

УДК 550.849

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПИОНЕР» АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ляпунов Михаил Юрьевич,

аспирант кафедры геологии и природопользования
инженерно-физического факультета ФГБОУ ВПО «Амурский
государственный университет», Россия, 675027, г. Благовещенск,
Игнатьевское шоссе, д. 21. E-mail: lyapunov@pokrmine.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью получения данных анализа эколого-геохимической ситуации территории с целью дальнейшего промышленного освоения месторождения.

Цель работы: определение концентраций химических элементов и соединений в почвенных горизонтах А (гумусовый) и В (иллювиальный) до начала проведения хозяйственной деятельности ОАО «Покровский рудник», связанной с промышленной отработкой месторождения «Пионер». По результатам геоэкологических исследований выполнить оценку по суммарному показателю загрязнения химическими веществами состояния почвенных горизонтов.

Методы исследования: спектральный полуколичественный и атомно-абсорбционный; атомно-эмиссионный и масс-спектральный анализ.

Результаты: Выполнена оценка состояния по суммарному показателю загрязнения химическими веществами (нормирование относительно принятых предельно-допустимых концентраций) почвенных горизонтов А и В. Выявлен процесс распределения повышенных концентраций химических элементов на площади месторождения. По результатам геоэкологических исследований территории золоторудного месторождения «Пионер» выполнена оценка состояния почвенных горизонтов. Почвенный гумусовый горизонт, оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами, незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 22 % исследуемой площади, со средней – 48 %, с сильной – 23 %, с очень сильной – 7 %. По мере удаления от рудного поля концентрация рудовмещающих элементов уменьшается, но в пределах исследуемого участка допустимой не становится. Почвенный иллювиальный горизонт на площади золоторудного месторождения «Пионер», оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами, незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 10 % исследуемой площади, со средней – 43 %, с сильной – 24 %, с очень сильной – 23 %. Относительно гумусового горизонта в иллювиальном наблюдается более обширное по площади распространение повышенных концентраций химических элементов. Полученные данные могут быть использованы при анализе эколого-геохимической ситуации с целью дальнейшего промышленного освоения месторождения.

Ключевые слова:

Эколого-геохимические исследования, коэффициент концентрации, суммарный показатель загрязнения, предельно допустимые концентрации, золоторудное месторождение, почвенный горизонт, химический элемент.

Введение

Почва – поверхностный слой литосферы Земли, обладающий плодородием и представляющий собой полифункциональную гетерогенную открытую четырёхфазную (твёрдая, жидкая, газообразная фазы и живые организмы) структурную систему, образовавшуюся в результате выветривания горных пород и жизнедеятельности организмов [1].

Почвы территории месторождения «Пионер» сформировались в однородных биоклиматических условиях в зоне буро-таежных холодных длитель-

но промерзающих почв под лесной и болотной растительностью.

Почвообразующими породами здесь являются делювиальные глины и суглинки континентальных отложений кайнозойского возраста. Буро-таежные почвы развиваются под хвойной и лиственной растительностью в условиях промывного режима.

Суммарное влияние растительности на процессы почвообразования и свойства этих почв проявляется в умеренном подкислении верхней части

почвенного профиля (рН 3–5), формирования аккумулятивно-гумусового горизонта небольшой мощности (3–8 см) со средним содержанием гумуса 3...7 % фульватного типа. Тяжелый механический состав иллювиальной толщи играет роль водоупора в условиях повышенного поступления влаги снеготаяния в почву и является причиной временного избыточного увлажнения верхних почвенных горизонтов. Весной на ровных участках буро-таежных почв держится верховодка. В буро-таежных типичных почвах следы оглеения видны в нижней части верхнего горизонта, буро-таежные глеевые оглеены по всему профилю [2].

Главные отличительные черты зональных суглинистых буро-таежных почв следующие:

- текстурный профиль с существенными различиями между его верхними и нижними горизонтами по водно-физическим, химическим свойствам, гранулометрическому составу, устойчивости к нарушениям и возможностям восстановления;
- кислая среда, невысокая буферность к химическим воздействиям (за счет среднего содержания гумуса и малой емкости катионного обмена), периодически восстановительные условия;
- свойства иллювиального горизонта (В) позволяют рассматривать его как сорбционно-механический геохимический барьер.

Буро-таежная почва характеризуется довольно мощной лесной подстилкой, сравнительно малой мощностью гумусового горизонта и слабой дифференциацией на почвенные горизонты. По механическому составу преобладают среднесуглинистые разновидности. В составе мелкозема преобладают песчаные фракции, что подтверждает грубозернистость верхней части элювия гранитов [3, 4].

Таежная зона территории золоторудного месторождения «Пионер» характеризуется значительным распространением почв болотного типа, что является характерным для почвенного покрова северных районов Амурской области. Болота переходные торфянистые, приурочены преимущественно к широким водораздельным плато и долинам рек, покрыты кочками.

Характерными морфологическими признаками торфянисто-глеевых почв является наличие торфянистого горизонта и оглеение иллювиального горизонта. Эти почвы содержат значительное количество азота и органических веществ в верхних горизонтах, состоящих главным образом из грубых растительных остатков, и относительно высокое количество перегноя в нижележащих горизонтах. Реакция почвы кислая, сумма поглощенных оснований довольно высокая, что объясняется главным образом биологической аккумуляцией поглощенных оснований [5, 6].

В почвах, сформировавшихся на данной территории, механическая денудация преобладает над химической. Процесс выветривания гранитов сопровождается незначительным выносом кремнезема, что объясняется наличием в породе кальция и

магния, железа и алюминия, присутствие которых способствует задержанию освобожденного кремнезема на месте в результате взаимоосаждения и коагуляции.

Для почв, сформировавшихся в данных условиях, характерна кислая реакция почвенной среды, причем величины рН стабильны и мало изменяются в сезонном и многолетнем циклах. За счет постоянной кислотности в почвах наблюдается высокое содержание полуторных оксидов железа и алюминия. Содержание поглощенных оснований кальция и магния среднее и низкое, причем при утяжелении гранулометрического состава почв сумма поглощенных оснований соответственно увеличивается [7, 8].

В данной статье рассмотрены эколого-геохимические исследования почвы до начала проведения хозяйственной деятельности ОАО «Покровский рудник», связанной с промышленной обработкой золоторудного месторождения «Пионер». Площадь геоэкологических исследований расположена в Магдагачинском и Зейском районах Амурской области, составляет 52,7 км².

С целью определения концентраций химических элементов и соединений в почвенных горизонтах А (гумусовый) и В (иллювиальный) выполнено опробование по сети 1×1 км (рис. 1).

Почвенный горизонт А

На исследуемой площади породообразующие породы представлены делювиальными глинами и суглинками и современными аллювиальными отложениями.

Средняя мощность гумусового горизонта составляет от 0 см, на нарушенных землях – до 0,2 м. Верхний слой горизонта представлен опадом из хвои, мхов, листвы и на отдельных типах почв слабо разложившимся торфом. Типовой состав почв следующий: буро-таежные, буро-таежные глеевые, лугово-болотные торфянисто-глеевые, болотные торфянисто-глеевые, нарушенные. Все типы почв на изучаемой площади относятся к малогумусовым (содержание гумуса менее 4 %) и среднегумусовым (содержание гумуса 4...6 %).

Почвенный горизонт В

На исследуемой площади породообразующие породы горизонта В представлены делювиальными глинами и суглинками и современными аллювиальными отложениями.

Средняя мощность опробованного слоя иллювиального горизонта составляет от 20 см. Горизонт представлен суглинками, супесью с дресвой, глинами, песком с дресвой и щебнем.

Основная часть аналитических исследований литогеохимических проб выполнена в ЦАЛ ФГУП «Амургеология», определение кислоторастворимых форм элементов в образцах грунтов проведено в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа АСИЦ ИПТМ РАН п. Черноголовка.

