

УДК 627.157(282.255.11)

**ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
РЕК ПЯНДЖ И ГУНТ В ТАДЖИКИСТАНЕ**

*Д.А. Абдушукуров, З.В. Кобулиев, Б.Н. Мамадалиев*

Приведены результаты обработки и интерпретации данных эксперимента “Навруз” об элементном составе образцов донных отложений рек Гунт и Пяндж.

*Ключевые слова:* геохимия; донные отложения рек; макроэлементы; микроэлементы; обработка базы данных.

**GEOCHEMISTRY OF THE BOTTOM SEDIMENTS  
OF THE PANJ AND GUNT RIVERS IN TAJIKISTAN**

*D.A. Abdushukurov, Z.V. Kobuliev, B.N. Mamadaliev*

It is given the results of processing and interpretation of the data obtained earlier in the experiment “Navruz”, on the elemental composition of samples of bottom sediments of Gunt and Panj rivers.

*Keywords:* geochemistry; bottom sediments of rivers; macroelements; microelements; database processing.

Ученые Таджикистана, наряду с учеными Казахстана, Узбекистана и Кыргызстана, на протяжении 1999–2009 гг. принимали участие в большом международном эксперименте “Навруз”. Эксперимент проводился под эгидой Сандийской национальной лаборатории США. Основной целью эксперимента являлось изучение чистоты трансграничных рек Центральной Азии и влияния атомной промышленности бывшего СССР на экологию речных бассейнов региона.

В ходе эксперимента осуществлялся отбор образцов почв, донных осадков, воды и водной растительности. Для измерения содержания металлов в образцах подготовленные образцы направлялись для проведения нейтронно-активационного и рентгено-флуоресцентного анализа. По условиям проекта, полный объем проб отправлялся для нейтронно-активационного анализа (НАА) в Институт ядерной физики Республики Узбекистан (НАА-Уз), одна десятая часть проб – в Институт ядерной физики Республики Казахстан (НАА-Кз). В ИЯФ РК производился также и рентгено-флуоресцентный анализ (РФА-Кз) образцов. Такой подход гарантировал обеспечение достоверности и надежности данных. Результаты анализов собирались в Сандийской национальной лаборатории США [1, 2].

Данная работа посвящена обработке и интерпретации данных об элементном составе образцов донных отложений рек Гунт и Пяндж.

**Методика эксперимента и результаты.** В рамках эксперимента “Навруз” были проведены отборы образцов в реках Гунт и Пяндж. Отбор проб производили в период половодья, в весенне-летний сезон (май–июнь месяцы) и межень в осенний сезон (октябрь–ноябрь), на протяжении трех

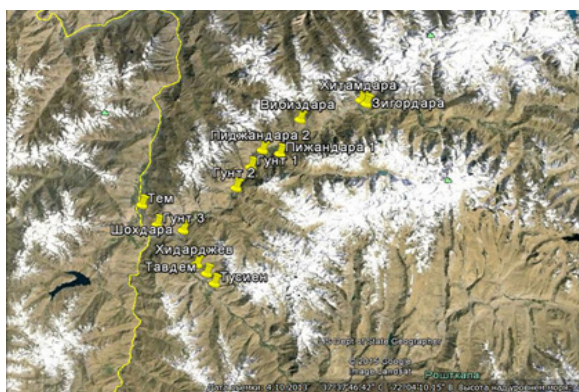


Рисунок 1 – Точки отбора образцов на р. Гунт и ее притоках. Карта получена при помощи программы Google Earth

Таблица 1 – Описание точек отбора проб и их географические координаты

№ п/п	Река	Позиция		Расположение
		долгота	широта	
1	Зигордара	37,7336	72,0292	Приток р. Гунт
2	Хитамдара	37,7406	72,0170	Приток р. Гунт
3	Вибиздара	37,6948	71,8713	Приток р. Гунт
4	Пиджандара 1	37,6344	71,8276	Приток 1 р. Пиджандара
5	Пиджандара 2	37,6376	71,7956	Приток 2 р. Пиджандара
6	Пиджандара	37,6432	71,7953	Приток р. Гунт
7	Гунт 1	37,6153	71,7620	До водохранилища ГЭС
8	Гунт 2	37,5679	71,7282	Гунт
9	Тусиен	37,3780	71,6685	Приток р. Шохдара
10	Тавдем	37,3936	71,6591	Приток р. Шохдара
11	Хидарджев	37,4010	71,6424	Приток р. Шохдара
12	Шохдара	37,4822	71,5922	Приток р. Гунт
13	Гунт 3	37,4898	71,5330	Хорог
14	к. Тем	37,5374	71,4971	Пяндж
15	Нижний Пяндж	37,1975	68,6097	Пяндж до слияния с Вахшем

лет. Методика пробоотбора предусматривала отбор пробы растворенных компонентов речной воды, близлежащих почв, донных осадков и водной растительности.

