

Геология

УДК 550.4

Г. А. МИНАСЯН

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В РАЙОНЕ СОТКСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Исследования позволили оценить характер и степень загрязненности почв участков, примыкающих к юго-западному флангу рудного поля Соткского золотополиметаллического месторождения, тяжелыми и токсичными металлами. Показано, что по суммарному показателю загрязнения эти почвы относятся к категории сильно загрязненных. Выявлены основные элементы-загрязнители. Для оценки влияния техногенеза на биосферу предлагается проведение в дальнейшем комплекса дополнительных исследований по всей экосистеме.

Одной из важнейших проблем современности является охрана и защита окружающей среды от техногенного геохимического воздействия. Интенсификация эксплуатации Соткского месторождения позволяет предполагать увеличение техногенного поступления металлов в биосферу и его преобладание над природными потоками миграции. В связи с этим проблема оценки экологической ситуации с помощью проведения геохимического мониторинга почвенного покрова в районе месторождения является весьма актуальной задачей, т.к. там и в настоящее время производится значительный объем геолого-разведочных и эксплуатационных работ с проходкой многочисленных подземных и наземных горных выработок.

Необходимо отметить, что мониторинг, как правило, проводится на разных стадиях антропогенных изменений в окружающей среде, что позволяет исключить или свести к минимуму негативные последствия этих изменений [1].

Основными источниками тяжелых металлов являются рудничные и дренажные воды, а также горные породы, складированные в отвалы. На поверхности под воздействием грунтовых вод эти породы разрушаются, нарушаются химические связи в минералах, освобождаются ионы металлов и химически активные комплексы, которые приобретают в приповерхностных условиях подвижность и поступают в водоносные горизонты, почву, растительность, фауну и далее в человеческий организм.

Исследования проводились на трех участках рудного поля Соткского золотополиметаллического месторождения: 1 – в районе юго-западного флан-

га, 2 – южнее участка 1, 3 – к западу от участка 2 (рис. 1). Для оценки экологической ситуации наиболее информативными оказались данные о микроэлементном составе верхнего гумусового горизонта почвенного слоя, полученные в результате эмиссионного спектрального анализа, проведенного в лаборатории ИГН НАН РА. В пределах этого горизонта выявлены ореолы повышенного содержания некоторых тяжелых металлов (токсичных элементов), в отдельных случаях превышающего предел допустимых концентраций (ПДК).

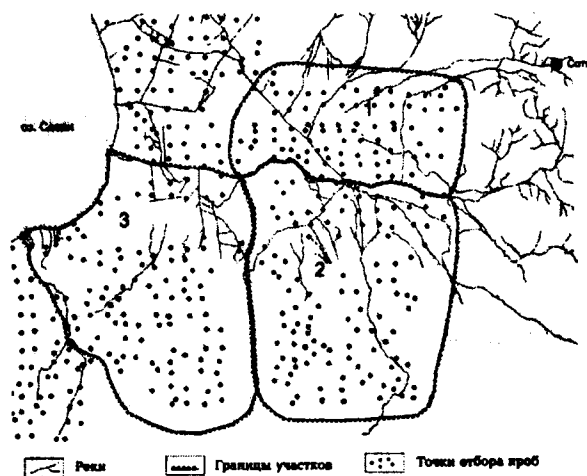


Рис. 1. Рудное поле Соткского месторождения.

Общая оценка степени опасности загрязнения почв определялась по значению суммарного показателя загрязнения:

$$Z_{\text{пз}} = \Sigma \text{КК} - \text{п},$$

где КК – кларк концентрации аномальных элементов ($\text{КК} > 1$), п – количество аномальных элементов.

В зависимости от значения $Z_{\text{пз}}$ почвы подразделяются [2] на минимально загрязненные (< 8), слабо (8–16), средне (16–32), сильно (32–64), очень сильно (64–128) и максимально загрязненные (> 128).