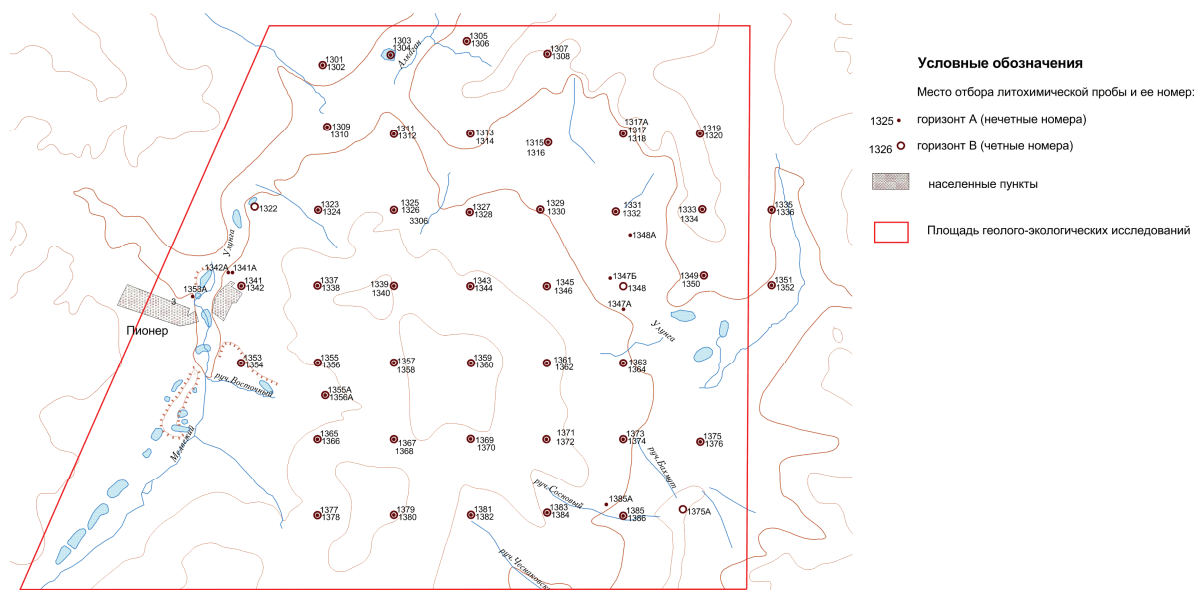


Рис. 1. Схема геоэкологического опробования золоторудного месторождения «Пионер»

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки состояния почвенного покрова исследуемой территории выполнен расчет коэффициентов концентрации по предельно-допустимым концентрациям (ПДК), ориентировочно допустимым концентрациям (ОДК) и кларкам химических элементов и загрязняющих веществ в почвах. Согласно методике ИМГРЭ выполнен расчет суммарного загрязнения по элементам I–IV классов опасности по отношению к принятым ПДК, ОДК и кларкам. Оценка степени загрязнения земель химическими веществами по суммарному показателю (Z_c) выполнена в соответствии с документом «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» [9]. Выделены пять градаций для оценки загрязнения почв по суммарному показателю: (допустимая степень загрязнения – $Z_c < 2$; слабая – Z_c от 2 до 8; средняя – Z_c от 8 до 32; сильная – Z_c от 32 до 64; очень сильная – $Z_c > 64$). Критерии для определения опасности повышенных концентраций нормируемых компонентов (оценки производятся по максимальным величинам концентраций) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели условия степени загрязнения почв

Группы токсичных веществ (класс опасности)	Степень концентрации (по отношению к ПДК, ОДК)			
	Допустимая	Умеренно опасная	Опасная	Чрезвычайно опасная
I	1	1–2	2–3	>3
II	1	1–5	5–10	>10
III	1	1–10	10–20	>20
Радиоактивные элементы	1	1–15	15–40	>40

По суммарному показателю загрязнения в почвах горизонта А на исследуемом участке незагрязненных земель нет. Степень загрязнения почв горизонта А характеризуется от слабой до очень сильной. В табл. 2 приведены максимальные, минимальные, средние содержания элементов в гумусовом горизонте, а также ПДК и ОДК, по которым выполнена оценка степени загрязнения [10, 11].

Основные элементы, превышающие принятые нормативы, в единицах ПДК в гумусовом горизонте следующие: As (15–200), P (1,3–3,8), Ag (1,5–20), Sb (0,5–6,7), Bi (1,5–10), B (1,5–30), Mo (1,5–3,0), Cu (1,1–6,1), Co (1,5–3,0), Pb (1,2–1,9), Ni (1,3), W (2–4), Zn (1,3–2,6) и макрокомпоненты Na, Si, K, Al – 1,1–3,1.

Участки со слабой степенью загрязнения занимают 22 % исследуемой площади, со средней – 48 %, с сильной – 23 %, с очень сильной – 7 %. Здесь верхняя граница золотоносной зоны проходит в основном по современной поверхности и верхняя часть ее эродирована. По мере удаления от рудного поля концентрация рудовмещающих элементов уменьшается, но в пределах исследуемого участка допустимой не становится.

Площадь со слабой степенью загрязнения, преимущественно на левобережье р. Улунга и на юго-западном участке, составляет ~22 % исследуемой площади. В повышенных концентрациях здесь присутствуют Bi ($K_k=1,5-2$), B (1,2–2), Na (1,1–3,2), K (1,5–2,9). Элемент висмут относится к группе малоподвижных и частично умеренно подвижных, характеризуется незначительной радиальной дифференциацией, имеется тенденция к некоторому накоплению в гумусовом горизонте А относительно горизонта В.

Площадь со средней степенью загрязнения земель составляет приблизительно 48 % исследуе-

мой территории, полностью занимает долину р. Улунга и частично пологоувалистую поверхность денудационного выравнивания и денудационную поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях здесь присутствуют элементы: Pb (1,3–1,9), As (15), Ag (1,5–6), W (2–4), Bi (1,5–7,5), P (1,3–3,8), B (1,5–15), K (1,5–3,7), Sb (6,7), Co (1,5–3,0), Mn (1,9–4,7), Cd (10), Cu (1,5–2,3), Mo (1,5), Ni (1,3), Hg (1,7).

Таблица 2. Содержания химических элементов в почве горизонта А

Элемент	Ед. изм	Горизонт А			
		min	max	средн.	ПДК, ОДК, кларк*
As	мг/кг	30	400	96	2
Pb		10	60	33	32
Sn		0,5	4	2,7	4,5
Mo		0,6	6	1,1	2
Ag		0,02	2	0,28	0,1
Cu		8	400	40	66
Zn		5	300	100	110
Sb		30	30	30	4,5
W		3	6	4,0	1,5
Bi		0,15	2	0,54	0,2
Ni		10	50	31	40
Co		2	30	13	10
Cr		10	150	63	200
V		40	100	75	150
Mn		80	7000	918	1500
Ti		800	4000	2193	4600
P		300	3000	1188	800
Ge		0,5	1,0	0,6	1
Sc		1	10	3,3	7
Ga		5	40	24	30
Be		0,5	4	1,3	6
Ba	%	200	800	458	500
Zr		30	150	68	300
Y		4	30	10,5	50
Yb		0,4	2	1	3
La		5	40	22	40
Nb		1,5	15	4,6	10
Li		10	40	25	30
B		10	300	52	10
Cd		0,5	10	0,7	1
Sr		10	400	84	300
Hg	%	0,01	3,63	0,63	2,1
Fe		0,5	4	1,5	3,8
Ca		0,08	1,5	0,5	1,37
Na		0,04	2	1,24	0,63
Mg		0,1	1	0,30	0,63
Si		15	50	35	33
Al		3	8	6,8	7,13
K		0,25	5	2,6	1,36
Np	мг/кг	20	15970	4972	500

*Примечание: 1) ПДК – Sn, Mo, Ag, Sb, W, Bi, Co, Cr, V, Mn, Ti, P, Ge, Sc, Ga, Be, Ba, Zr, Y, Yb, La, Nb, Li, B, Sr, Hg, Np; 2) ОДК – As, Pb, Cu, Zn, Ni, Cd; 3) Кларк – Fe, Ca, Na, Mg, Si, Al, K.

