

И.Б. ВОРОБЬЕВА, Н.В. ВЛАСОВАИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, Irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОЧВОГРУНТОВ
ОТВАЛОВ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

Открытый способ разработки Азейского месторождения бурых углей является экологически опасным производством и оказывает негативное влияние на окружающую среду. Установлено, что по химическим свойствам почвогрунты исследуемого месторождения обладают низкой обогащенностью азотом, малым количеством гумуса, валового фосфора и суммой поглощенных катионов. Определены средние концентрации химических элементов в почвах (кларк), которые имеют высокие показатели и являются допустимыми для почв региона. Содержание стронция, хрома, ванадия и свинца в почвогрунтах угольного разреза меньше кларка. Установлено, что температурные кривые почвогрунтов разных участков горных работ Азейского бурогоугольного разреза имеют схожую конфигурацию, а различия в температурном режиме связаны с гранулометрическим составом. Изучение физико-химических свойств и термического режима почвогрунтов отвалов с полным уничтожением напочвенного и почвенного покрова выявило развитие восстановительных стадий.

Ключевые слова: почвогрунты, эмбриоземы, почва, отвалы, физико-химические свойства, температурный режим.

I.B. VOROBYEVA, N.V. VLASOVAV.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, Irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru**PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND THERMAL REGIME OF SOIL-GROUND
IN DUMPS OF AN OPEN-PIT COAL MINE**

The open-pit method of mining the Azeiskii deposit of brown coals is ecologically hazardous and has a negative influence on the environment. It is established that, according to the chemical properties, soil-ground of the deposit under investigation has low nitrogen enrichment, and a small amount of humus, gross phosphorus and the sum of absorbed cations. We determined the mean concentrations of chemical elements in soils (clarke) which have high indicators and are allowable for the region's soils. The content of strontium, chromium and lead in soil-ground of the open-pit coal mine is less than a clarke. It is found that the temperature curves of soil-ground for different areas of mining of the Azeiskii open-pit brown coal mine have a similar configuration, and the differences in temperature regime depend on size-grade distribution. A study of the physicochemical properties and thermal regime of ground-soil of the dumps with total destruction of ground and soil cover revealed the development of rehabilitation stages.

Keywords: soil-ground, embryozems, soil, dumps, physicochemical properties, temperature regime.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности быстрыми темпами привело к интенсивному разрушению естественных ландшафтов и замещению их техногенно нарушенными территориями (техногенными ландшафтами), или природно-техногенными комплексами [1, 2].

Уголь — самый распространенный в мире энергетический ресурс, который стал первым наиболее доступным и диверсифицированным видом ископаемого топлива, используемым человеком. В России 76 % разведанных запасов располагаются в восточных регионах.

Природно-техногенные комплексы, образованные при добыче полезных ископаемых, воздействуют на обширные территории (отвалы под золошлакоотвалы, хвостохранилища и др.). При открытом способе добычи преобладают карьеры и насыпи. Неселективная технология отвалообразования приводит к формированию хаотичной по свойствам и вещественному составу смеси пород [3]. Несколь-

ко десятилетий назад было установлено влияние отвалов добывающих производств на окружающую среду и человека. Новые техногенные ландшафты образуются при возрастающих объемах отходов. В результате почва, подземные и поверхностные воды подвержены интенсивному загрязнению в течение многих лет. Открытый способ разработки Азейского месторождения бурых углей (Иркутская область) является экологически опасным производством, которое оказывает негативное влияние на окружающую среду. С ростом высоты отвалов они становятся интенсивными источниками загрязнения [4, 5].

Цель исследования — изучение физико-химических свойств и термического режима почвогрунтов отвалов на законсервированных участках горных работ Азейского буроугольного разреза.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования относится к Азейскому буроугольному месторождению, расположенному в Тулунском районе Иркутской области, в северо-западной части Иркутского угольного бассейна. Площадь бассейна — 36 тыс. км². Добыча угля ведется уже более 100 лет.