Таблица 1

Анализ содержания элементов в почвах Соткского рудного поля (мг/кг)

Класс токсичности	Элементы	Кларк почв	ПДК	Участки								
				1			2			3		
				\bar{X}	КК _n	\bar{X} / ПДК	\bar{X}	КК _n	\bar{X} / ПДК	\bar{X}	КК _n	\bar{X} / ПДК
I	V	100	150	148,7	1,5	1,0	127,0	1,3	0,8	127,6	1,8	1,2
	Co	8	30	20,2	2,5	0,7	13,5	1,7	0,45	10,5	1,3	0,35
II	Ni	40	30	136,9	3,4	45,6	59,7	1,5	19,9	31,8	0,8	10,6
	Sr	300	н.д.	54,4	0,2	–	32,4	0,2	–	125,3	0,4	–
	Mo	2	н.д.	0,5	0,25	–	0,79	0,4	–	1,04	0,5	–
	Ag	0,1	н.д.	0,059	0,6	–	0,015	0,15	–	0,021	0,2	–
	Ba	500	н.д.	147,7	0,3	–	222,2	0,4	–	331,1	0,7	–
	Pb	10	20	17,6	1,8	0,9	30,6	3,1	1,5	21,5	2,15	1,1
	Bi	0,009*	н.д.	0,317	35,2	–	0,393	43,7	–	0,323	35,9	–
II	Ti	4600	н.д.	3015	0,65	–	2863,5	0,6	–	3309,9	0,7	–
	Cr	200	0,005	215,2	1,1	43040,0	90,2	0,45	18040,0	52,5	0,3	10500,0
	Mn	850	1500	727,7	0,9	0,5	466,1	0,5	0,3	518,8	0,6	0,3
	Cu	20	3	28,7	1,4	9,6	38,7	1,9	12,9	32,1	1,6	10,7
	Zn	50	23	98,8	2,0	4,3	66,0	1,3	2,9	89,0	1,8	3,9
	Zr	300	н.д.	45,3	0,15	–	38,2	0,13	–	49,3	0,2	–
	Sn	10	н.д.	1,93	0,2	–	1,25	0,13	–	2,28	0,2	–
	$Z_{\text{пз}}$				40,9			54,5			44,55	

Примечание: \bar{X} – среднее содержание (подчеркнуты $\bar{X} > \text{ПДК}$); КК_n – кларки концентраций, нормированные по кларку почв [3, 4], (жирным выделены КК >1); ПДК – предел допустимых концентраций по [5, 6]; н.д. – нет данных; * – кларк земной коры [4].

Для очагов загрязнения методом статистического кластерного анализа матриц коэффициентов парной корреляции выявлялись ассоциации микроэлементов, идентифицирующие почвообразующие и техногенные составляющие геохимического поля. Отдельно по этим ассоциациям, а также по группам элементов рассчитывался $Z_{\text{тз}}$ классов токсичности (табл. 1): I – (V, Co); II – (Ni, Sr, Mo, Ag, Ba, Pb, Bi) и III – (Ti, Cr, Mn, Cu, Zn, Zr, Sn).

Геологическое строение Сотского золотополиметаллического месторождения детально освещено в многочисленных публикациях (см., напр., [7]). В рудах месторождения широко развиты пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, блеклые руды, самородное золото, антимонит, галенит, кварц, кальцит и другие минералы. Площадь месторождения и накопленные там многочисленные отвалы промываются водами бассейна р. Сотк.

Распределение химических элементов – тяжелых и токсичных металлов – в почвах. Геохимическая съемка исследуемых участков показала, что почва здесь интенсивно загрязнена основными рудными компонентами (табл. 1).