Площадь с сильной степенью загрязнения земель составляет ~ 23 % исследуемой территории. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и

эрозионно-денудационная поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях здесь присутствуют элементы: Pb (1,3–1,6), As (15–35), Ag (2–20), Sb (6,7), W (2,7–4), Bi (2–5), P (1,3–3,8), B (2–30), K (1,5–3,7), Co (1,5–3,0), Cu (6,1), Mo (3).

Площадь с очень сильной степенью загрязнения земель составляет ~ 7 %. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и эрозионно-денудационная поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях здесь присутствуют элементы: As (150–200), Ag (3), Bi (1,5–3), B (1,5–3), K (2,2), Co (2), Na (1,6).

Почвенный горизонт В

По суммарному показателю загрязнения в почвах горизонта В на исследуемом участке незагрязненных земель нет. Степень загрязнения почв горизонта В характеризуется от слабой до очень сильной. В табл. 3 приведены максимальные, минимальные, средние содержания элементов в иллювиальном горизонте, а также ПДК и ОДК, по которым выполнена оценка степени загрязнения.

Основные элементы, превышающие принятые нормативы, в единицах ПДК в иллювиальном горизонте следующие: As (15–500), P (1,3–3,8), Ag (1,5–30), Sb (6,7–8,9), Bi (1,5–2,7), B (1,5–40), Mo (1,5–10), Cu (1,1–3,0), Co (1,5–4,0), Pb (1,3–3,1), Ni (1,3–1,5), W (2–6,7), Zn (1,4–2,7) и макрокомпоненты Na, Si, K, Al – 1,1–4,8.

Участки со слабой степенью загрязнения занимают 10 % исследуемой площади, со средней – 43 %, с сильной – 24 %, с очень сильной – 23 %. Относительно гумусового горизонта в иллювиальном наблюдается более обширное по площади распространение повышенных концентраций химических элементов.

Площадь со слабой степенью загрязнения представлена небольшими участками в восточной части исследуемой площади. В повышенных концентрациях (мг/кг) здесь выявлены: бор (до 40), вольфрам (до 3), натрий (до 2), калий (до 3).

Площадь со средней степенью загрязнения земель составляет ~ 43 % исследуемой территории, занимает северную левобережную и восточную части, преимущественно по долине р. Улунга, и частично эрозионно-денудационную поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях выявлены: As (15–20), P (1,3–3,8), Cd (10), Ag (1,5–10), Bi (1,5–3,5), Sb (6,7), Co (1,5–4,0), Pb (1,3–1,6), Mo (1,5), B (2–15), W (2–2,7), Ni (1,5–3), K (1,5–3,7), Mn (1,3), Na (1,6–4,8), Al (1,4).

Площадь с сильной степенью загрязнения земель составляет ~ 24 % исследуемой территории, занимает частично площадь рудопроявления и к северу почти всю кольцеобразную долину р. Улунга. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и площадь развития рыхлых кайнозойских отложений. На этой территории в повышенных кон-

центрациях выявлены следующие элементы: As (15–35), P (1,3–1,9), Cd (10), Pb (1,3–1,9), Ag (2–7), Sb (6,7), Cu (1,5–3,0), Bi (1,5–20), Co (1,5–2,0), B (2–30), Li (1,3), Mo (1,5–10), Zn (1,4–2,7), Ni (1,3), W (2–4,7), Na (1,6–4,8), K (2,2–4,9), Al (1,1–1,4).

Таблица 3. Содержания химических элементов в почве горизонта В

Элемент	Ед. изм.	min	max	средн.	ПДК, ОДК, кларк
As	мг/кг	30	1000	110	2
Pb		20	100	39	32
Sn		1	6	3	4,5
Mo		0,6	20	1,7	2
Ag		0,02	3	0,28	0,1
Cu		8	200	34	66
Zn		10	300	105	110
Sb		30	40	31	4,5
W		3	10	4	1,5
Bi		0,15	4	0,55	0,2
Ni		8	60	31	40
Co		3	40	12	10
Cr		20	150	82	200
V		40	150	84	150
Mn		100	3000	488	1500
Ti		1000	3000	2326	4600
P		300	3000	1060	800
Ge		0,5	1,5	0,65	1
Sc		1	7	3,2	7
Ga		15	40	26	30
Be		0,5	3	0,81	6
Ba		200	700	388	500
Zr		30	150	70	300
Y		3	20	8	50
Yb		0,3	2	0,87	3
La		5	30	20	40
Nb		1,5	8	4,7	10
Li		10	50	29	30
B		7	400	70	10
Cd		0,5	15	1,5	1
Sr		5	300	67	300
Hg		0,01	0,37	0,13	2,1
Fe	%	0,5	5	1,57	3,8
Ca		0,05	0,8	0,4	1,37
Na		0,3	3	1,46	0,63
Mg		0,07	0,8	0,3	0,63
Si		30	50	38	33
Al		5	10	7	7,13
K		1	6	3	1,36
Nr		15	58100	11700	500

Площадь с очень сильной степенью загрязнения земель составляет ~23 %. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и эрозионно-денудационная поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях обнаружены элементы: As (20–500), P (1,9–3,8), Sb (6,7), Ag (1,5–3), Bi (2–10), B (1,5–40), Pb (1,3–3,1), Mo (1,5), Co (1,5–3), W (2–4,7), Li (1,3), Na (1,6–3,2), K (1,5–4,4), Si (1,2).

Ниже приведены сведения о химических элементах, выявленных в повышенных концентрациях на площади рудопроявления, их распространении по площади и перераспределении в ландшафте.

Свинец распространен по исследуемой площади довольно равномерно и не только на площади рудного поля, где свинец является рудогенным элементом гидротермалитов, но и на левобережной террасе р. Улунга. Значительное загрязнение свинцом выявлено по подвижным формам, ими сформирована на площади напряженная и критическая экологическая ситуация (из 13 проб в 9 экотоксикологическое состояние от напряженного до критического). Это в большей степени свинец техногенного происхождения. По группе подвижности свинец относится преимущественно к умеренно подвижным. Анализ коэффициента радиальной дифференциации свидетельствует об интенсивном выносе свинца из гумусового горизонта А в горизонт В (радиальная дифференциация выражена очень отчетливо). Особенно явно это проявляется на нарушенных землях – отработках прошлых лет и прилегающих к ним территориях.

Мышьяк в горизонте А выявлен в трех пунктах опробования с Кк=15. По всей исследуемой площади повышенные концентрации его в гумусовом горизонте связаны исключительно с породами рудопроявления, это наиболее контрастный элемент-спутник золотого оруденения. Содержание мышьяка в гумусовом горизонте всей площади изменяется от 30 до 400 мг/кг (среднее содержание 95,8 мг/кг), коэффициент концентрации варьирует от 0,5 до 400. Вторичные литогеохимические ореолы мышьяка характеризуются содержанием 300–400 мг/кг, по всему рудному полю выявлены знаки проявлений мышьяка в штучных пробах. Содержание мышьяка в иллювиальном горизонте гораздо больше, чем в горизонте А, и характеризуется содержанием от 300 до 1000 мг/кг (Кк изменяется от 15 до 500). Распределение мышьяка на площади рудопроявления происходит за счет выноса его из гумусового горизонта в горизонт В. А за пределами рудного поля идет накопление мышьяка в гумусовом горизонте.

Серебро на площади со средней степенью загрязнения фиксируется в пределах 0,15–0,6 мг/кг (Кк от 1,5 до 6).

По всей площади участка элемент Ag отличает близповерхностное оруденение, выделен во всех группах метасоматитов, в гидротермалитах. По группе подвижности серебро преимущественно малоподвижно. Однако его подвижность увеличивается на нарушенных землях (старые отработки по ручью Восточному), и еще более увеличивается подвижность на свежих отработках (на площади ООО «Артель Новые технологии»).

