

УДК 556.535.8(282.255.434): 628.39

**ТОКСИЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
РЕКИ ФОНДАРЬЯ, ЛЕВОГО ПРИТОКА РЕКИ ЗЕРАВШАН**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, Г.Б. Анварова

Проведено исследование концентрации токсичных металлов в донных отложениях реки Фондарья, правого притока реки Зеравшан. Река подвергается сильному антропогенному воздействию со стороны горнорудных предприятий. Обнаружено несколько геохимических аномалий, связанных с повышенной концентрацией мышьяка и сурьмы, кларки которых превышают норму в 1800 и 40000 раз.

Ключевые слова: р. Фондарья; р. Зеравшан; донные отложения; токсичные металлы; антропогенное загрязнение.

**ФОНДАРЬЯ ДАРЫЯСИНЫН, ЗЕРАВШАН ДАРЫЯСИНЫН СОЛ КУЙМАСЫНЫН
ТҮБҮНДӨГҮ КАТМАРЛАРДАГЫ УУЛУУ МЕТАЛЛДАР**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, Г.Б. Анварова

Бул мақалада Фондарья дарыясынын, Зеравшан дарыясынын оң куймасынын түбүндөгү катмарларындагы уулуу металлдардын концентрациясына изилдөө жүргүзүлдү. Дарыяга тоокен ишканалары күчтүү антропогендик таасирин тийгизет. Мышьяктын жана сурьманын нормадан 1800 жана 40000 эсе ашык жогорку концентрациясы менен байланышкан бир нече геохимиялык аномалиялар табылган.

Түйүндүү сөздөр: Фондарья; Зеравшан дарыясы; түбүндөгү катмарлар; уулуу металлдар; антропогендик булгануу.

**TOXIC METALS IN THE BOTTOM SEDIMENTS
OF THE FONDARYA RIVER, THE LEFT INFLOW OF THE ZARAFSHAN RIVER**

D.A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda, G.B. Anvarova

The article considers the investigation of the concentration of toxic metals in the bottom sediments of the Fondarya river right inflow of Zarafshan river. The river is under the strong anthropogenic impact from the mining enterprises. Several geochemical anomalies were found, which were associated with an increased concentration of arsenic and antimony, concentration of elements exceed the average abundance in Earth crust levels by 1,800 and in 40,000 times, respectively.

Keywords: Fondarye river; Zeravshan river; bottom sediments; toxic metals; anthropogenic pollution.

Введение. Горная часть бассейна реки Зеравшан (в пределах Таджикистана), является водоформирующей частью реки и после границы с Республикой Узбекистан в нее не впадает ни один большой приток. На территории Узбекистана вода активно используется в Самаркандском, Навоинском и Бухарском вилоях. Вода в основном используется для орошения сельхозугодий, в промышленности и для коммунального обслуживания городов и сельских поселений.

Зеравшан является трансграничной рекой между Таджикистаном и Узбекистаном, и ее чистота, особенно воды, лежит в сфере интересов обоих государств.

Чистоту ложа рек зачастую сравнивают с качеством водопроводных труб. Если трубы старые и ржавые, то они будут активно загрязнять воду. Также и русла рек, и в первую очередь, их донные отложения, влияют на качество воды. В аквасистемах рек процессы сорбции тяжелых