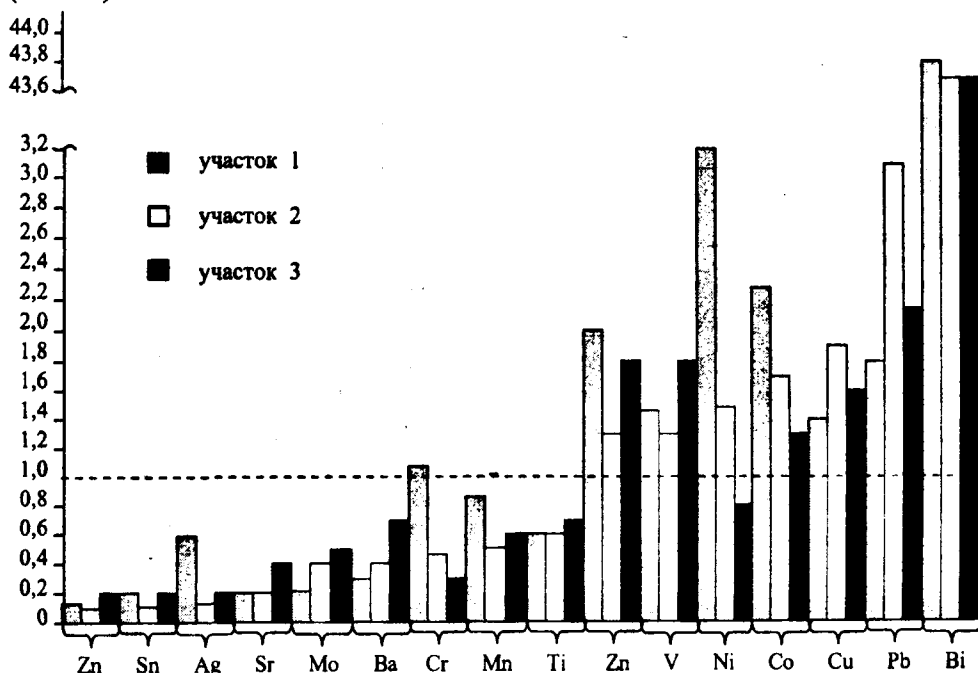


Рис. 2. Гистограмма распределения химических элементов в почвах участков 1, 2, 3 в единицах кларка почв. Пунктирной линией показан $КК=1$.

В почвах участка 1 (рис. 2) выявлены относительно высокие аномалии содержаний Bi, Ni, в меньшей степени – Co, Zn, Pb, V, Cu, Cr. Суммарный показатель загрязнения ($Z_{\text{тз}}=48,9$) позволяет отнести почвы исследуемого участка к категории сильно загрязненных. Основными загрязнителями являются элементы II класса токсичности – Bi ($КК_n=35,2$) и в меньшей степени – Ni ($КК_n=3,4$).

Корреляционным (табл. 2) и последующим кластерным анализами в почвах участка 1 выделены ассоциации химических элементов, имеющих высокую положительную парную корреляцию (см. рис. 3, а).

Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по этим ассоциациям металлов, показал, что элементы первых двух ассоциаций практически не загрязняют почву участка 1 ($Z_{\text{пз}}$ равны 0,4 и 5,5 соответственно). В то же время, высокий суммарный показатель загрязнения ($Z_{\text{пз}}=35,0$) элементами третьей ассоциации позволяет отнести эти почвы к категории сильно загрязненных. Здесь также V_i выступает как основной загрязнитель.

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции между химическими элементами в почвах Сотского месторождения (количество проб=83; $r_{0,05} \geq |0,216|$; $r_{0,01} \geq |0,287|$)

	Sr	Ba	Ti	Mn	Cr	V	Ni	Co	Cu	Ag	Zn	Pb	Bi	Sn	Mo	Zr
Sr	1	0,338	0,110	-0,092	0,185	-0,336	-0,247	-0,471	-0,310	0,122	-0,398	0,325	0,001	-0,276	0,211	0,217
Ba		1	-0,024	-0,394	-0,466	0,101	-0,137	-0,298	0,115	0,020	-0,414	0,568	-0,009	-0,142	0,642	-0,022
Ti			1	0,360	0,261	0,187	-0,023	-0,168	0,226	0,117	0,145	0,191	-0,086	0,301	-0,048	0,674
Mn				1	0,177	0,029	-0,175	0,118	0,387	0,042	0,433	-0,227	-0,095	0,504	-0,322	0,206
Cr					1	0,126	0,534	0,375	0,063	-0,006	0,446	-0,164	0,100	0,024	-0,516	0,177
V						1	0,333	0,314	0,057	-0,101	0,154	0,0004	-0,105	0,078	0,064	0,059
Ni							1	0,471	0,037	-0,043	0,230	-0,169	0,050	-0,120	-0,243	-0,129
Co								1	0,284	-0,034	0,550	-0,461	-0,002	0,172	-0,170	-0,407
Cu									1	0,117	0,494	0,170	0,146	0,416	0,107	-0,137
Ag										1	0,182	0,168	-0,052	0,059	0,071	0,061
Zn											1	-0,154	0,011	0,517	-0,228	-0,093
Pb												1	0,270	-0,078	0,647	0,116
Bi													1	-0,069	0,167	-0,083
Sn														1	-0,010	0,029
Mo															1	-0,174
Zr																1

Примечание: r – критические значения коэффициентов парной корреляции при уровне значимости: $r_{0,05}$ – 95%, $r_{0,01}$ – 99%.