В гумусовом горизонте концентрации серебра от 0,02 до 2,0 мг/кг (Кк от 0,15 до 20,0; средний 2,82); в иллювиальном горизонте концентрации серебра от 0,02 до 3,0 (Кк от 0,2 до 30). В горизонте В концентрации серебра выше, чем в гумусовом,

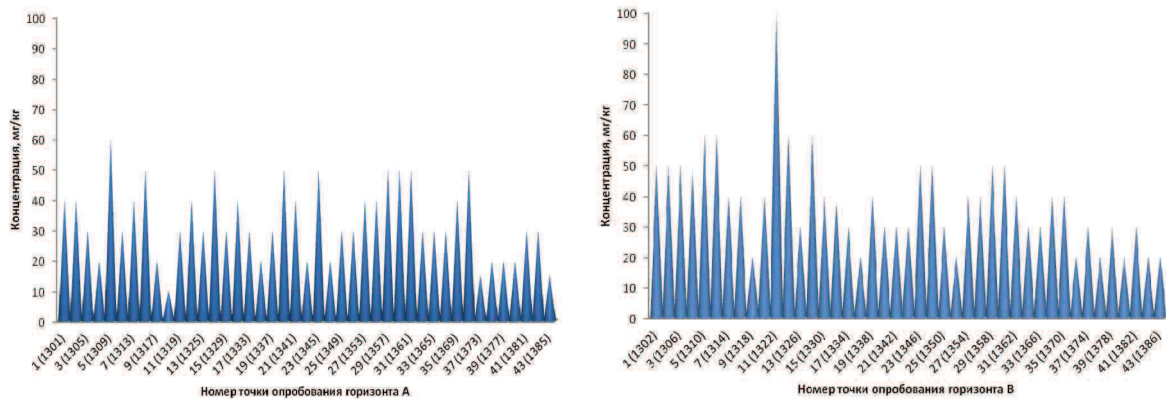


Рис. 2. Гистограмма содержания свинца в почве горизонта А и В

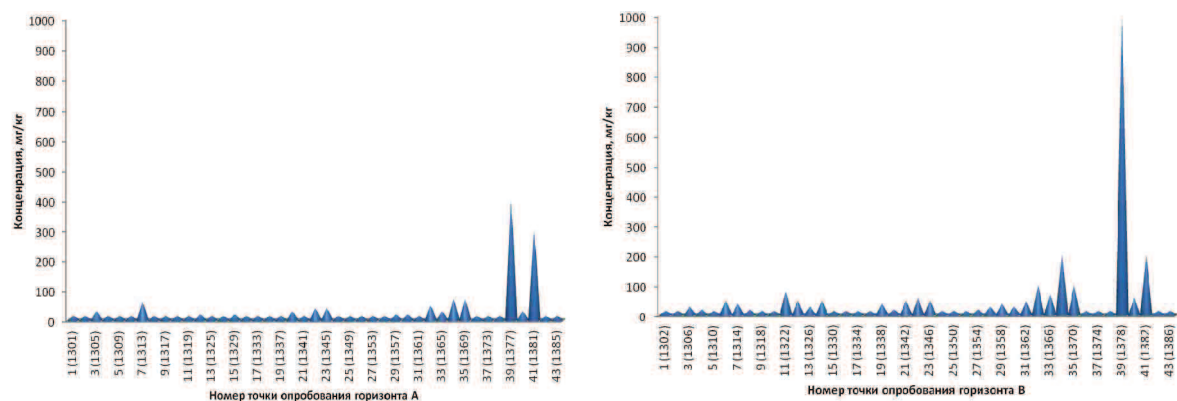


Рис. 3. Гистограмма содержания мышьяка в почве горизонта А и В

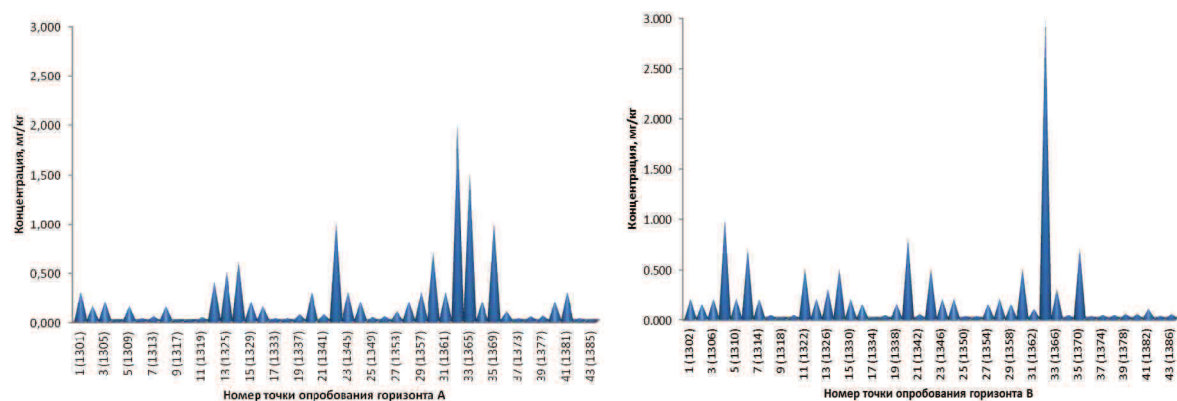


Рис. 4. Гистограмма содержания серебра в почве горизонта А и В

о чем свидетельствует коэффициент радиальной дифференциации – происходит вынос металла из горизонта А в горизонт В.

Вольфрам фиксируется в повышенных концентрациях по 9 пробам, на площади со средней степенью загрязнения. Содержание колеблется в пределах 3–6 мг/кг (Кк от 2 до 4). Концентрация металла в почвенных горизонтах составляет: гор. А – 3–6 мг/кг (ср. 4,0); Кк – 0,5–4 (ср.=1,3); гор. В – 3–10 мг/кг (ср. 4,1); Кк – 2–6,7 (ср.=2,7).

Коэффициенты радиальной дифференциации и местной миграции указывают на процесс накопления элемента в гумусовом горизонте.

Висмут фиксируется в повышенных концентрациях на площади практически повсеместно. Содержание его в гумусовом горизонте колеблется от 0,15 до 1,5 мг/кг (Кк от 0,75 до 7,5).

Для висмута характерен повышенный природный фон (0,38 мг/кг – гор. А; 0,34 – гор. В) относительно принятого норматива (0,2 мг/кг). Предшественниками ранее (Я.Н. Жилич, 1982) висмут был установлен в виде проявлений, которые пространственно приурочены к верхнеамурским гранодиоритам и, вероятно, связаны с ним генетически. По подвижности висмут относится к группе малоподвижных и умеренно подвижных. Содерж-

жание висмута в гумусовом горизонте изменяется от 0,15 до 2 мг/кг (среднее – 0,54 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,75 до 10 (средний – 2,7); в иллювиальном горизонте содержание висмута от 0,15 до 4 мг/кг (среднее – 0,55 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,8 до 20 (средний – 2,7). Направление и интенсивность перераспределения висмута в ландшафте характеризуется коэффициентами радиальной дифференциации и местной миграции. Исследуемая площадь имеет очень сложную природную геохимическую характеристику. На площади, где выявлено повышенное содержание висмута, идет накопление в гумусовом горизонте.

На всей площади исследования бор присутствует в повышенных концентрациях. Для него характерен повышенный природный фон: 21,5 мг/кг для гумусового горизонта и 20,9 мг/кг для иллювиального горизонта относительно принятого норматива 10 мг/кг. Бор накапливается в более молодых гранитоидах, особенно повышенной основности, и в рудных процессах.

Содержание бора в гумусовом горизонте 10–300 мг/кг (среднее 52,21 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 1 до 30 (средний 5,22); в иллювиальном горизонте – 7–400 мг/кг (среднее 70 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,7 до 40 (средний 7). Почвы на пло-

щади кислые, малогумусные, подвижных оснований практически нет, и по подвижности бор относится к группе малоподвижных. Распределение бора в гумусовом горизонте аналогично иллювиальному отличается лишь немного по интенсивности. На большей площади преобладает процесс накопления бора в иллювиальном горизонте; на прилегающей с восточной стороны к рудному полю площади – это право- и левобережная долина р. Улунга, происходит интенсивный процесс накопления бора в гумусовом горизонте.