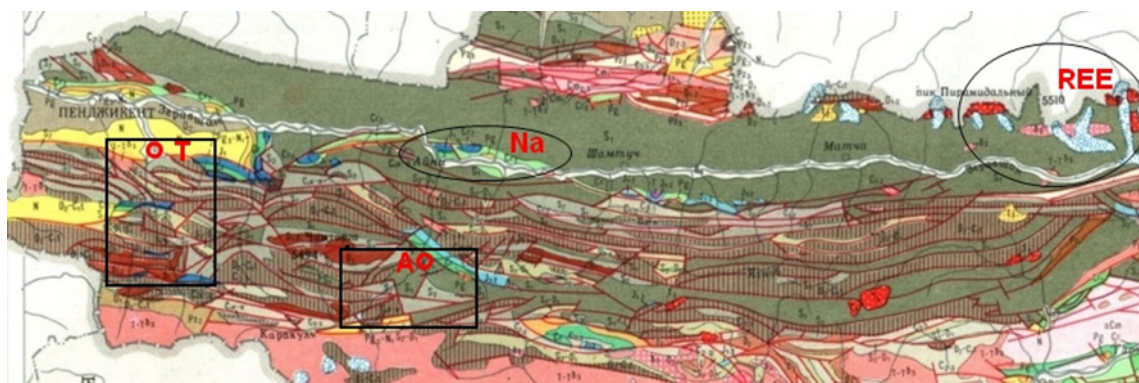


Рисунок 1 – Геологическая карта бассейна р. Зеравшан. Квадратами и знаком Т отмечено Тарпор-Джилауское рудное месторождение, А – Джиджикрутское месторождение, Na – выход соленосных мезозойских пород, REE – рудопроявление редкоземельных элементов в верхней части долины р. Зеравшан [5]

металлов из воды в донные отложения и обратный процесс десорбции из донных отложений в воду, являются постоянными и протекают повсеместно. Процессы миграции тяжелых металлов из донных отложений в воду зависят от многих параметров, как химических, так и физических.

На химический состав донных отложений активно влияют геологические и геохимические особенности местности (геогенные), а также антропогенные воздействия на окружающую среду. В период паводков внешние воды активно смывают частицы горных и почвенных пород в воду, тем самым образуя донные отложения рек. На донные отложения также влияют и воздушные процессы переноса частиц. Сильные ветра способны поднимать пыль с поверхности земли, которая в дальнейшем оседает на поверхности рек.

При анализе донных отложений многие геохимики зачастую используют кларки почв, и это справедливо для долинных рек, донные отложения которых в основном формируются за счет смыва почвенных пород. Другая картина складывается для горных рек. Их донные отложения образуются, в основном, за счет выветривания горных пород. Отложения горных рек в основном состоят из кварцевого песка и полевых шпатов. Полевые шпаты не обладают достаточной твердостью, разрушаются, и уносятся вниз по течению рек, образуя суглинки в условиях более спокойного течения.

В работах [1, 2], где была изучена геохимия реки Кафирниган, было отмечено, что состав

донных отложений горных рек меняется по мере продвижения к их устьям, в них возрастает доля почвенных пород, что очевидно, связано с бурным течением рек в горах.

В настоящее время в бассейне р. Зеравшан работают четыре китайские горнодобывающие предприятия, три из которых расположены в бассейне р. Фондарья. Еще одно предприятие расположено в бассейне притока р. Магиян. Работа этих предприятия приводит к значительному загрязнению окружающей среды, в первую очередь воды, донных отложений рек и прибрежных почв.

Весной 2018 г. были проведены экспедиционные работы в бассейне р. Зеравшан, были отобраны образцы воды, донных отложений и прибрежных почв. Зимой 2018–2019 гг. в Лаборатории нейтронной физики им. Франка Объединенного института ядерных исследований города Дубна Московской области, был проведен элементный анализ образцов на реакторе ИБР-2 в группе нейтронно-активационного анализа. Результаты анализа существенно обогатили имеющиеся данные по геохимии р. Зеравшан [3, 4], поскольку в предыдущих исследованиях были изучены только гидро- и геохимия р. Зеравшан, а р. Фондарья, которая испытывает большую антропогенную нагрузку, не исследовалась.

Данная работа посвящена обработке и интерпретации новых баз данных по изучению содержания токсичных металлов в донных отложениях бассейна р. Фондарья, левого притока р. Зеравшан.

Объекты и методы анализа. Изучено содержание токсичных металлов в донных отложениях р. Фондарья и ее притоках, дана оценка общего экологического состояния бассейна реки.

