

*Тузова Т.В., Сатылканов Р., Шатравин В.И., Ваткинс Д.*

**НАРЫН ДАРЫЯСЫНЫН ЖОГОРКУ БӨЛҮГҮНДӨГҮ МУЗДАРДАГЫ ЖАНА СУУЛАРДАГЫ УРАНДЫН ИЗОТОПТОРУ**

*Тузова Т.В., Сатылканов Р., Шатравин В.И., Ваткинс Д.*

**ИЗОТОПЫ УРАНА ВО ЛЬДАХ И ВОДАХ ВЕРХОВЬЕВ РЕКИ НАРЫН**

*T.V. Tuzova, R. Satylkanov, V.I. Shatravin, D. Watkins*

**URANIUM ISOTOPES IN ICE'S AND WATERS OF THE UPSTREAM OF THE NARYN RIVER**

УДК: 556.314:550.461:546.791(575.2)(04)

Арал деңизинин куймаларынын бири болгон – Сыр-Дарыяны түзгөн Кара-Дарыяга куйган Нарын дарыясынын куймаларынын бири - Кумтөр дарыясынын башатын түзгөн мөңгүлөрдөгү жана суулардагы уранды жана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  катнашын изилдөөнүн натыйжалары баяндалды. Изилдөөлөр Кыргыз Республикасынын түндүк-чыгышындагы Борбордук Тянь-Шань мөңгү түйүндөрүнүн ортосунда – Ак-Шыйрак тоо массивинде жайгашкан Кумтөр алтын кенинде 454 PEER-долбоору боюнча акыркы 3 жылдын ичинде жүргүзүлдү. Бул иш кендин сууларынын жана муздарынын радиоэкологиялык абалына комбинаттын алтын казуу иш-аракеттеринин тийгизген таасирин баалоо максатын көздөгөн, анткени алтын кендеринде коштоочу элемент катары оор металлдар, анын ичинен уран жана анын бөлүнүүсүнүн натыйжасында пайда болуучу продукттар бар болот.

**Негизги сөздөр:** суунун радиоактивдүүлүгү, урандын изотоптору, мөңгүлөр, Кумтөр кени, оор металлдар, Нарын дарыясынын бассейни.

Изложены результаты изучения содержания урана и соотношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в ледниках и водах зоны формирования стока р.Кумтор - одного из притоков р.Нарын, которая, сливаясь с Кара-Дарьей, образует Сыр-Дарью – один из двух притоков Аральского моря. Исследования проводились в течение последних 3 лет по PEER-проекту 454 в районе золоторудного месторождения Кумтор, которое расположено на северо-востоке Кыргызской Республики высоко в горах в центре узла оледенения Центрального Тянь-Шаня – горного массива Ак-Шыйрак. Целью данной работы являлась оценка воздействия золотодобывающей деятельности комбината на радиоэкологическое состояние вод и льдов месторождения, поскольку сопутствующим элементом на золоторудных месторождениях, как правило, являются тяжелые металлы, в том числе уран и продукты его распада.

**Ключевые слова:** радиоактивность воды, изотопы урана, ледники, месторождение Кумтор, бассейн реки Нарын.

The results of the study of the uranium content and the ratio of  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  in glaciers and waters of the Kumtor river flow formation zone, one of the tributaries of the Naryn river, which, merging with Kara Darya, forms the Syr Darya - one of the two tributaries of the Aral sea. The research was conducted during the last 3 years under PEER - project 454 in the area of the Kumtor gold Deposit, which is located in the North-East of the Kyrgyz Republic high in the mountains in the center of the glacial node Of the Central Tien Shan-the AK – shiyrak mountain range. The purpose of this work was to assess the impact of gold mining activities of the plant on the radio-ecological

state of the waters and ice deposits, as the accompanying element in gold deposits, as a rule, are heavy metals, including uranium and its decay products.