На площади со средней степенью загрязнения кобальт в повышенных концентрациях фиксируется практически в половине проб. Содержание его в гумусовом горизонте колеблется от 15 до 30 мг/кг (Кк от 1,5 до 3).

Для него характерен немного повышенный природный фон: 12,5 мг/кг для гумусового горизонта и 13,5 мг/кг для иллювиального горизонта относительно принятого норматива 10 мг/кг. Кобальт является рудогенным элементом метасоматитов ранних стадий. По подвижности кобальт в существующей природной обстановке относится к группе умеренно подвижных и среднеподвижных, причем максимальная подвижность характерна для участков, где идет отработка россыпей. Содержание кобальта в гумусовом горизонте от 2 до 30 мг/кг (среднее 12,84 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,2 до 3 (средний 1,28); в

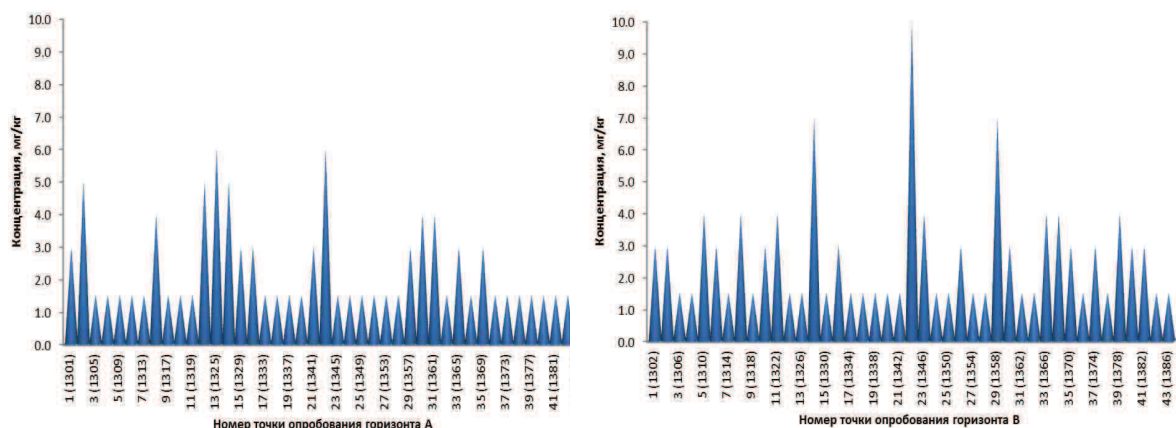


Рис. 5. Гистограмма содержания вольфрама в почве горизонта А и В

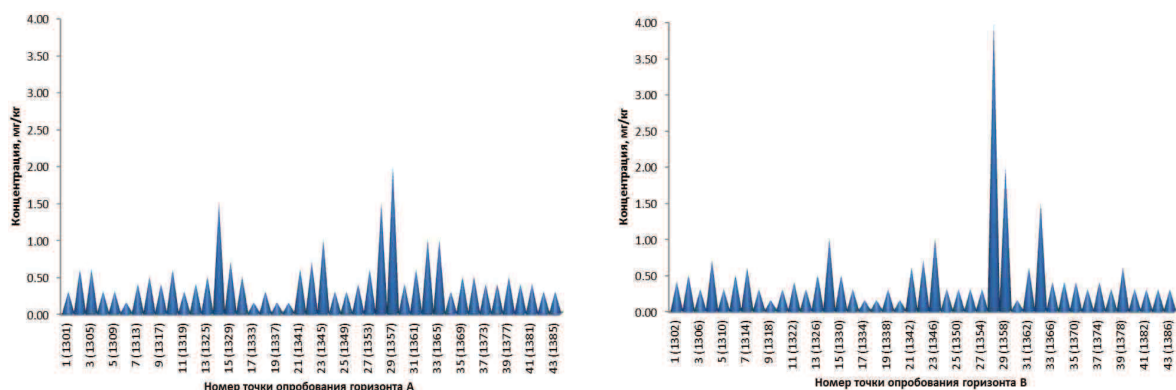


Рис. 6. Гистограмма содержания висмута в почве горизонта А и В

иллювиальном горизонте – 3–40 мг/кг (среднее 12,16 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,3 до 4 (средний 1,2).

Кадмий проанализирован лишь спектральным полуколичественным методом, при котором порог обнаружения недостаточный. На площади со средней степенью загрязнения в повышенных концентрациях кадмий фиксируется только в одной пробе на нарушенных отработкой землях в долине р. Улунга.

По всей исследуемой площади в почвенных горизонтах выявлены повышенные концентрации кадмия в 5-ти пунктах опробования и исключи-

тельно на нарушенных отработкой при добыче россыпного золота землях: в долине р. Улунга, по руч. Восточный и Алкаган. По подвижности относится к группе исключительно малоподвижных. Содержание кадмия в гумусовом горизонте изменяется от 0,5 до 10 мг/кг (среднее – 0,7 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,5 до 10 (средний – 0,72); в иллювиальном горизонте содержание от 0,5 до 15 мг/кг (среднее – 1,5 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,85 до 15 (средний – 1,5). Повышенные концентрации кадмия носят техногенный характер.

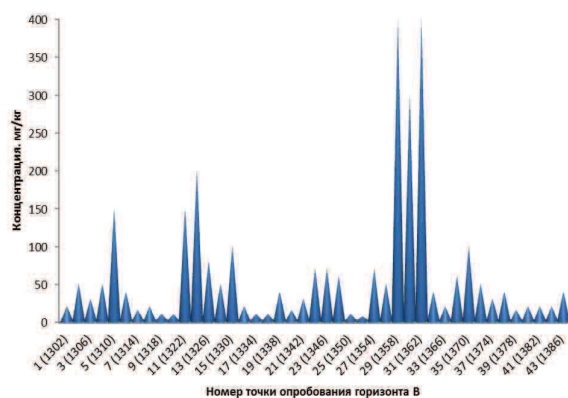
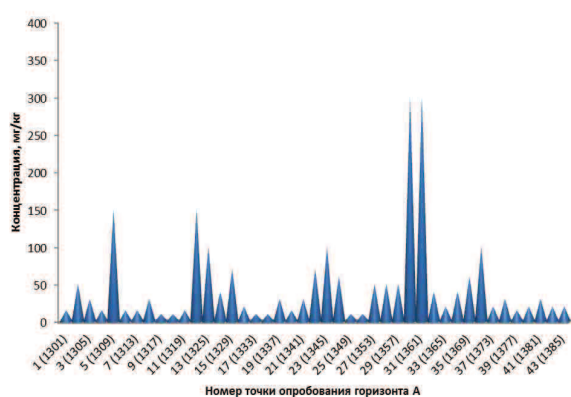


Рис. 7. Гистограмма содержания бора в почве горизонта А и В

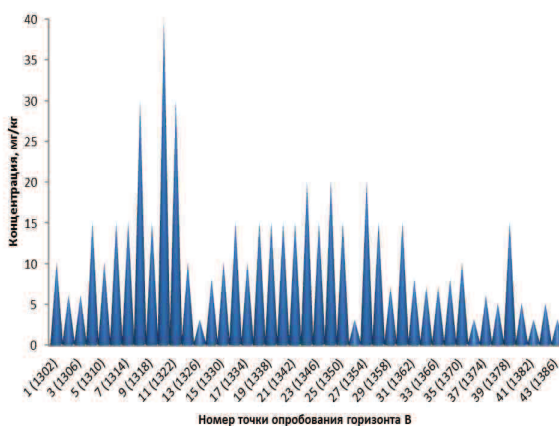
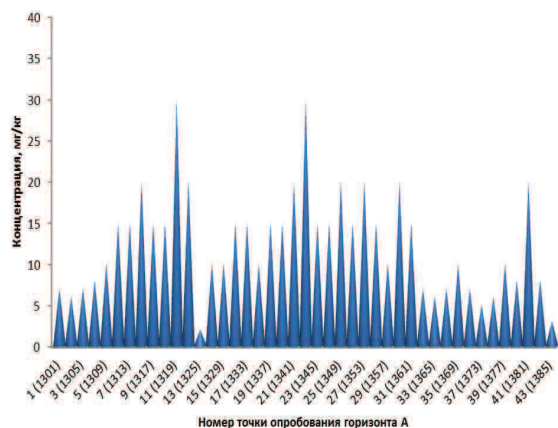