Как было отмечено выше, донные отложения горных рек в основном образуются в процессе выветривания горных пород, и на их элементный состав влияют геологические и геохимические особенности бассейнов рек.

Геологическая карта бассейна р. Зеравшан показана на рисунке 1. Геология всего бассейна Зеравшан в главной своей части крайне однообразная. Это “нейтральные” в геохимическом отношении граптолитовые сланцы силурийского возраста (иногда содержащие повышенное количество рассеянного сингенетичного пирита в черных глинистых сланцах), и перекрывающие их карбонатные (доломиты и известняки) толщи девон-каменноугольного возраста, преимущественно на южном берегу долины на всем протяжении р. Зеравшан. На этом фоне значительные аномалии макро- и микроэлементов создают локальные рудные узлы с фабриками по переработке рудной массы, скопления гипсосолёных мезозойских отложений вдоль всего русла р. Зеравшан и места выходов интрузивных пород специфического состава: щелочных и нефелиновых сиенитов, иногда с мелкими проявлениями карбонатитов (рисунок 1).

Бассейн р. Зеравшан состоит из нескольких зон, сильно отличающихся по геологическому составу. Согласно Виноградову, бассейн р. Зеравшан разделен на: Туркестано-Алайский; Туркестано-Зеравшанский; Зеравшан-Гиссарские тектонические пояса [6].

В Зеравшан-Гиссарском поясе широко развиты месторождения и рудопроявления Au, Ag, Ba, Sb, Hg, W, Sn, Pb, Zn и других видов полезных ископаемых [7]. Ртутно-сурьмяный геохимический пояс охватывает рудные месторождения: Шинг-Магиянское, Канчочское, Джиджикрутское, Ягноб-Захобское. В Зеравшан-Гиссарском поясе также находятся три месторождения и 27 рудопроявлений Pb и Zn, зачастую сопровождаемых Ag [7].

В ходе экспедиции, проведенной в 2018 г., было отобрано 26 образцов донных отложений рек: Ягноб, Фондарья, Анзоб, Джиджикрут, Канчоч, Сарытаг, Искандарья, Сарвода, Чоре, Пете, Верхний Кумарг и Кумарг.

На правом берегу р. Джиджикрут, вблизи устья, расположен Анзобский горно-обогаительный комбинат. Рудник комбината расположен в 4 км выше по ущелью реки. В бассейне этой реки также расположены угольные карьеры разной мощности. Река Джиджикрут подвергается сильному антропогенному воздействию.

В Верхнем Кумарге, начиная с 2017 г., проводятся работы по комплексной добыче и обогащению руд. Руда добывается, как открытым способом (бассейн р. Кумарг), так и подземным способом (бассейн р. Верхний Кумарг).

В Канчоче, бывшем геологическом поселке, начиная с 2018 г., одна из китайских горнорудных компаний приступила к работе по освоению бывших геолого-разведывательных штолен. За период СССР в Канчоче было выработано более 40 геолого-разведывательных штолен.

Кроме объектов горной промышленности, определенный геохимический фон создают интрузивные образования, повсеместно встречающиеся на северных отрогах Гиссарского хребта (геогенные).

Река Фондарья и ее притоки – горные реки с бурным течением. Пробоотбор на таких реках сильно отличается от долинных рек. Если в долинных реках пробоотбор донных отложений осуществляется с лодок в нескольких местах по срезу реки, то в горных реках с хорошим перемешиванием отложений, пробоотбор можно осуществлять с берега реки.

На берегу реки выбирали 4–5 точек отбора отложений. Из каждой точки отбирали примерно по 0,5 кг образца. Из отобранных образцов удаляли крупные булыжники, древесину и другие органические вещества. Образцы смешивали на куске полиэтиленовой пленки (гомогенизировались) и методом квартования отбирали $\frac{1}{4}$ часть образца, но не менее 0,5 кг. Далее образец помещали в полиэтиленовый пакет и перевозили в полевой лагерь для предварительной сушки образцов. Окончательную сушку и помол образцов производили в лаборатории.