Климат резко континентальный с суровой, продолжительной, малоснежной зимой и теплым летом с обильными осадками. Средняя температура января составляет –22,3 °С, июля — 17,2 °С. Сумма осадков за год — 438 мм, и 79–83 % выпадает в летний период. Мощность снежного покрова — 20–40 см в центральной части и 60–80 см в горной. Речная сеть относится к бассейну р. Ии. Территория характеризуется значительным распространением болот (7,9 % от всей площади), основные массивы которых сосредоточены в пределах Иркутско-Черемховской равнины.

Почвенный покров формируется в условиях континентального климата, расчлененного рельефа и почвообразующих пород, разнообразных по генезису и составу под различными типами растительности. Темно-серые лесные почвы имеют широкое распространение. Вершины и пологие склоны увалов занимают слабоподзолистые почвы на тяжелых и средних суглинках. Почвы черноземного типа размещены по логам, равнинным склонам увалов и плоским понижениям. Они обладают мощным гумусовым горизонтом, достигающим в отдельных случаях 60–70 см. Аллювиальные почвы на легком суглинке располагаются в пойменных террасах русла р. Ии. Торфяно-болотные и иловато-болотные почвы с достаточно высоким содержанием перегноя и минеральных питательных веществ занимают существенные площади.

Многолетнемерзлые породы имеют островное распространение, приуроченное к долине р. Азейки и отрицательным формам рельефа. Сезонное промерзание грунтов начинается с октября, а полное оттаивание происходит в конце июня. Глубина промерзания зависит от многих факторов и изменяется от 1 до 3,5 м (средняя — 2 м), достигая максимального значения на склонах возвышенностей [6].

После окончания добычи угля, в соответствии с природоохранным законодательством, проводится горнотехническая рекультивация. Первый этап состоит в разравнивании конусов отвалов, затем делают первичную и вторичную планировку. Далее, через год, наступает очередь биологического этапа рекультивации. На выровненных площадях высаживаются сосенки (именно эти деревья наиболее неприхотливы к условиям произрастания).

С течением времени в пониженных формах рельефа образуются искусственные озера. Например, самое крупное озеро на отработанных полях Азейского месторождения занимает площадь примерно в 500 га, есть и множество мелких.

Основными объектами исследования являются почвогрунты на гребнях отвалов трех рекультивируемых площадок Азейского разреза (рис. 1).

Изучаемые горные выработки представлены участками Заазейский-III, Восточный, IV. Первые два представляют собой траншеи с двумя выездами, на последнем проведена рекультивация. Они имеют два борта выработок — рабочий и нерабочий. Рабочий — нетронутый массив пород, нерабочий — это внутренний отвал разрыхленных и перемешанных в процессе экскавации пород, которые состоят из четвертичных и юрских отложений. Четвертичные — почвенно-растительный слой суглинков, супесей и песков. Юрские — песчаники и алевролиты с обломками кварца. На нерабочих бортах заложены почвенные разрезы (шурфы): точка 3-4 — Заазейский-III; В-1 и В-4 — Восточный; 4-1 — IV.

Отбор и подготовка образцов почвогрунта к анализу выполнялись в соответствии с нормами, которые установлены государственными стандартами [7, 8]. Для этого закладывались разрезы на отвалах, проводился отбор образцов на глубине 0–10 и 25–40 см. После высушивания и растирания образцов в камеральных условиях определялись их физико-химические свойства и химический состав по общепринятым методикам [9, 10] в соответствии с нормативными документами.

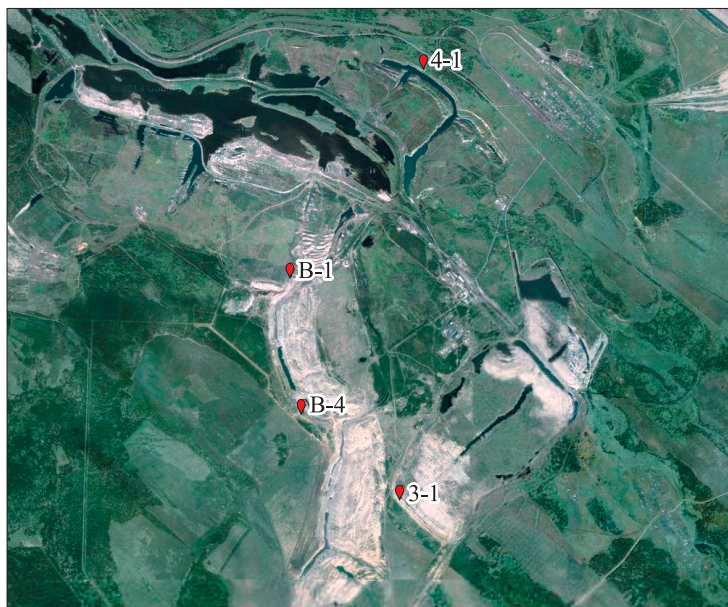


Рис. 1. Расположение ключевых точек отбора образцов почв и почвогрунтов на законсервированных площадках Азейского разреза.