Рис. 8. Гистограмма содержания кобальта в почве горизонта А и В

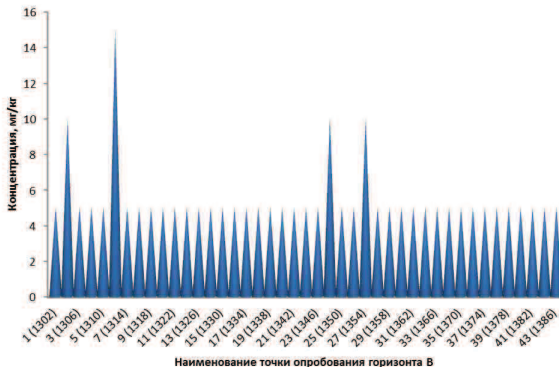
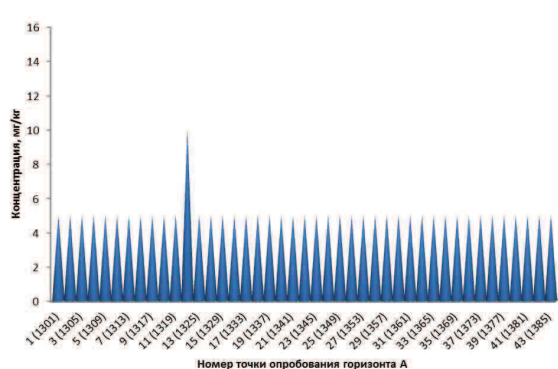


Рис. 9. Гистограмма содержания кадмия в почве горизонта А и В

Сурьма является элементом-индикатором золотого оруденения «Пионер» и распределяется в метасоматитах ранних стадий – медно-порфировое оруденение и гидротермалитах, представленных кварцевыми, кварц-карбонатными жилами, зонами окварцевания. Сурьма проанализирована, как и кадмий, спектральным полуколичественным методом, при котором порог обнаружения недостаточный. На площади со средней степенью загрязнения в повышенных концентрациях сурьма фиксируется только в четырех пробах с содержанием 30 мг/кг ($K_k=6,7$).

При анализе распределения сурьмы по всей исследуемой площади в почвенных горизонтах выявлены повышенные концентрации в 11-ти пунктах опробования. По подвижности сурьма относится к группе малоподвижных. Содержание сурьмы в гумусовом горизонте 30 мг/кг, коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,5 до 6,67 (средний – 1,22); в иллювиальном горизонте содержание 30–40 мг/кг, коэффициент концентрации изменяется от 6,7 до 8,9 (средний – 6,9). Загрязнение выявлено на площади нарушенных земель долины р. Улунга (между притоками Медвежий и Алкаган); максимальная концентрация элемента одновременно в обоих горизонтах на заболоченной долине ($K_k=6,7-8,9$).

Медь является рудогенным элементом и распределяется в метасоматитах ранних стадий – медно-порфировый тип оруденения.

Для меди характерен повышенный природный фон (25 мг/кг – гор. А; 23,4 – гор. В) на оцениваемой

площади. На площади со средней степенью загрязнения зафиксировано в трех пробах содержание меди от 70 до 150 мг/кг.

Содержание меди в гумусовом горизонте изменяется от 8 до 400 мг/кг (среднее – 40,3 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,12 до 6,1 (средний – 0,6); в иллювиальном горизонте содержание меди от 8 до 200 мг/кг (среднее – 34 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,1 до 3 (средний – 0,5).

Молибден является рудогенным элементом, выделен в метасоматитах ранних стадий – оруденение медно-порфирового типа, и в группе низкотемпературных метасоматитов (Я.Н. Жилич, 1982). Для молибдена характерен повышенный природный фон (0,9 мг/кг – гор. А; 0,96 – гор. В) на оцениваемой площади. По подвижности молибден относится к группе умеренно- и малоподвижных. Содержание молибдена в гумусовом горизонте изменяется от 0,6 до 6 мг/кг (среднее – 1,14 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,3 до 3 (средний – 0,57); в иллювиальном горизонте содержание меди от 0,6 до 20 мг/кг (среднее – 1,71 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,3 до 10 (средний – 0,9). В иллювиальном горизонте площадь с повышенным содержанием молибдена превосходит в два раза.

Марганец в почвенных горизонтах исследуемой площади характеризуется фоновым содержанием 500 мг/кг в гумусовом горизонте и 343 мг/кг в иллювиальном горизонте. Достаточно нормальной

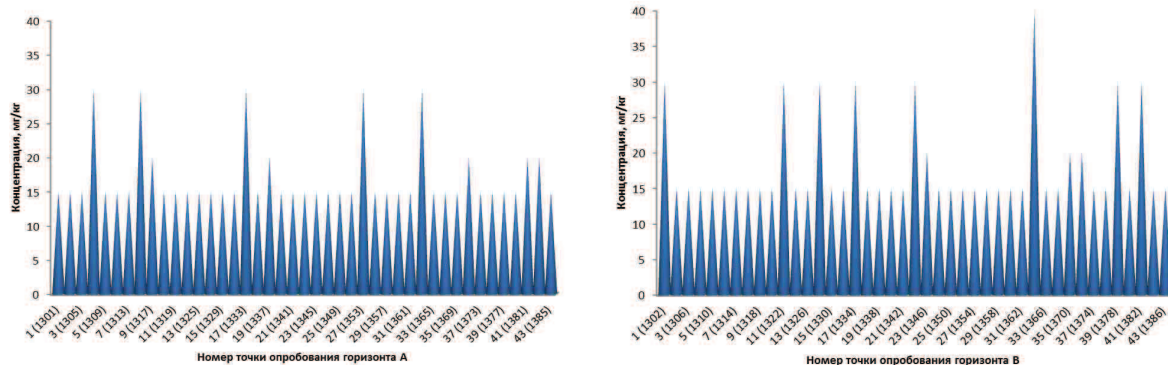


Рис. 10. Гистограмма содержания сурьмы в почве горизонта А и В

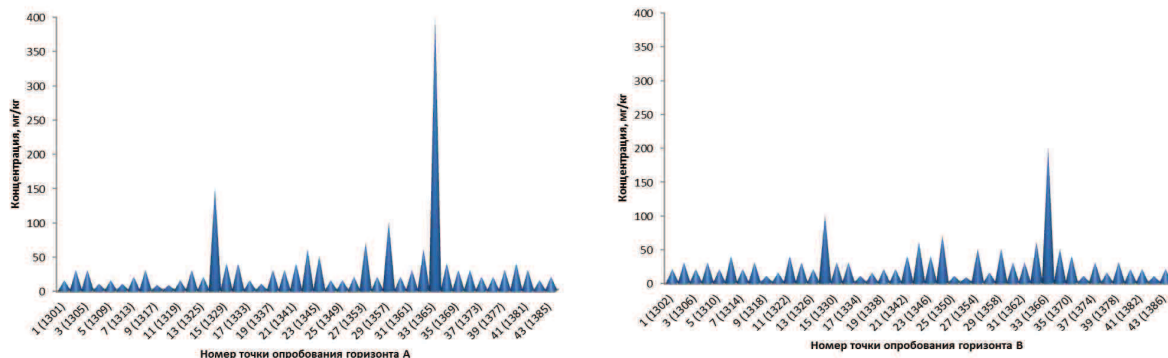


Рис. 11. Гистограмма содержания меди в почве горизонта А и В

концентрацией в почвах считается 400–3000 мг/кг, ниже и выше этих величин наступает критический недостаток или токсичный избыток [10]. Самые высокие показатели содержания марганца установлены для участков, богатых органикой глеевого происхождения.