Подготовленные пробы были направлены на реактор ИБР-2, в Лабораторию нейтронной физики им. Франка Объединенного института ядерных исследований для проведения нейтронно-активационного анализа (НАА).

Анализ образцов донных отложений позволил определить концентрации 40 элементов: Al,

Таблица 1 – Концентрация токсичных металлов в образцах донных отложений, в мг/кг (ppm).
Точки отбора образцов, средние, максимальные и минимальные концентрации элементов, кларки элементов в земной коре [10]

Точки отбора	As	Ba	Co	Cr	Mn	Ni	Sb	Sr	V	Zn
Ягноб 1	27,6	373	12,3	64	575	33	14,6	126	93	8,4
Анзоб	54	1130	19,6	118	579	56	5,3	160	134	132
Ягноб 2	28,6	409	13,5	64	511	35,6	8,8	122	80	78
Джиджикрут 1	37	475	12,6	68	497	38,6	9,4	87	96	62
Анзоб. тунель	35	113	7,8	20,4	376	24	4,5	132	27,3	54
Джиджикрут 2	23	623	11,8	65	387	35,4	14,2	108	83	8,2
Джиджикрут 3		510	10,6	521	345	221	8480		95	242
Ягноб 3	26	387	11,5	72	521	34	13	116	92	70
Саритаг 1	17	697	14	65	768	34	0,67	249	93	109
Канчоч	80	1060	9,4	81	501	36	1,7	264	68	60
Канчоч Штоль.	3260	60	6,2	113	226	21,4	519	166	59	202
Саритаг 3	18,2	975	12,7	116	645	51	1,44	278	97	85
Искандардарё 2	16,5	557	6,8	40	341	18,6	2,13	157	52	46
Аловудин 1	5,4	193	4,4	38	222	25,5	1,57	305	49	84
Аловудин 2	4,45	10,6	3	33	140	14,6	1,5	127	33,4	21
Сарвода 2	36	639	7,8	45	392	25,6	2,56	203	62	56
Пете	18,5	1530	18,2	104	566	65	3,7	84	148	111
Фондарье	29,4	670	7,9	34	403	22,5	10,1	95	66	66
Чоре 1	36,6	863	15,4	129	611	70	5,6	125	114	105
Чоре 3	77	172	10,1	63	480	36,6	4,9	217	4220	44
Чоре 4	646	1230	45	167	3680	161	12,8	260	106	268
Чоре 5	74	751	12,8	88	513	50	6,2	131	106	100
Верх. Кумарг 1	70	795	15,7	141	533	84	3,75	122	116	105
Верх. Кумарг 2	136	680	11,3	114	801	63	5,6	136	95	90
Кумарг 1	129	586	15,6	100	741	56	4,8	174	136	124
Кумарг 2	149	568	16	86	728	61	5,4	157	122	124
Среднее	201	617	13	98	619	52	351	164	247	95
Максимум	3260	1530	45	521	3680	221	8480	305	4220	268
Минимум	4,45	10,6	3	20,4	140	14,6	0,67	84	27,3	8,2
Кларки	1,8	425	25	102	950	84	0,2	370	120	70

As, Au, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Dy, Eu, Gd, Fe, Hg, Hf, K, La, Lu, Mo, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Sr, Sm, Ta, Tb, Ti, Th, Tm, U, V, W, Yb, Zn, Zr [8, 9]. Такие элементы как: Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na Ti относятся к классу макроэлементов (породообразующих), остальные – к микроэлементам.

Для нашей работы были выбраны только 10 токсичных элементов 1 и 2 класса

опасности, а это: As, Ba, Co, Cr, Mn, Ni, Sb, Sr, V и Zn. Из них As относится к 1-му классу опасности, а остальные ко 2-му классу.

Результаты анализа. Результаты НАА анализа по содержанию токсичных элементов в донных образцах приведены в таблице 1.

