

Раздел 2

ГЕОЛОГИЯ

Section 2

GEOLOGY

УДК 550.423

**ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФОН ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ НА УЧАСТКАХ ОТВАЛОВ  
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

А.Е. Богуславский<sup>1</sup>, В.А. Андроханов<sup>2</sup>, Ю.О. Колмагорова<sup>3</sup>, А.А. Ужогова<sup>3</sup>,  
И.Н. Госсен<sup>2</sup>, О.П. Саева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск,

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск,

<sup>4</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск,

E-mail: boguslav@igm.nsc.ru, androhanov@issa-siberia.ru, kolmagorovaiuo@igm.nsc.ru,

uzhogovaaa@igm.nsc.ru, gossen@issa-siberia.ru, SaevaOP@ipgg.sbras.ru

*Статья посвящена геохимической характеристике почв и растительности рекультивированных угольных отвалов трех крупных месторождений Сибири. В породах вскрыши, извлеченных на поверхность, отмечаются следовые концентрации сульфатов железа, свинца, цинка, и др., которые при попадании в зону гипергенеза начинают растворяться. Так как содержания металлов в породах вскрыши исходно невысокие, сформированный геохимический фон сопоставим с участками, не затронутыми антропогенным воздействием.*

*Ключевые слова:* рекультивация угольных отвалов, тяжелые металлы, формы нахождения, коэффициент накопления элементов в растениях

DOI: 10.24412/2410-1192-16104

Дата поступления 3.06.2021

Россия занимает 6-е место в мире по добыче угля. Минэнерго сообщило, что в январе 2018 года общая производственная мощность угольных объектов составила 453 млн тонн. Из-за добычи угля природные ландшафты на огромной территории были уничтожены или сильно изменились. На смену природным экосистемам пришли быстро растущие участки техногенных ландшафтов, начали появляться новые ландшафтные и рельефные формы, обусловленные техногенной денудацией и агградацией. Добыча угля в России ведется на 161 объекте (53 угольных шахтах и 108 наземных шахтах), большинство

из которых расположено в Сибири (Кузбасс) и соседних районах. Поэтому для этого региона особенно актуальны вопросы рекультивации открытых горных работ и добычи угля.

В настоящее время для рекультивации почв и растительного покрова на деградированных в результате производства землях используется большое количество рекультивационных технологий. Однако эффективность рекультивации зависит от климатических и природных условий и уровня использования местных экологических активов при рекультивации деградированных земель. В восьмидесятых-девяностых

годах двадцатого века широкое распространение получила технология рекультивации путем нанесения покрытия из ППС (потенциально плодородного субстрата) на выровненные поверхности угольных отходов и формирования почвоподобных и искусственных структур, позже названных техносолями [1]. В настоящее время на рекультивированных участках свойства и функции почвы медленно восстанавливаются, эти почвы отнесены к эмбриоземам. На нереккультивированных участках формируются более бедные субстраты, которые в работе обозначены как технозёмы. Целью данной работы было изучение содержания основных химических элементов, образующих геохимический фон на рекультивированных с использованием потенциально плодородного слоя участках, и сравнение с естественными фоновыми почвами.

#### *Материал и методика исследований*

Элементный состав твердых проб анализировался методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения с регистрацией на Si(Li) детекторе на станции элементного анализа ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН. Ошибка определения для отдельных элементов находится в пределах 5–15 %. Минеральный состав образцов определялся методом рентгеновской порошковой дифрактометрии на дифрактометре ДРОН-3 (излучение –  $\text{CuK}\alpha$ ). Для дифференциации мелкозернистых слоистых алюмосиликатов ряд образцов перед определением напитывался этиленгликолем.

Также образцы исследовались на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMU (TESCAN Orsay Holding), оборудованном системой микроанализа INCA Energy 450+ Xmax-80 (Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd) в аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН. Определение состава минералов и стёкол выполнялось при ускоряющем

напряжении 20 кВ, токе электронного зонда 1.5 нА, живом времени набора спектров 20 секунд. При данных условиях анализа случайная погрешность анализа составляла менее 1 отн. % при содержании петрогенных компонентов более 10 мас. %, до 10 отн. % при концентрации 1-10 мас. % и достигала 30 отн. % вблизи нижнего предела определения, который составлял 0.2–0.3 мас. % В твердых образцах анализировался валовый состав пылевой фракции. В отдельных случаях анализировались образцы пород размером более 1 см.