Элементы, средние содержания которых превышают на участке 1 принятые в бывшем СССР ПДК, следующие: Cr – более чем в 43000 (!) раз, Ni – 4,56, Cu – 9,6, Zn – в 4,3 раза. В то же время, в некоторых случаях очевидна нереальность этих ПДК. Так, например, для Cu, Zn, Ni, Cr они существенно ниже их же кларков почв (для Cr в 40000 раз).

На участке 2 выявлены относительно высокие аномалии Bi ($KK_{\text{п}}=43,7$) и Pb ($KK_{\text{п}}=3,1$), в меньшей степени Cu, Co, Ni, Zn, V (рис. 2). Суммарный показатель загрязнения здесь несколько выше, чем на участке 1 ($Z_{\text{пз}}=54,5$), что также позволяет отнести почвы этого участка к категории сильно загрязненных.

Одновременно $Z_{\text{пз}}$, рассчитанный по классам токсичности, указывает на то, что загрязнителями почв являются элементы практически из всех трех классов токсичности: I – V и Co, II – Bi и Pb, III – Cu и Zn.

Корреляционным (табл. 2) и кластерным (рис.3, б) анализами выявлены также три ассоциации элементов, имеющих высокую положительную парную корреляцию. Основными загрязнителями почв являются элементы второй ассоциации Cu, Pb, Zn, Bi ($Z_{\text{пз}}=46,0$), в меньшей степени первой – Co, Ni, V.

На исследованном участке 2 элементы, средние содержания которых превышают ПДК, следующие: Cr – более чем в 18000 раз, Ni – 1,99, Cu – 12,9, Zn – 2,9, Pb – в 1,5 раза.