Красным значком показано местоположение точек отбора, цифрами — их номера.

Для оценки степени загрязнения образцов тяжелыми металлами содержание потенциальных загрязнителей в почвах территории сравнивалось с ПДК [11] и ОДК [12] и региональным фоном Иркутской области [13].

Тепловой режим почвогрунтов характеризуется многими параметрами, и необходимо проводить такие измерения, которые могут дать интегральную оценку его качества. Для почв естественных ландшафтов наблюдения за динамикой температуры осуществляются на гидро-

метеостанциях, а для почв техногенных ландшафтов такие измерения не проводятся. Для регистрации температуры почвы во времени (в течение года) на глубине 20 см были использованы измерители температуры «Термохрон». Регистрация температурных значений проводилась через равные заданные промежутки времени (частота измерений — 3 ч, погрешность $\pm 0,5$ °С). Датчики температуры были установлены на участке Заазейский-III (точка 3-4-11), Восточном (B-1-11) и IV участке (4-1-11) в июле 2013 г., показания сняты в июле 2014 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Работы по добыче угля открытым способом приводят к полному уничтожению природных ландшафтов. В таких условиях почвогрунты представлены техногрунтами и эмбриоземами — слабо развитыми примитивными почвами, формирующимися на техногенных грунтах в режиме саморазвития [3].

Отвалы вскрышных пород представлены перемешанными слоями пород с вкраплениями угольной крошки и большим количеством включений различного цвета — от зеленого до охристого, без растительности.

Химические свойства грунтов представлены в табл. 1. Характерной чертой отвалов без растительного покрова является слабокислая или нейтральная реакция среды (рН 6,4–7,3). Значения рН в техногенно измененных условиях не имеют строгой дифференциации внутри разреза. Смещение величины рН в область кислых значений обнаружено в точке B-1, несмотря на растительность. Установлено, что это изменение связано с деятельностью предприятия: при проведении вскрышных работ производятся взрывы, продукты выбросов которых осаждаются на ближайших территориях и накапливаются как в грунтах, так и в растительном покрове. Данная точка расположена в зоне воздействия работающего разреза. Наиболее удаленная точка (4-1) обладает слабощелочной реакцией почвенного раствора (рН 7,3–8,2) и представлена эмбриоземом со слабо выраженными пионерными горизонтами.

Содержание гумуса в техногрунтах сильно колеблется в зависимости от количества угольной крошки и неравномерно по разрезу. Обогащенность азотом очень низкая. Поскольку процесс восстановления растительного покрова на двух точках проис-

Таблица 1
Физико-химические свойства почв и почвогрунтов ключевых участков Азейского месторождения бурых углей

Номер точки	Глубина, см	рН	Гумус, %	N, %	CO ₂ , %
3-4-13	0–10	6,5	0,37	0,04	0,74
	10–20	6,4	0,38	0,03	0,67
B-1-13	0–10	6,5	1,74	0,08	0,91
	10–20	5,2	1,22	0,06	0,77
B-4-13	0–10	7,3	1,32	0,10	0,95
	10–20	6,9	0,46	0,05	0,77
4-1-13	0–10	7,9	4,30	0,39	1,80
	10–20	8,2	2,25	0,20	1,76

ходит достаточно интенсивно, прослеживаются изменения данных показателей по слоям. Наиболее характерны эмбриоземы, где очевидны различия по глубинам.

В числе обменных катионов присутствуют Ca^{2+} и Mg^{2+} (табл. 2). Распределение алюминия внутри профиля разрезов практически повсеместно равномерное. Сумма поглощенных катионов невысока.