По подвижности марганец относится к группе очень подвижных, среднеподвижных и умеренно подвижных. Причем группа подвижности элемента возрастает на нарушенных землях. Содержание марганца в гумусовом горизонте изменяется от 80 до 7000 мг/кг (среднее – 918,14 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,05 до 4,7 (средний – 0,61); в иллювиальном горизонте содержание от 100 до 3000 мг/кг (среднее – 488 мг/кг), коэффи-

циент концентрации изменяется от 0,1 до 2 (средний – 0,3).

Фосфор в почвенных горизонтах исследуемой площади характеризуется фоновым содержанием 1051 мг/кг в гумусовом горизонте и 1009 мг/кг в иллювиальном горизонте. Норматив, по которому выполнена оценка загрязнения, составляет 800 мг/кг.

По подвижности фосфор относится к группе очень подвижных, умеренно подвижных и малоподвижных. Причем группа подвижности элемента возрастает на нарушенных землях. Содержание фосфора в гумусовом горизонте изменяется от 300 до 3000 мг/кг (среднее – 1188,4 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,38 до 3,75 (средний – 1,49); в иллювиальном горизонте содержание фос-

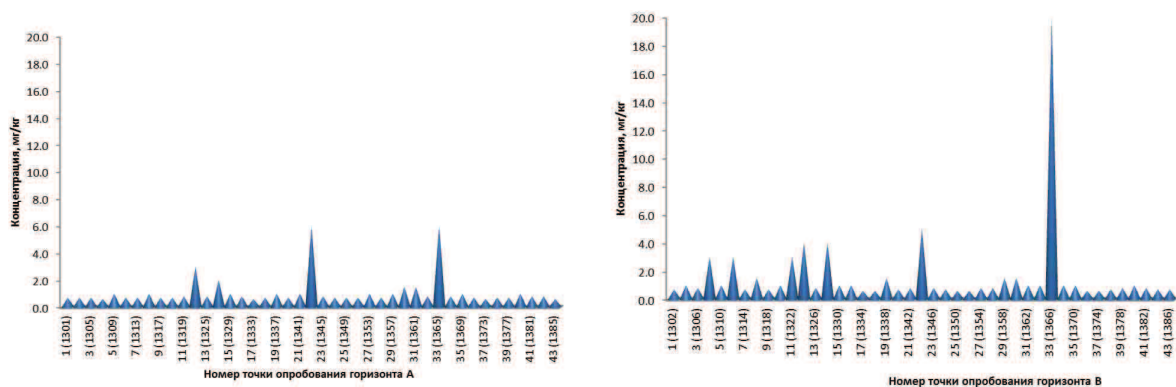


Рис. 12. Гистограмма содержания молибдена в почве горизонта А и В

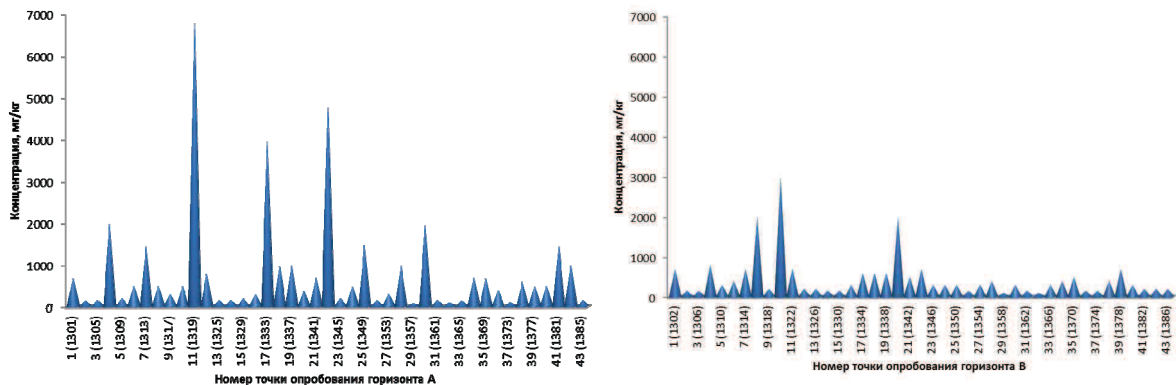


Рис. 13. Гистограмма содержания марганца в почве горизонта А и В

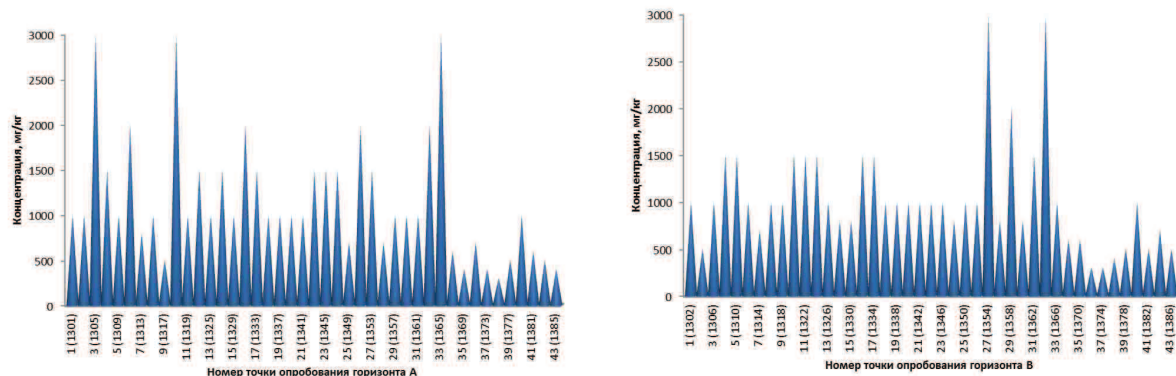


Рис. 14. Гистограмма содержания фосфора в почве горизонта А и В

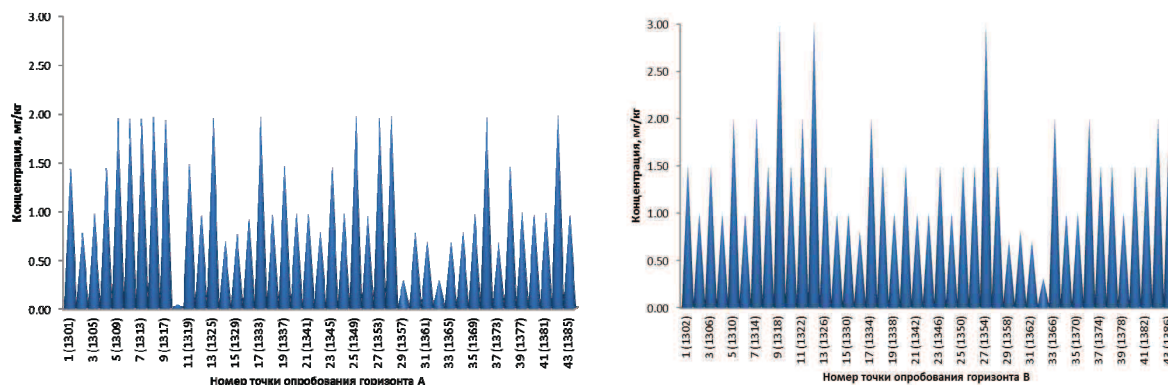


Рис. 15. Гистограмма содержания натрия в почве горизонта А и В

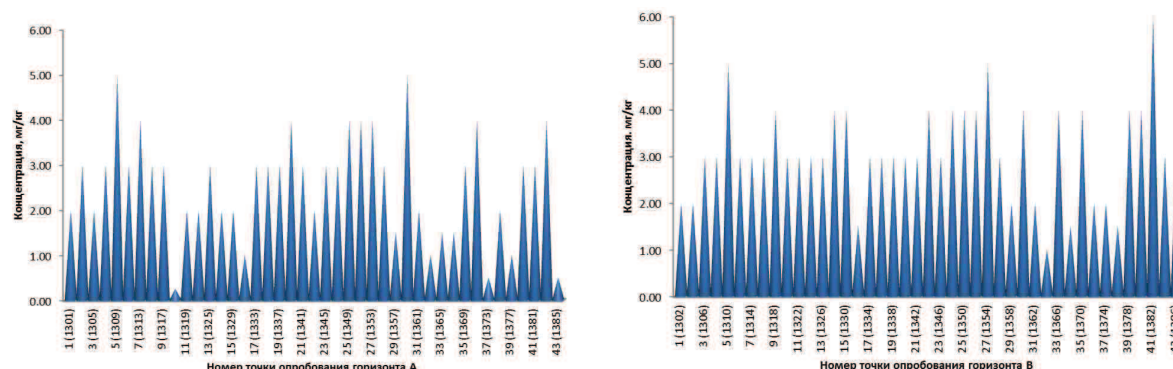


Рис. 16. Гистограмма содержания калия в почве горизонта А и В

фора от 300 до 3000 мг/кг (среднее – 1060 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,4 до 3,8 (средний – 1,3).