Список точек отбора проб на реках Пяндж и Гунт, их географические координаты приведены в таблице 1 и показаны на рисунке 1. Особое внимание было уделено рекам Гунт и ее притоку Шохдара.

Оба метода (НАА и РФА) дополняют друг друга и позволяют производить анализ 38 элементов. В эксперименте анализировались макроэлементы (в алфавитном порядке): Ca, Fe, K, Mn, Na, Ti и микроэлементы: As, Au, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Ga, Hf, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Rb, Sb, Se, Sr, Sc, Sm, Ta, Th, U, V, Y, Yb, Zn, Zr. 14 элементов, таких как: K, Ti, Br, Cu, Ga, Mo, Nb, Nd, Ni, Se, Sr, V, Y, Zr определяются только при помощи РФА, остальные элементы определяются методом НАА, или двумя методами одновременно. Элементы

с концентрацией <1 мкг/г (ppm) могут быть определены только при помощи НАА.

При измерениях микроэлементов был замечен незначительный разброс данных разных лабораторий. Разброс возникает при концентрациях элементов порядка нескольких мкг/г (ppm). При таких низких концентрациях возрастают ошибки определения, особенно для РФА, так как подобные концентрации лежат на уровне чувствительности метода.

Деление элементов на макро- и микроэлементы является условным и многие авторы по разному трактуют эти определения. Мы в своих исследованиях придерживаемся определения, что к макроэлементам относятся элементы, кларк которых в земной коре превышает 0,01 %. К таким макроэлементам были отнесены Ca, Fe, K, Mn, Na и Ti.

На рисунке 2 видно, что концентрация макроэлементов возрастает по мере продвижения к устью реки. Возрастает не только концентрация

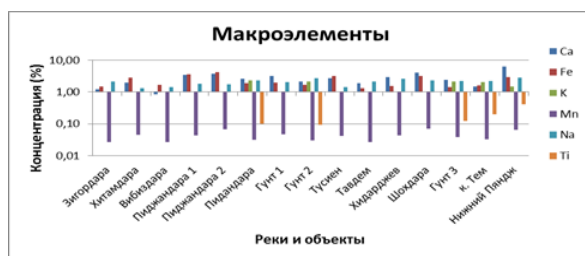


Рисунок 2 – Распределение макроэлементов в реках от истока (слева) к устью (справа)

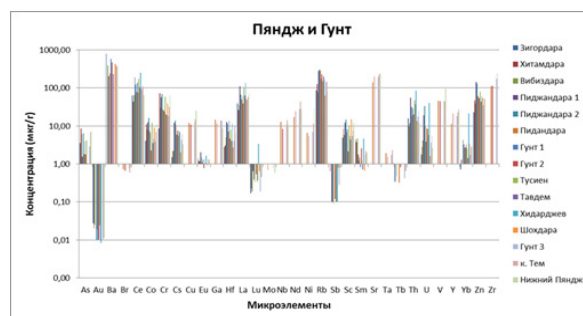


Рисунок 3 – Распределение микроэлементов в донных осадках рек

макроэлементов, но и концентрация солей и общих растворенных в водах веществ [3].

Микроэлементы в образцах распределены более сложно. Наблюдается резкое изменение концентраций элементов в реках. Концентрация практически всех элементов, за исключением Au, Br, Lu, Sb и Tb, превышает 1 мкг/г (рисунок 3).

**Обсуждение полученных результатов.** Зарегистрированная средняя концентрация макроэлементов в образцах составила, в %: Ca-2,73, Fe-2,3, K-2, Mn-0,04, Na-2,08 и Ti-0,18. При этом наблюдается сильное колебание (до 6 раз) между максимальными и минимальными значениями для Ca, Fe, Na и Ti.

Как было отмечено, по мере продвижения к устью р. Пяндж возрастает концентрация кальция (в 5–6 раз) в донных отложениях. В горных реках концентрации Ca и Na низки и меньше кларковых значений для земной коры, и только вблизи от устья концентрации увеличивается и становится выше кларка на 50 % для Ca. Содержание остальных элементов ниже кларковых значений.

Микроэлементы в реках распределены неравномерно. В таблице 2 приведены значения концентраций и кларковых значений в земной коре [4].