**Key words:** radioactivity of water, isotopes of uranium, glaciers, Kumtor Deposit, Naryn river basin.

**Введение.** Радиологическая чистота природных вод – один из критериев их экологического состояния. Воды большинства рек Центральной Азии ледниково-снегового типа питания. Поэтому актуальным является постановка исследований по изучению радиологического состояния вод в зонах формирования стока горных рек. Было изучено содержание урана и соотношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  во льдах и водах приледниковой зоны формирования стока р.Кумтор - одного из истоков р. Нарын, которая, сливаясь с Кара-Дарьей, образует Сыр-Дарью – один из двух притоков Аральского моря. Исследования проводились в течение последних 3 лет по PEER-проекту 454 в районе золоторудного месторождения Кумтор, которое расположено на северо-востоке Кыргызской Республики, высоко в горах в центре узла оледенения Центрального Тянь-Шаня – горного массива Ак-Шыйрак [1].

Целью данной работы являлась оценка воздействия золотодобывающей деятельности комбината на радиоэкологическое состояние вод и льдов месторождения, поскольку сопутствующим элементом на золоторудных месторождениях, как правило, являются тяжелые металлы, в том числе уран и продукты его распада.

Месторождение Кумтор было разведано в последней четверти прошлого века. В 1994 г. начато строительство золоторудного комбината, в 1997 г. началось коммерческое производство золота, в 1998г. выплавлен первый миллион унций золота, в 2002 г. производство золота на Кумторе превысило 100 тонн (3,2 млн унций), в настоящее время продолжается наращивание темпов его добычи [1].

Рудник «Кумтор» является крупнейшим золотодобывающим предприятием Центральной Азии, управляемым канадской компанией Centerra Gold Inc. Всего с начала промышленного производства в мае 1997 г. по 31.12.2015 г. на «Кумторе» произведено 10,42 млн унций или 324,1 тонн золота [2].

Золотодобывающий комплекс расположен в непосредственной близости у ледников, а часть рудного тела находится под ледниками. Для безопасного

доступа к руде и защиты открытого карьера от затопления талой ледниковой водой в процессе горных работ лед удаляется в соседние ледниковые отвалы. Складирование пустой породы и льда производится отдельно в долинах рек Лысый (ледник Лысый), Чон Сары-Тор (ледник Давыдова) и Кичи Сары-Тор (ледник Сары-Тор) (рис. 1-4). С 2014 г. начата долгосрочная программа мониторинга ледников и гидрометеорологических условий бассейна р.Кумтор сотрудниками Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР с привлечением гляциологов из Московского Государственного Университета им. Ломоносова (РФ).

**Объектами исследования** являлись льды и воды, стекающие с ледников, окружающих месторождение «Кумторзолото». Площадь месторождения включает часть ледников Давыдова, Лысый, Сары-Тор (рис. 1). В непосредственной близости находятся ледники Сары-Чат, Петрова и Бордо. На территории месторождения формируется р. Кумтор, вытекающая из озера Петрова, расположенного у языка одноименного ледника. Река Кумтор является одним из истоков бассейна Нарын – Сырдарья.

**Методика исследований.** Приледниковые воды, как правило, характеризуются очень низкими концентрациями тяжелых металлов, в том числе урана. При проведении исследований из разных точек

месторождения отбиралось по 1-2 л. талых вод. По разработанной нами ранее методике [2-10] производилось извлечение из них урана, его радиохимическая очистка от других мешающих элементов и радионуклидов и подготовка к определению изотопного состава.

Для осаждения урана воду фильтровали, подкисляли до кислой реакции, добавляли строго дозированный изотопный трассер  $^{232}\text{U}$  для определения по нему общее содержание урана. Затем добавляли хлористое железо и раствором аммиака осаждали гидроокиси с ураном. Осадок гидроокисей растворяли в горячей концентрированной азотной кислоте. Из полученного раствора проводили экстракцию изотопов урана 30% раствором ТБФ в толуоле для отделения от других радиоактивных элементов по методике, описанной в [3-6].

Резкстрагированный водный раствор с изотопами урана выпаривали досуха, обрабатывали концентрированной азотной кислотой для удаления остатков органических веществ.

Полученные соли растворяли в 0,5 М азотной кислоте, 1% Трилоне Б и проводили электролитическое осаждение урана на стальной диск из 25% раствора хлорида аммония и насыщенного раствора оксалата аммония при pH = 8-9.