Содержание *натрия* в гумусовом горизонте изменяется от 0,04 до 2 % (среднее – 1,24 %), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,06 до 3,17 % (средний – 1,97 %); в иллювиальном горизонте содержание натрия от 0,3 до 3 % (среднее – 1,46 %), коэффициент концентрации изменяется от 0,5 до 4,8 (средний – 2,3 %).

Проявляется достаточно четкая дифференциация по профилю: например, для площади с содержанием 1,3 % ($K_k=2$) характерно накопление натрия в иллювиальном горизонте, а для площади с меньшим содержанием натрия характерно накопление в гумусовом горизонте.

Содержание *калия* в гумусовом горизонте изменяется от 0,25 до 5 % (среднее – 2,62 %), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,18 до 3,68 (средний – 1,93); в иллювиальном горизонте содержание калия от 1 до 6 % (среднее – 3,15 %), коэффициент концентрации изменяется от 0,7 до 4,4 (средний – 2,3). По подвижности калий относится к группе исключительно малоподвижных. В гумусовом горизонте содержание калия повышенное относительно иллювиального, а распространение по площади с повышенным содержанием практически одинаковое.

Заключение

По результатам геоэкологических исследований территории золоторудного месторождения «Пионер» выполнена оценка состояния почвенных горизонтов. Почвенный гумусовый горизонт, оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами (нормирование относительно принятых предельно-допустимых концентраций), незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 22 % исследуемой площади, со средней – 48 %, с сильной – 23 %, с очень сильной – 7 %. По мере удаления от рудного поля концентрация рудомещающих элементов уменьшается, но в пределах исследуемого участка допустимой не становится. Почвенный иллювиальный горизонт на площади золоторудного месторождения «Пионер», оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами (нормирование относительно принятых ПДК), незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 10 % исследуемой площади, со средней – 43 %, с сильной – 24 %, с очень сильной – 23 %. Относительно гумусового горизонта в иллювиальном наблюдается более обширное по площади распространение повышенных концентраций химических элементов. Полученные данные могут быть использованы при анализе эколого-геохимической ситуации с целью дальнейшего промышленного освоения месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивлёв А.М. Эволюция почв. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2005. – 97 с.
2. Терентьев А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование. – Владивосток: Дальневосточное книжное изд-во, 1969. – 262 с.
3. Выветривание и почвообразование на юге Дальнего Востока / под ред. д-ра биол. наук А.М. Ивлева. – М.: Наука, 1979. – 102 с.
4. Дугаров В.И., Куликов А.И. Агрофизические свойства мерзлотных почв. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 255 с.
5. Зимовец Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссоно-мерзлотных ландшафтов. – М.: Наука, 1967. – 168 с.
6. Иванов Г.И. Особенности почвообразования на юге Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. – 45 с.
7. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. – М.: Наука, 1976. – 200 с.
8. Коноровский А.К. Почвы севера зоны Малого БАМа. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. – 120 с.
9. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. – М.: Управление охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России, 1993. – 30 с.
10. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: в 6 т. Т. 2. – М.: Недра, 1994. – 303 с.
11. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020–94. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. – 8 с.

Поступила 10.03.2014 г.

UDC 550.849

REGULARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS DISTRIBUTION IN SOILS OF GOLD MINE «PIONER» OF THE AMUR REGION

Mikhail Yu. Lyapunov,

Amur State University, 21, Ignatevskoe Highway,
Blagoveshchensk, 675027, Russia. E-mail: lyapunov@pokrmine.ru

The relevance of the work is caused by the need to receive the data of analysis of territory ecological-geochemical situation for a deposit further development.

The main aim of the study: to determine the concentration of chemical elements and compounds in the soil horizons (humus) and (illuvial) before the «Pokrovskiy mine» business activities related to «Pioneer» industrial refining; based on the results of the geoecological studies to assess soil horizon state by total pollution.

The methods used in the study: spectral semiquantitative and atomic absorption method; atomic emission and mass-spectral analysis of moving forms.

The results: The author has assessed the state of soil horizons A and B by total pollution rate (rate setting on the maximum permissible concentrations). The distribution of chemical elements high concentrations on the field was determined. Based on the results of the geoecological research within the gold mine «Pioneer» the status assessment of soil horizons was carried out. Soil humus horizon, assessed by its total pollution rate, has all polluted areas. Areas with low pollution level occupy 22 % of the studied area, with an average pollution level – 48 %, with strong – 23 %, with very strong – 7 %. With distance from the field the concentration of ore bearing items decreases, but it is not allowed within the investigated area. Soil illuvial horizon within «Pioneer» gold mine, assessed according to its total pollution rate, has all polluted areas. Areas with low pollution level occupy 10 % of the studied area, with an average pollution level – 43 %, with strong – 24 %, with very strong – 23 %. Higher concentrations of chemical elements are more distributed in the illuvial horizon relative to the humus one. The data obtained can be used in the analysis of ecological-geochemical situation for further development of the deposit.

Key words:

Ecological and geochemical studies, concentration ratio, total impurities, maximum permissible concentrations, gold mine, soil horizon, chemical element.

REFERENCES

1. Ivlev A. M. *Evolutsiya pochv* [Evolution of soils]. Vladivostok, Far Eastern University Publ., 2005. 97 p.
2. Terentyev A.T. *Pochvy Amurskoy oblasti i ikh selskokhozyaystvennoe ispolzovanie* [Soils of the Amur region and their agricultural use]. Vladivostok, Far eastern book Publ., 1969. 262 p.
3. *Vyvetrivaniye i pochvoobrazovaniye na yuge Dalnego Vostoka* [Weathering and soil formation in the South of the Russian Far East]. Ed. A.M. Ivlev. Moscow, Nauka Publ., 1979. 102 p.
4. Dugarov V.I., Kulikov A.I. *Agrofizicheskie svoystva merzlotnykh pochv* [Agrophysical properties of sorted circles]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 1990. 255 p.
5. Zimovets B.A. *Pochvenno-geokhimicheskie protsessy musson-merzlotnykh landshaftov* [Soil-geochemical processes of monsoon-sorted circles]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 168 p.
6. Ivanov G.I. *Osobennosti pochvoobrazovaniya na yuge Dalnego Vostoka* [Features of soil formation in the South of the Russian Far East]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 1973. 45 p.
7. Ivanov G.I. *Pochvoobrazovaniye na yuge Dalnego Vostoka* [Soil formation in the South of the Russian Far East]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 200 p.
8. Konorovsky A.K. *Pochvy severa zony Malogo BAMA* [Soils of the North zone of Small BAM]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 1984. 120 p.
9. *Poryadok opredeleniya razmerov ushcherba ot zagryazneniya zemel khimicheskimi veshchestvami* [Procedure for determining the size of land pollution with chemicals]. Moscow, Managing soil and land resources Ministry of natural resources of Russia, 1993. 30 p.
10. Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov* [Environmental geochemistry of elements]. Moscow, Nedra Publ., 1994. Vol. 2, 303 p.
11. *Gigienicheskie normativy GN 2.1.7.020–94. Orientirovочно dopustimye kontsetratsii (ODK) tyazhelykh metallov i myshyaka v pochvakh* [Hygienic standards 2.1.7.020–94. Roughly allowable concentration of heavy metals and arsenic in soils]. Moscow, Goskomsanepidnadzor Russia, 1995. 8 p.