Показателем эффективного плодородия почвы является состав водных вытяжек, анализ которых (табл. 3) свидетельствует о невысоком содержании водорастворимых солей в техногрунтах. Несмотря на поступления извне через атмосферные осадки, они интенсивно вымываются благодаря способности к растворению. Задернованные участки с растительным покровом удерживают водорастворимые соли в верхних слоях. Из анионов доминирует HCO_3^- , а содержание Cl^- и SO_4^{2-} значительно меньше, чем в естественных почвах. Преобладающими катионами являются Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Сравнение концентраций валовых форм Mn, Co, Pb, V в изучаемых техногрунтах и эмбриоземах проводилось с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК) по установленным гигиеническим нормативам, а Cr, Ni и Cu — с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) [11, 12]. Анализ данных позволяет выявить достаточно высокие концентрации Co, а в единичном случае и Cr, что свидетельствует о значительной степени ее антропогенезации (табл. 4). Для почвенного покрова Байкальского геоэкологического региона сотрудниками Института геохимии СО РАН был установлен региональный фон для почв Прибайкальской территории, согласно которому содержание химических элементов в техногрунтах имеет единичные незначительные превышения по Sr, Ni и в одной пробе по Co [13].

Кларк некоторых химических элементов в почвах имеет высокие значения, которые являются допустимыми для почв региона. Содержание стронция, хрома, ванадия и свинца в почвогрунтах меньше кларка [14].

Для более четкого представления об изменении физико-химических свойств грунтов и о содержании тяжелых металлов был взят фон за пределами Азейского разреза [15]. Было установлено, что почвогрунты и эмбриозем имеют повышенное содержание представленных химических элементов относительно фоновых показателей по большому числу загрязнителей. Помимо данных металлов, эмбриозем накапливает кальций, марганец и стронций. Увеличение концентраций элементов произошло в результате проводимых производственных мероприятий.

Измерения температуры почвогрунтов в точках 3-4, В-1 и 4-1 на глубине 20 см с июля 2013 г. по июль 2014 г. с использованием датчиков «Термохрон» показали, что температурные кривые почвогрунтов участков имеют похожую конфигурацию (рис. 2). На указанной глубине на всех участках

Таблица 2

Содержание обменных катионов в почвах и почвогрунтах ключевых участков Азейского месторождения бурых углей

Номер точки	Глубина, см	Обменные катионы, мг-экв/100 г				
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Na^+	Сумма
3-4-13	0–10	12,0	4,0	0,001	0,18	16,18
	10–20	10,4	4,0	0,001	0,16	14,56
В-1-13	0–10	12,0	5,6	0,008	0,12	17,72
	10–20	8,8	8,0	0,030	0,14	16,97
В-4-13	0–10	14,4	4,0	0,001	0,14	18,54
	10–20	10,4	3,2	0,001	0,10	13,70
4-1-13	0–10	36,8	3,2	0,002	0,20	40,20
	10–20	34,4	4,8	0,003	0,24	39,44

Результаты анализа водной вытяжки почвогрунтов ключевых участков Азейского месторождения бурых углей

Таблица 3

Номер точки	Глубина, см	Анионы, мг-экв/100 г				Катионы, мг-экв/100 г				Сумма, мг-экв/100 г	
		HCO_3^-	NO_2^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	катионы	анионы
3-4-13	0–10	0,11	0,001	0,15	0,04	0,10	0,07	0,01	0,07	0,25	0,30
	10–20	0,11	0,001	0,20	0,06	0,12	0,08	0,01	0,07	0,28	0,37
В-1-13	0–10	0,02	0,013	0,29	2,51	2,71	1,27	0,07	0,10	4,15	2,83
	10–20	0,03	0,011	0,20	1,31	0,71	0,93	0,07	0,08	1,79	1,55
В-4-13	0–10	0,02	0,005	0,17	0,03	0,22	0,11	0,05	0,05	0,43	0,22
	10–20	0,01	0,001	0,13	0,50	0,08	0,08	0,01	0,03	0,20	0,64
4-1-13	0–10	0,18	0,063	0,18	0,50	0,83	0,24	0,04	0,06	1,17	0,92
	10–20	0,20	0,013	0,16	0,27	1,01	0,37	0,01	0,11	1,50	0,64