Средняя концентрация As по бассейну составляет 201 мг/кг, что более чем в 110 раз



Рисунок 2 – Распределение мышьяка в донных отложениях



Рисунок 3 – Распределение Sb в образцах донных отложений

превышает его кларк [10] в земной коре. Максимальная концентрация была отмечена непосредственно в геологических штольнях (Канчоч Штольня и Чоре 4) и, по сути, они являются месторождениями (рисунок 2). Если пренебречь этими месторождениями, то средняя концентрация по бассейну составит 47 мг/кг или 26 кларков [10]. Концентрация особенно велика в зонах сурьмяно-ртутных месторождений. Наименьшая концентрация – на Аловудуновских озерах. Эти озера можно считать самым чистым местом в Фанских горах.

Средняя концентрация Sb в бассейне равна 551 мг/кг. Пространственное распределение Sb образует две аномальные точки с высокими концентрациями: в штольне Канчоч и ниже АГОКа в точке Джиджикрут 3 (рисунок 3). Аномалия в точке Джиджикрут 3 образовалась из-за того, что в конце 1990-х и в начале 2000-х годов на комбинате произошла техногенная авария, и АГОК на протяжении ряда лет сбрасывал отходы флотации в р. Джиджикрут. Если отбросить эти две аномальные точки, то средняя кон-

центрация по бассейну составит 6 мг/кг, что в 30 раз больше кларка. Наименьшая концентрация в Сарытаг 1 – 0,6 мг/кг, это место также является довольно чистым в Фанских горах.

Средняя концентрация Zn в бассейне составила 95 мг/кг, что немного выше кларковых значений. Максимальная концентрация отмечается в штольнях Чоре 3, Канчоч и Джиджикруте 3 (рисунок 4). Минимальное значение отмечено в Джиджикруте 2, выше угольных месторождений.

Обсуждение результатов. Практически все элементы имеют аномальные зоны накопления, эти зоны, в основном, приурочены к месторождениям цветных металлов. Это сурьмяно-ртутные месторождения Канчоча, Джиджикрута, свинцово-цинковые месторождения Чоре. В то же время есть чистые зоны, в основном они находятся в верховьях Фанских гор.

Наиболее сильно загрязнены низовья р. Джиджикрут-3, ниже АГОКа. В 90-х годах прошлого века из-за аварии на пульпопроводе ГОК сбрасывал хвосты флотации непосредственно