По средней распространенности элементы распределены следующим образом: Ca>Fe>Na>K>>Ti

>>Mn>>Ba>Sr>Rb>Zr>Ce>La>Zn>V>Cr>Th>Nd>Y>Cu>Ga>Ni>Nb>U>Sc>Co>Hf>Cs>As>Yb>Sm>Ta>Eu>Mo>Br>Lu>Tb>Sb>Au. Подобное распределение не совсем соответствует кларковому распределению.

В качестве примера на рисунках 4, 5 показано распределение мышьяка и тория в донных отложениях рек.

Среднее содержание мышьяка в донных отложениях составляет 4,29 мкг/г, что в два раза превышает кларковые значения. Максимальное содержание в Хитамдара – 8,7 мкг/г, минимальное значение в Тавдеме – 1,04 мкг/г. Мышьяк относится к токсичным металлам первой группы опасности.

Содержание тория повсеместно больше кларковых значений. Средние значения концентрации составляют 28,62 мкг/г, максимальное – в Хидарджеве – 84,4 мкг/г, минимальное значение в Хитамдара – 10,1 мкг/г.

Важным параметром в геохимии является отношение концентрации элементов к их кларку (КК). Параметр позволяет выявлять геохимические аномалии и бывает необходим при геохимическом районировании местности. Были проведены расчеты КК-параметра для всех рек. Для каждой точки отбора картина имеет разный характер. В качестве примера на рисунках 6 и 7 показаны картины рас-



Рисунок 4 – Распределение мышьяка в донных отложениях рек



Рисунок 5 – Распределение тория в донных отложениях рек

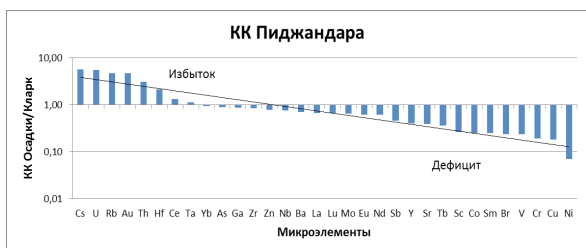


Рисунок 6 – Отношение концентраций микроэлементов к кларковым значениям этих же элементов в точке отбора проб Пиджандара



Рисунок 7 – Отношение концентраций микроэлементов к кларковым значениям этих же элементов в точке отбора проб Нижний Пяндж

Таблица 2 – Средние, максимальные и минимальные значения концентраций микроэлементов в донных отложениях, кларковые значения в земной коре и отношение концентраций к кларковым значениям (КК)

№ п/п	Элемент	Содержание	Река	Концентрация (мкг/г)	Кларк (мкг/г)	КК Осадки/Кларк	Метод
1	As	Среднее		4,29	2,1	2,04	НАА
		Максимум	Хитамдара	8,70		4,14	
		Минимум	Тавдем	1,04		0,50	
2	Ba	Среднее		411,90	340	1,21	НАА РФА
		Максимум	Зигордара	804,00		2,36	
		Минимум	Хитамдара	205,00		0,60	
3	Br	Среднее		0,71	3	0,24	РФА
		Максимум	Нижний Пяндж	0,80		0,27	
		Минимум	к. Тем	0,60		0,20	
4	Ce	Среднее		111,53	60	1,86	НАА РФА
		Максимум	Хидарджев	251,00		4,18	
		Минимум	Хитамдара	44,30		0,74	
5	Co	Среднее		8,00	30	0,27	НАА
		Максимум	Пиджандара 2	16,30		0,54	
		Минимум	Гунт 2	2,29		0,08	
6	Cr	Среднее		37,88	140	0,27	НАА РФА
		Максимум	Хитамдара	73,00		0,52	
		Минимум	Зигордара	8,70		0,06	
7	Cs	Среднее		6,11	1,9	3,22	НАА
		Максимум	Пиджандара 2	14,00		7,37	
		Минимум	Зигордара	1,50		0,79	
8	Cu	Среднее		15,00	68	0,22	РФА
		Максимум	Нижний Пяндж	25,00		0,37	
		Минимум	Гунт 2	11,00		0,16	
9	Ga	Среднее		12,60	17	0,74	РФА
		Максимум	Пиджандара	14,80		0,87	
		Минимум	Нижний Пяндж	8,70		0,51	
10	Mo	Среднее		0,82	1,1	0,75	РФА
		Максимум	к. Тем	1,00		0,91	
		Минимум	Нижний Пяндж	0,60		0,55	
11	Nb	Среднее		11,44	17	0,67	РФА
		Максимум	к. Тем	14,30		0,84	
		Минимум	Гунт 2	8,40		0,49	
12	Nd	Среднее		28,20	18	1,57	РФА
		Максимум	к. Тем	44,00		2,44	
		Минимум	Пиджандара	17,00		0,94	
13	Ni	Среднее		11,92	75	0,16	РФА
		Максимум	Нижний Пяндж	29,00		0,39	
		Минимум	Гунт 2	5,50		0,07	
14	Rb	Среднее		168,24	60	2,80	НАА РФА
		Максимум	Пиджандара 2	306,00		5,10	
		Минимум	Шохдара	63,00		1,05	
15	Sb	Среднее		0,34	0,2	1,68	НАА
		Максимум	Хидарджев	0,80		4,02	
		Минимум	Пиджандара	0,09		0,46	