Таблица 4
Валовое содержание химических элементов в почвах ключевых участков Азейского месторождения бурных углей

Разрез	Глубина отбора, см	Химический элемент, мг/кг													
		Al	Ti	Fe	Mg	Ca	Mn	Ba	Sr	Cr	Cu	Ni	Co	V	Pb
3-4-13	0-10	87 550	4116	19 400	4264	2246	220	419,8	<100	57,4	19,5	25,9	11,4	45,8	<10
	10-20	65 050	4460	23 838	4614	1863	244	439,6	<100	52,8	23,9	29,1	9,5	46,7	<10
В-1-12	0-10	83 000	6979	35 697	8891	5529	556	<200	<100	72,8	28,2	53,1	13,5	50,6	<10
	10-20	94 250	8680	36 972	6927	1141	434	<200	<100	82,4	37,2	57,2	21,8	81,5	<10
В-4-12	0-10	69 150	4507	25 136	5276	7088	509	534,7	197,9	49,9	22,8	45,1	9,0	49,0	<10
	10-20	66 950	4378	22 086	6348	9282	566	689,6	178,9	48,3	17,7	32,9	9,6	45,8	<10
4-1-13	0-10	74 950	5681	32 601	8393	16 978	696	499,0	347,7	58,6	25,7	32,1	10,7	57,3	<10
	10-20	77 000	6353	32 670	8409	17 413	706	539,3	358,5	58,3	26,6	45,5	11,35	62,8	<10
ПДК		—	—	—	—	—	1500	—	—	6,0	3,0	4,0	5,0	150	32
ОДК		—	—	—	—	—	—	—	—	75	60	40	—	—	—
Кларк почвы по Виноградову		71 300	4600	38 000	6300	13700	850	500	300	200	20	40	10	100	10
	Фон для почв Иркутской области, по [13]	—	—	—	1,9-2,4*	1,8-2,4*	1200-915	—	208-277	98-95	46-42	43-44	17-18	114-113	10
Фоновые показатели		62 267	1715	12 781	15 220	15 608	602	349,9	283,4	39,9	8,5	<20	4,1	19,9	<10

Примечание. Прочерк — не установлено.

* Содержание указано в процентах.

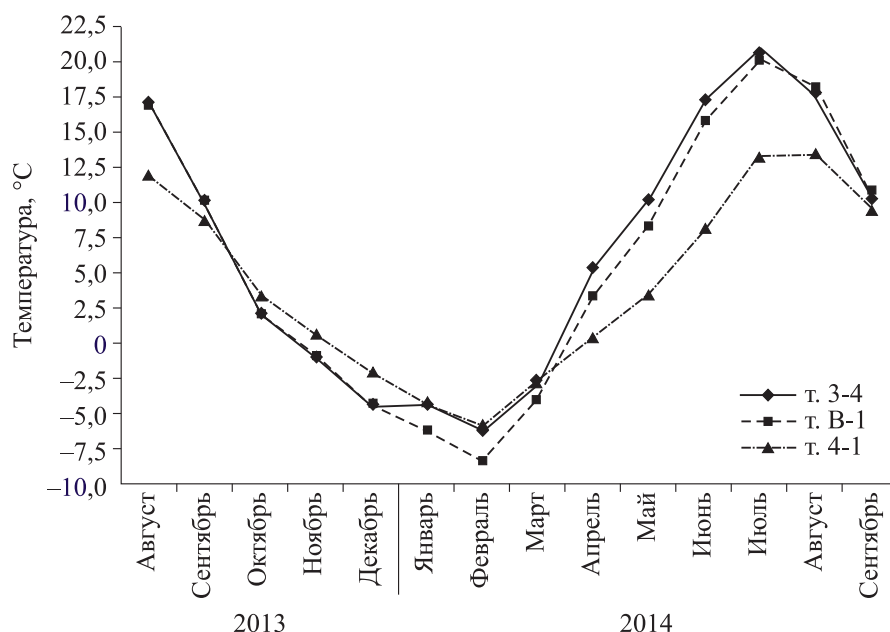


Рис. 2. Изменения температуры почвогрунтов на глубине 20 см по данным измерителя температуры «Термохрон» на участках III (т. 3-4), Восточном (т. В-1) и IV (т. 4-1).