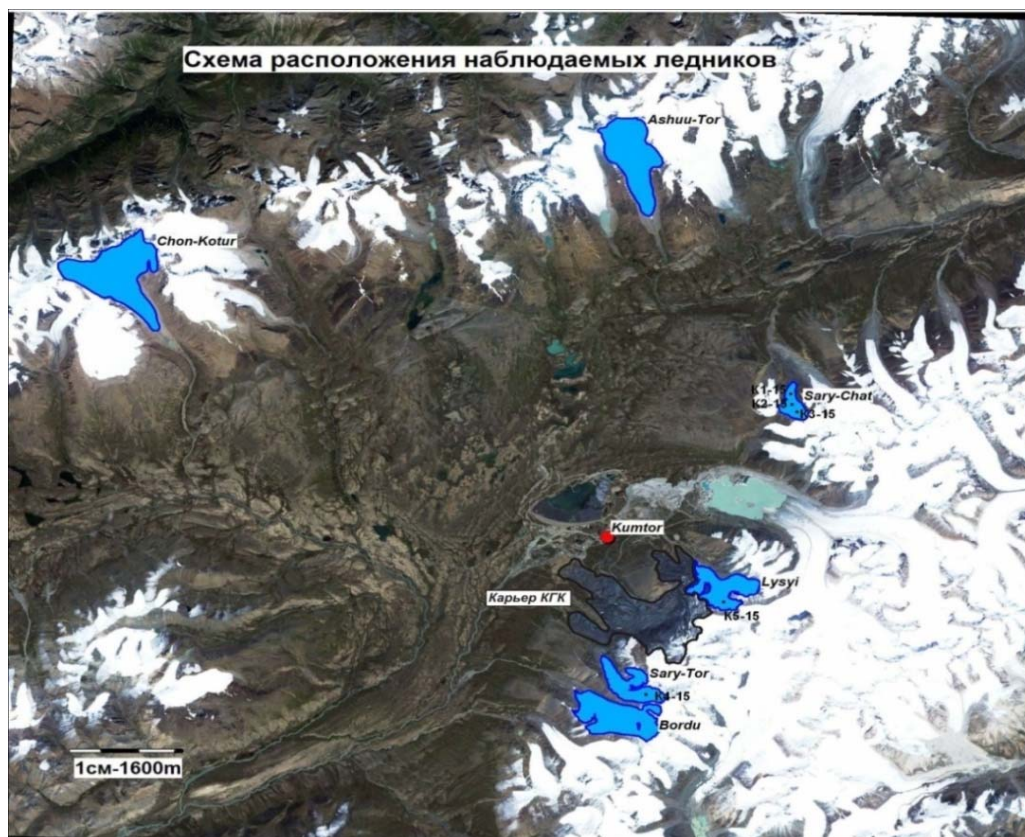


Рис. 1. Космоснимок месторождения «Кумторзолото».



Рис. 2. Ледники месторождения «Кумторзолото» (Фото В.И. Шатравина).



Рис. 3. Центральный карьер рудника Кумтор.



а)



в)

Рис. 4. Ледник «Лысый» при максимальном таянии (август 2015 – а) и сразу после выпадения снега (сентябрь 2015 – в). Фото В.И. Шатравина.

Измерения изотопного состава урана проводили на альфа-спектрометре высокого разрешения “Alpha-analyst” (Canberra) с программным обеспечением Genie-2000 [3-5]. Время измерения каждой пробы зависело от альфа-активности полученных препаратов и для проб с низким содержанием урана составляло десятки часов для достижения 5-15% -ой точности.

**Результаты исследований** изотопного состава урана во льдах и водах месторождения «Кумторзолото» сведены в таблице. Для первых 7 проб в ней

обнаружены минимальные концентрации урана (не более 0,2 ppb) при равновесных соотношениях изотопов  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ . Это талые воды свежего снега и верхней части ледников, расположенных сравнительно далеко от разработок месторождения. Эти пробы характеризуют изотопный состав урана в атмосферных осадках региона [3-8].