Рисунок 4 – Распределение Zn в донных отложениях

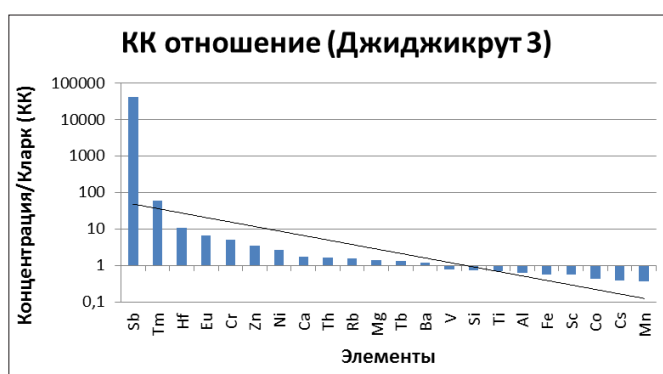


Рисунок 5 – КК отношение элементов для точки Джиджикрут 3

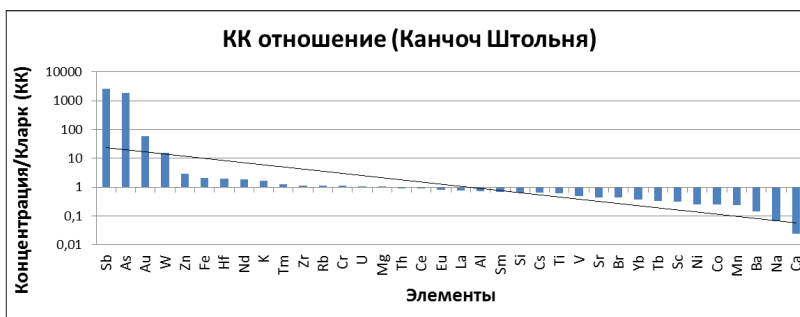


Рисунок 6 – КК отношение элементов для точки Канчоч Штольня

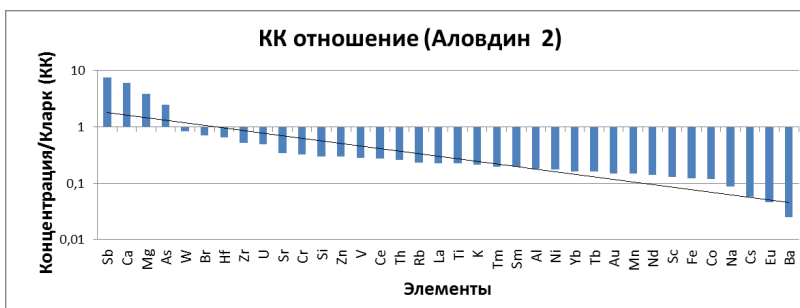


Рисунок 7 – КК отношение элементов для точки Аловудин 2

в р. Джиджикрут, что стало причиной сильного загрязнения донных отложений этой реки такими металлами, как: Cr, Ni, Sb, Zn. К сожалению, данные о содержании в этой точке As отсутствуют, но можно предположить, что его концентрация весьма велика.

Концентрация Co, V и Zn велика в геологоразведочных туннелях Чоре. Высокая концентрация Zn может быть связана со свинцово-цинковым рудопроявлением, которое сопровождается повышенным содержанием Ag.

Несмотря на чрезмерно высокую концентрацию токсичных металлов в р. Джиджикрут, их концентрация в донных отложениях после АГОКа (Ягноб 3 и Фондаря) не сильно отличаются от вышележащих точек по р. Ягноб (Ягноб 1 и Ягноб 2). Это можно объяснить тем, что во время половодья и особенно селей, донные отложения рек смываются вниз по течению и накапливаются в водохранилищах и в низовьях рек.

Для всех точек отбора мы произвели расчеты отношения концентраций элементов к их кларкам (КК отношения). Эти отношения характеризуют способность накопления элементов, и очень важны для геохимии, так как позволяют выявлять геохимические аномалии на местах.

В качестве примера на рисунках 5–7 приведены картины КК отношений для трех участков: сильно загрязненных Джиджикрут 3 и Канчоч Штольня и чистого (фоновый) участка Аловудин 2.

На рисунках 5 и 6 видны аномалии в накоплении некоторых элементов в донных отложениях Джиджикрут 3 и Канчоч Штольня. К сожалению, для точки Джиджикрут 3 отсутствуют данные по концентрациям ряда элементов. Но в то же время видно, что превышение над кларком для As составляет более чем 1800 раз (Канчоч Штольня). Для точки Джиджикрут 3 превышение над кларком для Sb составляет более 40000 раз.

В то же время, в р. Ягноб ниже АГОКа не наблюдалось сильных завышений с концентраций сурьмы и мышьяка. Река Ягноб отличается бурным течением и, особенно во время селей, донные отложения реки смываются и перемещаются вниз по течению реки, где накапливаются в водохранилищах и в местах со спокойным течением. Горные реки обладают способностью к самоочищению.

Заключение. Изучен состав донных отложений рек и притоков бассейна р. Фондаря, правого притока р. Зеравшан. Бассейн реки подвергается сильному антропогенному воздействию со стороны горнорудных предприятий. В бассейне работают три китайские горнорудные компании, которые активно влияют на экологическое состояние окружающей среды. В ходе исследований были проанализированы концентрации 10 токсичных элементов 1 и 2 класса опасности, это: As, Ba, Co, Cr, Mn, Ni, Sb, Sr, V и Zn. Из них As относится к 1-му классу опасности, а остальные – ко 2-му классу.