средние месячные значения температуры с ноября по март отрицательные, а с апреля по октябрь — положительные. Переход через ноль осенью осуществляется на III участке в первой декаде ноября, на Восточном — во второй, на IV участке — в третьей. Весной переход через ноль происходит в точке 3-4 — в последней декаде марта, в точке В-1 — в первой декаде апреля и в точке 4-1 — во второй декаде апреля. Самая высокая температура фиксировалась на всех участках в июле, но значения на участке III и Восточном находились в равных диапазонах (23,9–25,16 °С), а на участке IV — 14,5–14,36 °С. Самая низкая температура почвогрунтов повсеместно зафиксирована во второй декаде февраля. Некоторое несходство в температурном режиме почвогрунтов участков можно объяснить различием в гранулометрическом составе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании физико-химических свойств и термического режима почвогрунтов отвалов с полным уничтожением напочвенного и почвенного покрова на участках горных работ Азейского бурогольного разреза отмечается развитие восстановительных стадий на почвогрунтах. Установлено, что почвогрунты имеют низкую обогатенность азотом, малые количества гумуса, валового фосфора и сумму поглощенных катионов.

В составе водной вытяжки почвогрунтов обнаружено невысокое содержание водорастворимых солей, несмотря на техногенные поступления извне (снег, дождь). Преобладающими катионами являются Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Анализ данных содержания микроэлементов в техногрунтах и эмбриоземах обнаружил достаточно высокие концентрации кобальта, а в единичных случаях и хрома, что свидетельствует о довольно высокой степени антропогенезации.

Установлено, что среднее содержание химических элементов в почвах (кларк) высокое и допустимо для почв региона. Содержание стронция, хрома, ванадия и свинца в почвогрунтах угольного разреза меньше кларка.

Выявлено, что температурные кривые почвогрунтов разных участков горных работ Азейского бурогольного разреза имеют корреляцию друг с другом, а различия в температурном режиме зависят от гранулометрического состава. Исследованные отвалы имеют одинаковый возраст.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (№ госрегистрации темы АААА–А17–117041910169–4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников Б.П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации в СССР. — Новосибирск, 1974. — С. 12–25.
2. Моторина Л.В. Проблемы рекультивации земель // Природа. — 1975. — № 4. — С. 62–70.
3. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Учебное пособие. — Смоленск: Ойкумена, 2003. — 268 с.
4. Дубынина С.С. Изменения нарушенных земель при открытой добычи угля на территории промышленного освоения Сибири // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 10. — С. 119–124.
5. Воробьева И.Б., Власова Н.В. Геохимическая оценка земель, нарушенных при открытой разработке бурого угольного разреза в условиях Восточной Сибири // Изв. Оренбург. аграрн. ун-та. — 2012. — № 6 (38). — С. 10–13.
6. Беркин Н.С., Филиппова С.А., Бояркин В.М., Наумова А.М., Руденко Г.В. Иркутская область (природные условия административных районов). — Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 1993. — 301 с.
7. ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. — М.: Госстандарт, 1983. — 6 с.
8. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. — М.: Госстандарт, 1989. — 7 с.
9. Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — 656 с.
10. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — 489 с.
11. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве. Зарегистрировано в Минюсте РФ 7 февраля 2006 г. Регистрационный № 7470 [Электронный ресурс]. — <https://fcgie.ru/> (дата обращения 01.03.2020).
12. ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) при контроле за состоянием почв. Зарегистрировано в Минюсте РФ 7 февраля 2006 г. Регистрационный № 7456 [Электронный ресурс]. — <https://fcgie.ru/> (дата обращения 01.03.2020).
13. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья. Байкальский геоэкологический полигон. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 234 с.
14. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. — М.: Астрей-2000, 1999. — 768 с.
15. Способ экологического мониторинга на законсервированных участках горных работ. Воробьева И.Б., Власова Н.В. Патент на изобретение RU 2655623 C2, 29.05.2018 [Электронный ресурс]. — https://patents.s3.yandex.net/RU2655623C2_20180529.pdf (дата обращения 01.08.2020).

Поступила в редакцию 27.09.2020

После доработки 05.10.2020

Принята к публикации 09.10.2020