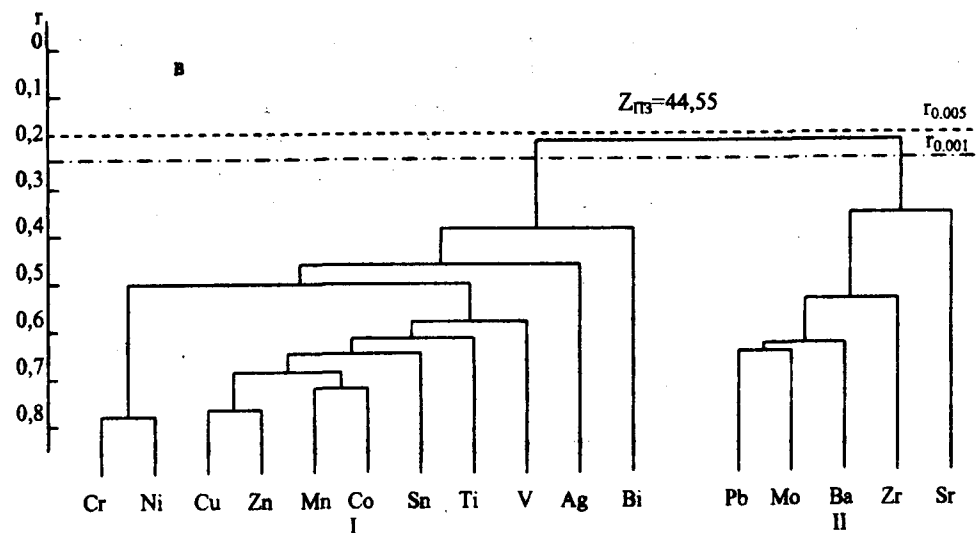
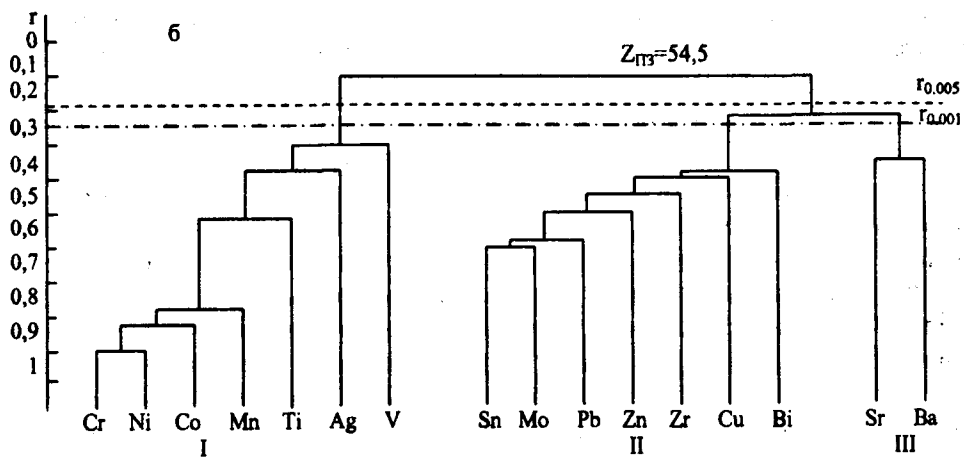
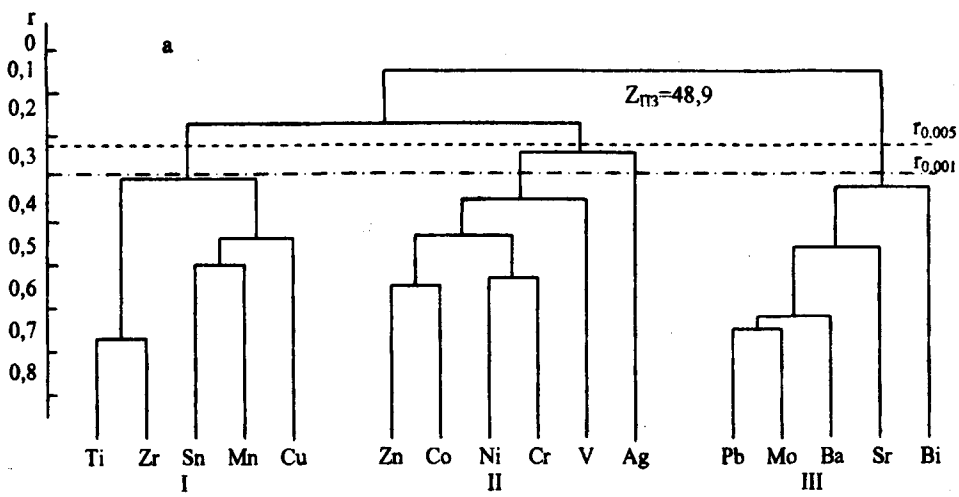


Рис. 3. Дендрограммы кластерного анализа химических элементов в почвах а-1, б-2, в-3 участков.

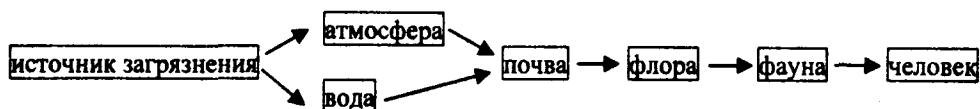
На участке 3 картина примерно такая же, как и на первых двух участках, хотя суммарный показатель загрязнения ($Z_{\Sigma}=44,55$) несколько ниже (табл. 1), что объясняется большей удаленностью участка от рудного поля. Здесь установлены высокие аномалии Вi ($KK_{\Sigma}=35,9$), в меньшей степени Pb, Zn, V, Cu, Co (рис. 2).