Практически все элементы имеют аномальные зоны накопления, эти зоны в основном приурочены к месторождениям цветных металлов. Это сурьмяно-ртутные месторождения: Канчоча, Джиджикрута, свинцово-цинковые месторождения Чоре. В то же время есть чистые зоны, в основном, в верховьях Фанских гор.

Наиболее сильно загрязнены низовья притока р. Джиджикрут, ниже Анзобского горно-обогатительного комбината (АГОК). В 90-х годах прошлого века из-за аварии на пульпопроводе АГОК сбрасывал хвосты флотации непосредственно в р. Джиджикрут, что стало причиной сильного загрязнения донных отложений этой реки, такими металлами как: Cr, Ni, Sb, Zn. К сожалению, данные о содержании в этой точке As отсутствуют, но можно предположить, что его концентрация весьма велика.

Концентрация Co, V и Zn велика в геологоразведочных туннелях Чоре. Высокая концентрация Zn может быть связана со свинцово-цинковым рудопроявлением, которое сопровождается повышенным содержанием Ag.

Несмотря на чрезмерно высокую концентрацию токсичных металлов в р. Джиджикрут, их концентрация в донных отложениях после АГОКа (Ягноб 3 и Фондаря) не сильно отличаются от вышележащих точек по р. Ягноб (Ягноб 1 и Ягноб 2). Это можно объяснить тем, что во время половодья и особенно селей, донные отложения рек смываются вниз по течению и накапливаются в водохранилищах и в низовьях рек.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Лаборатории нейтронной физики им. И. Франка ОИЯИ за проведенный нейтронно-активационный анализ образцов.

Литература

1. Абдушукуров Д.А. Элементный состав почв вдоль русла реки Кафирниган / Д.А. Абдушукуров, Ш.Г. Камолов, З.В. Кобулиев, Л.Н. Осёнова // Науки о земле. М.: РУДН. 2016. № 3. С. 66–75.
2. Абдушукуров Д.А. Элементный состав донных отложений реки Варзоб / Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, Д.Ф. Стоцкий // Наука и инновации. Сер. геологических и техн. наук / ТНУ. Душанбе, 2018. № 3. С. 35–42.
3. Абдушукуров Д.А. Гидрохимия верховий реки Зеравшан. Часть 1: Тяжелые металлы, растворенные в воде / Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б. Мамадалиев // Вестник Тадж. нац. ун-та. Сер. естеств. наук, 1/5 (188). Часть 1. 2015. С. 210–216.
4. Абдушукуров Д.А. Гидрохимия верховий реки Зеравшан. Часть 2: Геохимия донных отложений и прилегающих почв / Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б. Мамадалиев // Вестник Тадж. нац. ун-та. Сер. естеств. наук, 1/5 (188). Часть 2. 2015. С. 283–288.
5. Атлас Таджикской ССР. Душанбе. М.: Географическое общество СССР, 1968.
6. Виноградов П.Д. Тянь-Шанская складчатая область / П.Д. Виноградов, А.Е. Довжиков, Е.И. Зубцов, В.Н. Огнев // В кн.: Геологическое строение СССР. Том 3. Тектоника. М.: Госгеолтехиздат, 1958. С. 94–105.
7. Геология Таджикистана, основные черты геологического строения и металлогении Таджикистана. URL: http://www.tajik-dateway.org/wp/sliding_menu_2/geologiya/
8. Frontasyeva M.V. Analytical Investigations at the IBR-2 Reactor in Dubna / M.V. Frontasyeva, S.S. Pavlov // Neutron News. 2005. 16. P. 24–27
9. Frontasyeva M.V. Neutron activation analysis in the life sciences / M.V. Frontasyeva // Phys. Part. Nucl. 2011. 42. P. 32–378.
10. It's Elemental – The Periodic Table of Elements. Jefferson Lab. URL: https://studylib.net/doc/8182605/the-periodic-table-of-elements-science-education-at-jef...https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_elements_in_Earth%27s_crust