Изотопный состав урана во льдах и водах месторождения «Кумторзолото»

Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота, м	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	U, мкг/л (ppb)	Доля вод разного типа, %		
						Чистый снег	Воды карьера	Загрязненные талые воды
Кар1-14	Ледник Кара-Баткак	N42°09'142" E78°16'089"	3387	1,06±0,06	0,17±0,06			
K2-15	Ледник Сары-Чат, сезонный снег	N41° 56'43.30 E78° 15'32.76	4140	1,0±0,2	0,08±0,02			
K3-15	Ледник Сары-Чат, сезонный снег	N41° 56'36.70 E78° 15' 1.02	4202	1,3±0,2	0,21±0,04			
K4-15	Ледник Сары-Гор, сезонный снег	N41° 51' 3.58" E78° 13' 5.21"	3898	1,0±0,3	0,08±0,03			
K5-15	Ледник Лысый, цирк, снег свежий	N41°53'12.2 E78°09'490"	4220	1,1±0,3	0,05±0,02			
K72-17	Ледник Борду		4100	1,0±0,3	0,05±0,02			
K73-17	Ледник Борду		4200	0,8±0,2	0,04±0,01			
<b>Средневзвешенное для чистого снега «Кумторзолото»</b>				<b>1,0±0,1</b>	<b>0,10±0,02</b>	<b>100</b>		
K1-15	Ледник Сары-Чат, сезонный снег	41° 6'54.92" 78° 15'2.25"	4030	1,29±0,09	2,0±0,2	88±3	-	12±3
K-3-16	Ледник Сары-Гор, старый лед	N 41°50'26.4 E78°10'06.3	3898	1,66±0,06	0,56±0,04	≥96	≤2	≤2
K-4-16	Устье р.Сары-гор	N41°51'332" E78°07'192"	3637	1,64±0,04	10,1±0,4	51±8	34±8	15±8
K5-16	Р.Кумтор перед впадением р.Сары-Гор	N41°51'598" E78°07'046"	3619	1,28±0,03	4,4±0,2	74±3	-	26±3
K6-16	Р.Кумтор после впадения р.Сары-Гор	N41°51'313" E78°06'5.07"	3613	1,46±0,04	7,0±0,3	54	8	38
K7-16	<b>Устье ручья Лысый</b>	<b>N41°53'319" E78°10'507"</b>	<b>3694</b>	<b>1,37±0,02</b>	<b>16,1±0,6</b>	-	-	<b>100</b>
K8-16	Р.Кумтор перед впадением ручьяЛысый	N41°54'314" E78°12'246"	3700	1,12±0,02	2,6±0,1	87±2	-	13±2
K9-16	Р.Кумтор после впадения ручьяЛысый	N41°53'316" E78°10'214"	3670	1,18±0,02	4,3±0,2	78±3	-	22±3
K-10-16	Р.Кумтор, гидрост	N41°50'264" E78°10'063"	3664	1,01±0,06	1,8±0,2	92	-	8
K13-16	Ледник Лысый, старый лед	N41°53'12.2 E78°09'49.0	3920	1,54±0,05	0,89±0,06	≥93	≤7	
<b>K21-16</b>	<b>Вода на выходе из карьера</b>		<b>3600</b>	<b>2,22±0,06</b>	<b>9,7±0,7</b>		<b>100</b>	
K61-16	Озеро Петрова	N41°53'53.08 E78°13'20.32		1,23±0,05	2,7±0,2	85±3		15±3
K67-17	Ледник Сары-Гор штольня 2	N 41°50'26.4 E78°10'06.3	4200	1,6±0,4	0,05±0,02			
K68-17	Ледник Сары-Гор штольня 5	N41° 51' 3.58" E78° 13' 5.21"	4300	1,0±0,3	0,05±0,02			
K69-17	Ледник Сары-Гор штольня 3	N 41°50'26.4 E78°10'06.3	4100	1,4±0,2	0,04±0,01			
K70-17	Ледник Лысый штольня 2	N41°53'12.2 E78°09'490"	4000	1,3±0,3	0,04±0,02			
K71-17	Ледник Лысый штольня 3	N41°53'12.2 E78°09'49.0	4100	1,7±0,5	0,04±0,02			
Средневзвешенное для ледниковых штолен				1,3±0,1	0,04±0,02	100	-	-

Примечание: ПДК для питьевых вод составляет 30 мкг/л.