Корреляционный (табл. 2) и кластерный (рис. 3, в) анализы выявили в почвах участка 3 ассоциации химических элементов, имеющих высокую положительную парную корреляцию. Основными загрязнителями почв являются элементы первой ассоциации, в частности Cu, Zn, Вi, Co, V. На этом участке элементы, средние содержания которых превышают ПДК, следующие: Cr – более чем в 10000 раз, Cu – 10,7, Ni – 1,06, Zn – 3,9, V – 1,2, Pb – в 1,1 раза.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что на всех трех участках Соткского месторождения спектр элементов-загрязнителей в целом идентичен: Вi (средний $Z_{\Sigma}=38,3$), Pb (2,35), Co (1,8), Zn (1,7), Cu (1,6), V (1,5), а также Ni, который практически не загрязняет почву лишь на третьем, наиболее удаленном от рудного поля участке. В то же время, превышающими ПДК элементами являются: Cr – в среднем в 24000 раз, Ni – 25,4, Pb – 17,7, Cu – 11,1, Zn – в 3,7 раза. Все три участка по суммарному показателю загрязнения почв относятся к категории сильно загрязненных (средний $Z_{\Sigma}=49,3$).

Такое повышенное загрязнение почв тяжелыми металлами может вызвать физиологические и морфологические изменения растений, произрастающих на зараженных участках. Характер этих возможных изменений в зависимости от обогащенности почв теми или иными элементами представлен в табл. 3. Существенное влияние на химический состав почвы оказывают грунтовые воды, т.к. тяжелые металлы поступают из антропогенных источников загрязнений, в частности из отвалов горных пород через водные системы. Увеличение содержания тяжелых металлов приводит к снижению продуктивности водных систем и токсичной растительности, следовательно, к потенциальной опасности для человека. Последствия влияния повышенных концентраций химических элементов на здоровье человека приведены в табл. 4 и 5.

Развитие горно-рудной промышленности обязывает обратить особое внимание на охрану окружающей среды. Очевидно, что ее загрязнение несет реальную опасность для здоровья человека. Для оценки влияния техногенеза на биосферу в целом целесообразно в дальнейшем проводить комплекс исследований в экосистеме:



Следует отметить, что процессы антропогенного распространения и концентрации химических элементов во многом аналогичны хорошо изученным процессам гипергенного рассеяния месторождений полезных ископаемых [8]. Поэтому первоначальным и наиболее эффективным методом изучения этого процесса является геохимическая съемка. Кроме того, важным

фактором является разработка вторичных источников ценных металлов, в частности отвалов. Эта утилизация имеет не только положительный экологический эффект, но и равносильна открытию и разработке новых промышленных месторождений [9].

Таблица 3

Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные токсичностью металлов

Элементы	Характер изменений
Cu	омертвевшие пятна на кончиках нижних листьев; багровые стебли, хлорозные листья с зелеными прожилками; задержка в росте корней; у некоторых видов ползучие бесплодные формы [10, 11]
Zn	хлорозные листья с зелеными прожилками; белые карликовые формы, омертвевшие пятна на кончиках листьев; задержка в росте корня [10]
Cu, Pb, Zn	сильное опущение побегов полыни <i>Artemisia</i> ; обильное цветение и плодоношение у эфедры <i>Ephedra procera</i> [10]
Ni	обесцвечивание пластинки листа у лапчатки двувильчатой <i>Potentilla</i> , уродливые ее формы; изменение окраски листьев до красной и буровато-черной у спиреи <i>Spiraea</i> , угнетение в росте, задержка развития, неполноценные семена [10]
Mo, Ni	задержка в росте, желто-оранжевая окраска; белые омертвевшие пятна на листьях; бесплодные, бесплодные формы [11]
Co	белые омертвевшие пятна на листьях; образование наростов на ветвях и коре деревьев [10, 12]
Mn	хлорозные листья, пораженные стебли и черешки; скрученные и сухие участки по краям листьев, деформации пластинки листа [10, 11]

Таблица 4

Возможное влияние загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами на состояние здоровья населения [2]

Элементы	Характерные заболевания при превышении ПДК
Cu	увеличение смертности от рака органов дыхания
Pb, Cu	увеличение числа нарушений течения беременности, родов, менструального цикла, мертворождаемости, преждевременных родов, врожденных уродств
Pb	увеличение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, общей заболеваемости взрослых и детей, изменения в легких детей
Zn	изменение морфологического состава крови, злокачественные образования, лучевые болезни
Mo, V	увеличение числа нарушений беременности, родов, заболеваемости детей, эндемическая подагра
Mn	увеличение частоты хронических пневмоний у детей, острых бронхитов и пневмоний у взрослых

Таблица 5

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по $Z_{пз}$ [13]

$Z_{пз}$	Показатель здоровья населения	Характер опасности
<16	отклонений нет	не опасно
16-32	увеличение общей заболеваемости детей и числа детей с хроническими заболеваниями	опасно
32-128	нарушение функционального состояния сердечно-сосудистой системы	опасно
>128	увеличение заболеваемости детского населения, нарушения репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, мертворождаемости, гипертрофии новорожденных)	высоко-опасно

Выводы.