Для характеристики химического валового состава растений применялось термическое озоление в муфельной печи при температуре 500-600 °С.

Часть проб исследовалась методом ступенчатого выщелачивания по модифицированной методике Тесье [2]. Навеска 2,0 г помещалась в 50 мл центрифужную пробирку для экстракции. Тяжелые металлы извлекались с использованием различных агентов. Аналитическая процедура включала последовательную химическую экстракцию пятью экстрагентами, каждый из которых выщелачивает элементы, находящиеся в определенной химической форме: обменной (экстрагент – 16 мл 1 М раствора хлорида магния при pH=7 (время взаимодействия 1 час)), карбонатной (16 мл 1 М раствора ацетата натрия, доведенного до pH=5 уксусной кислотой (5 часов)), связанные с оксидами Fe-Mn (40 мл 0,04 М раствора гидрохлорида гидроксиламина 25% уксусная кислота (6 часов)), органической (16 мл 0,02 М раствора азотной кислоты (2 часа), 10 мл 30% перекиси водорода (3 часа), 10 мл 3,2 М ацетата аммония в 20%-ной азотной кислоте (30 мин)), нерастворимая. Обменная и, в меньшей мере, органическая фракции являются доступными для растительности, прочие фракции менее подвижны в сформировавшихся условиях.

В качестве объекта исследования были выбраны отвалы трех месторож-

дений: разрез «Черногорский» (Черногорское каменноугольное месторождение), разрез «Назаровский» (Назаровское месторождение бурых углей), разрез Листвянский (Бунгуро-Листвянское месторождение) (рис. 1). Все эти отвалы объединяет единый подход к рекультивации, заключающийся перекрытием отвалов 20–30 см слоем почвенного субстрата. Рекультивация была проведена 30–40 лет назад, после чего отвалы были оставлены под самозарастание без дополнительных мероприятий. *Черногорский*. В районе расположения опытных участков преобладают автоморфные почвы, представленные черноземами южными и каштановыми почвами. В основном, встречаются маломощные виды, мощность гумусового горизонта составляет 15–25 см, что является, как правило, результатом негативных эрозийных процессов. Почвообразующие породы представлены суглинисто-щелочистым элювием.

В составе растительного покрова преобладают полынь обыкновенная, мятлик степной, овсец пустынный, лапчатка длиннолистная, обильно встреча-

ются также полынь Сиверса, полынь холодная, ковыль волосатик, подмаренник настоящий, люцерна серповидная, реже полынь холодная, змеевка растопыренная, карагана, вяз, вейник наземный, лапчатка, чертополох, донник лекарственный, вьюнок.

*Назаровский*. В районе расположения опытных участков преобладают высокогумусированные маломощные сезонно-мерзлотные черноземы, мощность гумусового горизонта составляет менее 40 см, почвообразующими породами почв служат лессовидные суглинки, а также делювиально-элювиальные отложения продуктов выветривания девонских пород. В составе растительного покрова преобладает костер безостый. Обильно встречаются также коротконожка перистая, борщевик рассеченный, подмаренник настоящий, погребок большой, горошек однопарный. В понижениях рельефа встречается береза, реже ива. Почвообразующие породы представлены карбонатными лессовидными суглинками.