В остальных проанализированных пробах наблюдается либо обогащение ураном, либо нарушение равновесия  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ , либо и то и другое одновременно, что видно из уран-изотопной диаграммы, приведенной на рис 5, где цифры у точек – это номера проб в таблице.

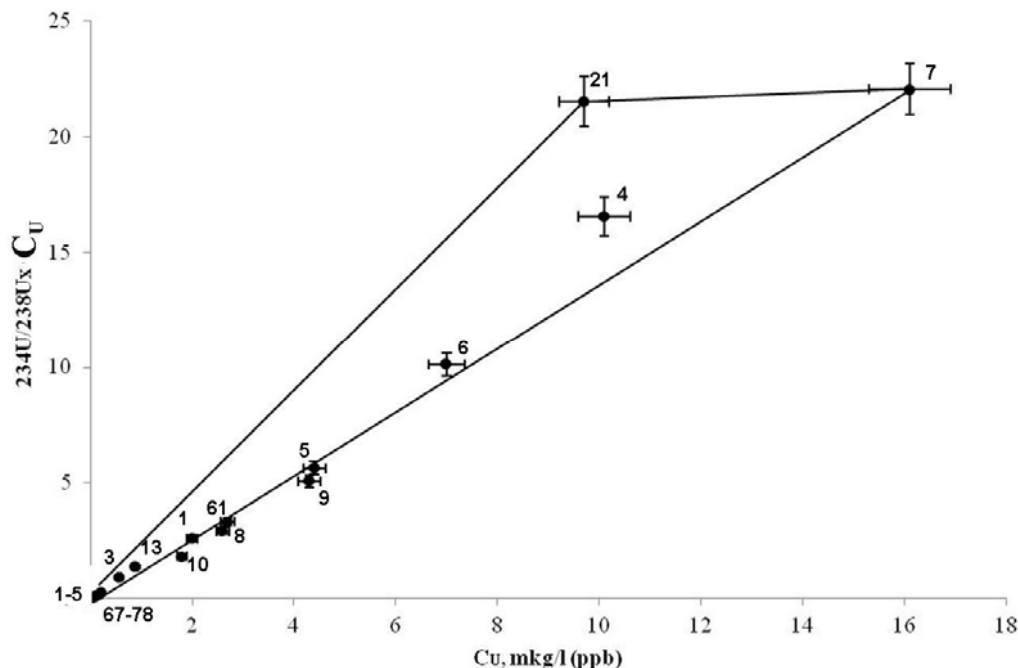


Рис. 5. Уран-изотопная диаграмма вод и льдов месторождения «Кумторзолото».

**Обсуждение результатов.** В пробах льдов, отобранных из пробуренных в ледниках Сары-Тор и Лысый штолен (последние 5 проб в таблице), не обнаружено обогащения ураном, но наблюдается небольшой избыток  $^{234}\text{U}$ , по-видимому, за счет его преимущественного выщелачивания из водовмещающих пород. Более значительное отклонение от равновесия отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  при незначительном обогащении ураном наблюдается в старых льдах ледников (пробы К3-16 и К13-16). Не исключено, что это связано с преимущественным выщелачиванием дочернего изотопа урана из эоловой пыли, оседающей на ледники при разработке месторождения.

Максимальное содержание урана при заметном нарушении равновесия  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  зафиксировано в талых водах, вытекающих из-под ледника Лысый (проба К7-16). В этом случае происходит растворение урана из разрушенной пустой породы, привозимой к языку ледника (рис. 4а) с преимущественным выщелачиванием дочернего изотопа.

