-239.

13. Тузова Т.В., Шатравин В.И. Особенности формирования изотопного состава урана во льдах и водах высокогорного литогенеза // Изв. АН КР, 1994, №3. – С.55-59.

14. Tuzova T.V. Investigation of Waters of the Issyk-Kyl Basin with the Use of Uranium Isotopic Method. // Study of the Issyk-Kyl Lake Hydrodynamics with the Use of Isotopic Methods. Part II. Institute of water problems and hydropower, NAS KR: ISTC. - Bishkek: Ilim, 2006, pp. 102-108.

15. Valyaev A.N., Erochin S.A., Tuzova T.V. Assessments and decreasing of risks and damages from outbursts of Tien-Shan high mountains lakes. In Book: Uranium, Mining and Hydrogeology. Published House: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 819-826.

16. Valyaev A.N., Erochin S.A., Tuzova T.V. Processes under outbursts of mountain lakes and model for risk assessment. In Book: "Proceedings CHA-OS2008 Editor: H. Skiadas, Published House: World Scientific, 2009, pp. 350-363.

17. Маматканов Д., Тузова Т.В., Ерохин С.А. Оценка риска прорыва горных озер с использованием уран-изотопного метода, Материалы Международной конференции «Проблемы радиозоологии управления отходами уранового производства в Центральной Азии». Бишкек - Иссык-Куль-«Аврора», 6-9 июня 2011 г., с.88-92.

18. Маматканов Д., Тузова Т.В. Evaluation of Water Balance Components and Ecological Condition of poorly studied Transboundary River Basins by Isotope Methods - AASSA Regional Workshop "Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change", August 19-22, 2013, Barnaul, Russia, с.146-158.

19. Uralbekov B., Burkitbaev M., Satybaldiev V., Matveeva I., Tuzova T., Snow D. spatial and temporal variability of  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  activity ratios in the Shu River, Central Asia. // Environmental Earth Sciences, No 4, April 2014, pp. 111-119.

20. Тузова Т.В., Новиков В.Н. Уран-изотопные особенности формирования стока рек. Пяндж // Водные ресурсы, №1, 1991, с. 88-95.

21. Тузова Т.В., Прохоренко С.И., Филин К.С. Распределение стока бассейна р. Гунт по уран-изотопным данным // Водные ресурсы, №3, 1992, с. 157-162.

22. Чалов П.И., Васильев И.А., Алехина В.М. Основные проблемы оценки радиационной и иной опасности промпредприятий уранового производства для окружающей среды. В Кн. Радиологические и смежные проблемы уранового производства. Часть 1. Бишкек, 2000, с.7-35.

23. Толстихин Г.М., Толстихина Г.Г. Условия формирования загрязнений подземных вод на участке хвостохранилища Кара-Балтинского горнорудного комбината В Кн. Радиологические и смежные проблемы уранового производства. Часть 1. Бишкек, 2000, с.70-75.