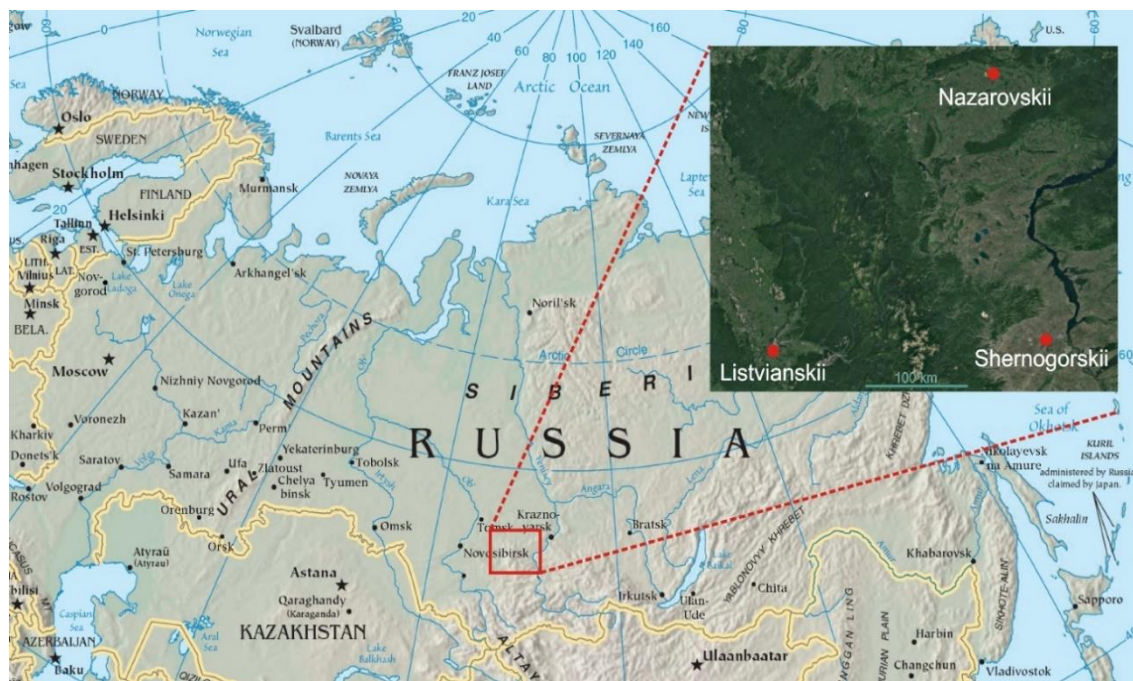


Рис. 1. Схема размещения исследуемых участков

*Листвянский.* В районе расположения опытных участков преобладают серые лесные легкоглинистые почвы, мощность гумусового горизонта составляет 40–45 см. Почвообразующие породы представлены карбонатными лессовидными суглинками.

В составе растительного покрова преобладают ежа сборная, мышинный горошек, звербой продырявленный, тимофеевка луговая, мятлик узколистный и овсяница луговая. Встречаются также кострец безостый, земляника зеленая, иван-чай узколистный, одуванчик лекарственный, пастернак лесной и погребок весенний. В понижениях рельефа встречается береза.

На всех трех участках рекультивация производилась не в полном объеме, поэтому на отвалах соседствуют участки, оставленные под самозарастание и участки, на которых была проведена рекультивация. За прошедшее после отсыпки время участки покрылись растительностью, и практически на всех разрезах сформировалась фрагментарная подстилка, представленная полуразложившимися остатками травянистой растительности серо-бурой окраски мощностью до одного сантиметра. Подстил-

ка локализована над слоем дернины, мощность которой достигает на разных участках 2–5 сантиметров.

#### *Результаты и их обсуждение*

*Минералогические преобразования.* В исходном техногенном элювии кроме первичных минералов, таких как кварц, плагиоклаз, мусковит, калиевый полевой шпат и хлорит широко распространены каолиниты и иллит-сметтиты. В образцах неизмененного элювия фиксируется большое количество карбонатов: сидерита, доломита и кальцита. Общей закономерностью для всех участков является появление в пылевой фракции рентгено-аморфной составляющей, представленной частицами угля, с ними связано изменение цвета слоя техногенного элювия. За время, прошедшее с момента извлечения этих пород, окисления на этих частицах практически не фиксируется. На фотографиях зерен углистых частиц видны четкие сколы без заметной эрозии (рис. 2).

Геохимическим следствием добавки в субстрат органики в долгосрочной перспективе может явиться формирование более восстановительных условий в почвенных разрезах.