1. Геохимическая съемка (мониторинг) в пределах трех участков рудного поля Соткского золотополиметаллического месторождения показала, что почва здесь в целом интенсивно загрязнена основными рудными компонентами – тяжелыми и токсичными металлами (табл. 1).

2. По результатам статистического корреляционного метода и кластерного анализа показано, что на всех трех участках Соткского месторождения спектр элементов-загрязнителей в целом идентичен: Bi , Pb , Co , Zn , Cu , V , Ni . В то же время, элементами, превышающими принятый в бывшем СССР ПДК, являются: Cr , Ni , Pb , Cu , Zn . Все три участка по суммарному показателю загрязнения почв относятся к категории сильно загрязненных (средний $Z_{\text{м}}=49,3$).

3. Очевидно, что с развитием горно-рудной промышленности загрязнение окружающей среды несет реальную опасность для здоровья человека. Для оценки влияния техногенеза на биосферу целесообразно в дальнейшем проводить комплекс исследований по экосистеме в целом.

Кафедра минерологии, петрологии и геохимии

Поступила 27.12.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987, 288 с.
2. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории химическими элементами. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1982, 112 с.
3. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983, 272 с.
4. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1972, 184 с.
5. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп. Л.: Химия, 1988, 512 с.
6. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V–VIII групп. Л.: Химия, 1989, 592 с.
7. Амирян Ш.О., Фармазян А.С. Минералогия, геохимия и условия образования рудных месторождений Армянской ССР. Ер.: Изд-во АН Арм.ССР, 1974, 255 с.
8. Григорян С.В., Сагт Ю.Е. – Сов. геология, 1980, №11, с. 94–108.
9. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990, 248 с.
10. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976, 248 с.
11. Хокс Х.Е., Узбб Дж.С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М.: Мир, 1964, 487 с.
12. Захаров Е.П., Захарова Г.М. – Тр. биохимич. лаб. АН СССР, 1974, №13, с. 57–117.
13. Смирнова Р.С., Ревич Б.А., Москаленко Н.И. Геохимические показатели состояния окружающей среды при сопоставлении комплексных схем охраны природы городов: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. по геохимии ландшафтов. Новороссийск: Изд-во Ростов. ун-та, 1986, с. 154–156.

ՋՈՂԻ (ՍՈՏԶԻ) ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՀՈՂԵՐԻ ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ՎԻՃԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Ամփոփում

Հետազոտությունները թույլ են տվել գնահատել Սոտքի հանքային դաշտին հարող հարավարևմտյան ֆլանգի հողերի ծանր և տոքսիկ մետաղներով աղտոտվածության բնույթն ու աստիճանը, որոնք, համաձայն շրջակա միջավայրի պահպանության միջազգային գործակալության, համարվում են առավել առաջնային: Ըստ աղտոտվածության ցուցանիշի՝ տվյալ հողերը պատկանում են խիստ աղտոտվածության կատեգորիային: Բացահայտվել են հիմնական աղտոտիչ տարրերը: Ընդհանրապես՝ տեխնոգենեզի ազդեցությունը կենսոլորտի վրա գնահատելու համար առաջարկվում են համավերերկրաքիմիական ուսումնասիրություններ:

G. H. MINASYAN

ECOLOGICAL STATE EVALUATION OF MINE FIELD OF THE
SOTK GOLD-POL YMET ALLIC DEPOSIT

Summary

The research allowed to evaluate the nature and degree of pollution with heavy and toxic metals of South-West flank soil in Sotk gold-polymetallic mine field. This issue is very urgent. According to the pollution criterion the data of soil types concern the high pollution category. The main polluting elements were discovered. To assess the impact of technogenesis on biosphere, additional complex eco-geochemical investigations are suggested.