№ п/п	Элемент	Содержание	Река	Концентрация (мкг/г)	Кларк (мкг/г)	КК Осадки/Кларк	Метод
16	Sr	Среднее		200,80	360	0,56	РФА
		Максимум	Нижний Пяндж	240,00		0,67	
		Минимум	Пиджандара	140,00		0,39	
17	Ta	Среднее		1,72	1,7	1,01	НАА
		Максимум	к. Тем	2,31		1,36	
		Минимум	Нижний Пяндж	1,09		0,64	
18	Tb	Среднее		0,53	0,9	0,59	НАА
		Максимум	Гунг 2	0,83		0,92	
		Минимум	Пиджандара	0,32		0,36	
19	Th	Среднее		28,62	6	4,77	НАА РФА
		Максимум	Хидарджев	84,40		14,07	
		Минимум	Хитамдара	10,10		1,68	
20	V	Среднее		55,80	190	0,29	РФА
		Максимум	Нижний Пяндж	98,00		0,52	
		Минимум	Пиджандара	45,00		0,24	
21	Y	Среднее		20,30	29	0,70	РФА
		Максимум	Нижний Пяндж	27,50		0,95	
		Минимум	Пиджандара	11,60		0,40	
22	Zn	Среднее		62,54	79	0,79	НАА РФА
		Максимум	Пиджандара 1	146,00		1,85	
		Минимум	Зигордара	23,00		0,29	
23	Zr	Среднее		159,38	130	1,23	РФА
		Максимум	к. Тем	240,50		1,85	
		Минимум	Пиджандара	110,00		0,85	

пределения КК-параметров для точек отбора Пиджандара и Нижний Пяндж.

В Пиджандаре с превышением над кларком (КК>1) встречаются следующие микроэлементы: Cs, U, Rb, Au, Th и Hf. С дефицитом (КК<1) следующие микроэлементы: Sb, Y, Sr, Tb, Sc, Co, Sm, Br, V, Cr, Cu и Ni.

В устье реки, в точке Нижний Пяндж распределение имеет другой вид. В этой точке донные осадки собираются со всей реки. С превышением над кларком (КК>1) встречаются следующие микроэлементы: Sb, As, Au, La, Th, Hf, Cs, U и Rb. С дефицитом (КК<1): Tb, Eu, Sr, Zn, Nb, Ta, Mo, V, Ga, Cr, Sc, Co, Cu, Sm, Ni и Br.

Данные эксперимента “Наврүз” позволили произвести расчеты отношения концентрации элементов к их кларку (КК). Параметр позволяет выявлять геохимические аномалии, что необходимо при геохимическом районировании местностей. Были проведены расчеты КК-параметра для всех рек. Для каждой точки отбора картины имеют разный характер.

В устье реки, в точке Нижний Пяндж, в которой собираются донные отложения со всей реки с превышением над кларком (КК>1) встречаются следующие микроэлементы: Sb, As, Au, La, Th, Hf,

Cs, U и Rb. С дефицитом (КК<1): Tb, Eu, Sr, Zn, Nb, Ta, Mo, V, Ga, Cr, Sc, Co, Cu, Sm, Ni и Br.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института ядерной физики АН Узбекистана и сотрудникам Института ядерной физики АН Казахстана за проведенный элементный анализ образцов.

#### Литература

1. *Yuldashev B.S.* Radioecological monitoring of Transboundary Rivers of the Central Asian Region / B.S. Yuldashev, U.S. Salikhbaev, A.A. Kist [et al.] // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. V. 263, № 1. P. 219–228.
2. *Barber D.S.* Radioecological Situation in river Basins of Central Asia, Syrdaria and Amudaria According to the Results of the international project “NAVRUZ” / D.S. Barber, B.S. Yuldashev, K.R. Radyrkhanov [et al.] // NATO Science Series IV. 2003. V. 33. P. 39–51.
3. *Абдушукуров Д.А.* Гидрогеохимические параметры качества воды в реках Таджикистана. ФРГ: Изд. Ламберт, 2014. С. 1–130.
4. *Taylor S.R.* Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table / S.R. Taylor // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1964. V. 28. P. 1273–1285.