Наибольшее отклонение от равновесия отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 2,2$  при значительном обогащении ураном (до  $10^{-5}$  ppb) обнаружено в водах отстойника карьера (рис.3, проба К21-16). Воды остальных опробованных источников являются смесью вод трех перечисленных выше генетических типов (1 - атмосферные осадки, 2 - загрязненные воды отстойника карьера и 3 - загрязненные талые воды ледников).

Доля каждого из них  $V_1, V_2, V_3$  в опробованных источниках рассчитана по формулам изотопного смещения, которые приведены нами ранее [7]:

$$V_1 + V_2 + V_3 = 1;$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = C;$$

$$\gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2 + \gamma_3 C_3 = \gamma C.$$

$$V_1 = \frac{\gamma C(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)},$$

$$V_2 = \frac{\gamma C(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C - C_1) + \gamma_1 C_1(C_3 - C)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)}$$

$$V_3 = \frac{\gamma C(C_2 - C_1) + \gamma_1 C_1(C - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)}$$

где  $C_1, C_2, C_3, C$  – концентрации урана в водах трех типов и в потоке смешения, соответственно,  $\gamma = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ , а  $\gamma_1 C_1, \gamma_2 C_2, \gamma_3 C_3, \gamma C$  – величины избытка дочернего изотопа в тех же источниках.

По изотопному составу урана удалось оценить в опробованных источниках доли вод трех генетических типов – атмосферных осадков (чистый снег), загрязненных вод из отстойника карьера и талых вод ледников, загрязненных золовой пылью.

Из полученных результатов видно, что в настоящее время хотя и имеет место заметное загрязнение ураном талых вод ледников золовой пылью месторождения «Кумторзолото», но оно нигде не превышает предельно допустимых норм не только для промышленных стоков, но и для питьевых вод.

Воды р.Кумтор, как и воды озера Петрова, откуда эта река берет начало, пока можно считать радиологически чистыми. Однако мониторинг антропогенного загрязнения ледников необходимо продолжать.

**Благодарности.** Авторы искренне признательны сотрудникам Тянь-Шанского высокогорного научного центра за помощь в отборе проб воды и льда, а также сотрудникам кафедры радиоэкологии Казахского национального университета за осаждение урана из вод и проведение альфа-спектрометрических измерений.

#### Литература:

1. [https://yandex.ru/images/search?img\\_url=http%3A%2F%2Fwww.mining.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FKumtor.jpg&text](https://yandex.ru/images/search?img_url=http%3A%2F%2Fwww.mining.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FKumtor.jpg&text)
2. Тузова Т.В. Оценка распределения стока трансграничных горных рек уран-изотопным методом. Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. 2017. Т.4. - Барнаул. Сибирское отделение Российской академии наук. - С. 126-134.
3. Матвеева И.В., Назаркулова Ш.Н., Тузова Т.В., Уралбеков Б.М., Аманова Г.Т., Мамбеталиев Э.Д. Изотопы урана в водах хвостохранилищ рудника Каджи-Сай. Вестник КазНУ, серия химическая. 2015. №4(80). С. 61-67. <http://bulletin.chemistry.kz/dx/doi.org/10/15328/cb600>.
4. Tuzova T.V., Сатылканов К.А., Шатравин В.И., Матвеева И.В. Радиологическое состояние вод золоторудного комбината Кумтор (Кыргызская Республика). В сборнике: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы 7-й Международной научной конференции. Белгород. «Политера». 2017. С. 260-264.
5. Uralbekov B., Burkitbaev M., Satybaldiev B., 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. 2014. No 4, pp. 111-119.
6. Буркитбаев Б.М., Уралбеков Б.М., Тузова Т.В. Неравновесный уран как естественный индикатор процессов в водно-экологических системах Центральной Азии. 2017. -Алматы. Казак университети. - 158 стр.
7. Тузова Т.В. Радиоэкологическое состояние вод разного генезиса в районе бывшего уранового рудника Каджисай (Кыргызская Республика). Труды Международного научного форума «Ядерная наука и технологии». Институт ядерной физики. - Алматы, 2017. - С. 287-293.
8. Uralbekov B., Burkitbaev M., Satybaldiev B., 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, 2014, pp.148-10.

Рецензент: д.геол.-мин.н. Садыбакасов И.С.