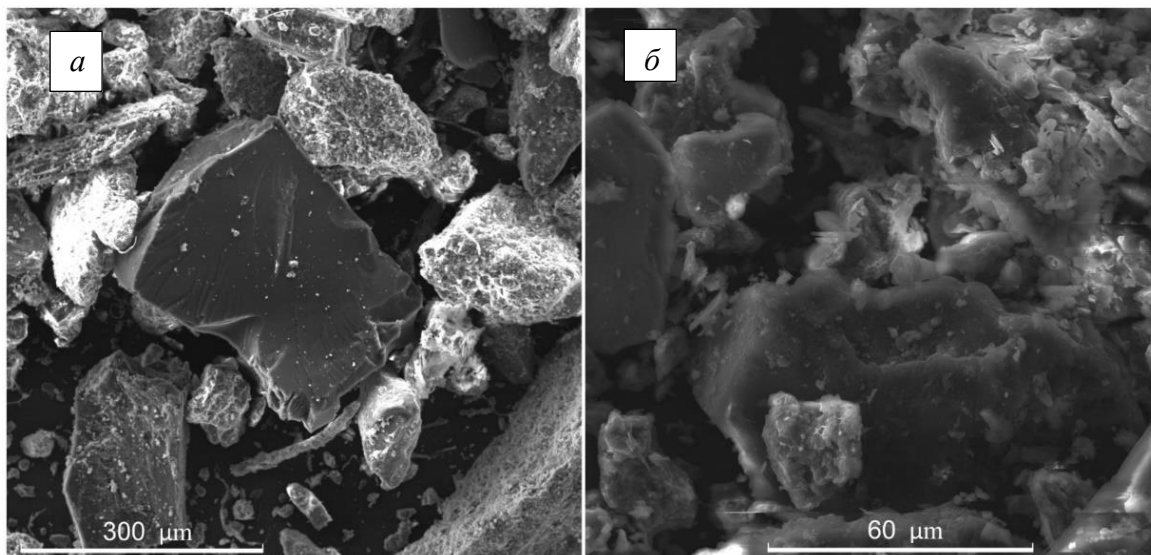


Рис. 2. Фотография углистых частиц в пылевой фракции уч. Листвянский (а) и уч. Черногорский (б)

Так же на всех участках в обломках пород фиксируются сульфиды: пирит, сфалерит, галенит, смайтит (сульфид железа и никеля  $(Fe, Ni)_{3+x}S_4$  ( $x =$  от 0 до 0.3)). На участках Черногорский и Листвянский фиксируется растворение сидерита при разрушении каменного материала.

На рисунке 3 показано выделение кристаллов гидроксидов железа. Точное соотношение между железом, кислородом и водородом установить не удалось, в связи с размером кристаллов. По опубликованным данным в почвах наиболее распространены гематит, магнетит, гетит, ферроксигит и ферригидрит, причем ферроксигит и ферригидрит могут образовываться в верхней части почвенного профиля. Выпадение в виде пластинчатых гексагональных кристаллов говорит о хемогенном генезисе данных выделений. Выделения биогенного генезиса имеют спутанно-волокнутое строение, агрегаты неправильной формы [3]. В соответствии с классификацией биохимика А. Ленинджера выделяют биогенные и абиогенные элементы. В свою очередь биогенные элементы делятся на макроэлементы (К, Са), эссенциальные микроэле-

менты (Fe, Cu, Zn, Mo), условно эссенциальные микроэлементы (As, Ni, V, Pb). Абиогенные элементы делятся на нейтральные (Al, Ti, Rb), конкурентные (Ba, Sr, Cs), агрессивные (Hg, Be, Bi) [4]. В таблицах 1 и 2 приведены валовые концентрации элементов в почвах и в растениях, произрастающих на этих участках, ниже дана характеристика распределений отдельных элементов.

Содержания калия в почве на участках Листвянский и Черногорский  $\sim 1,1$  раз выше, чем на участке Назаровский. Коэффициент накопления калия в растениях изменяется от 0,257 (злаки фонового участка Черногорский) до 4,509 (разнотравье, технозём участка Листвянский).

Содержания кальция в почве на участках Листвянский и Назаровский  $\sim 1,5$  раза выше, чем на участке Черногорский. Ступенчатое выщелачивание показало, что это снижение в основном проявляется в обменной форме ( $\sim 2$  раза). Коэффициент накопления кальция в растениях изменяется от 0,09 (злаки фонового участка Назаровский) до 1,622 (разнотравье и эмбриоземы участка Черногорский).

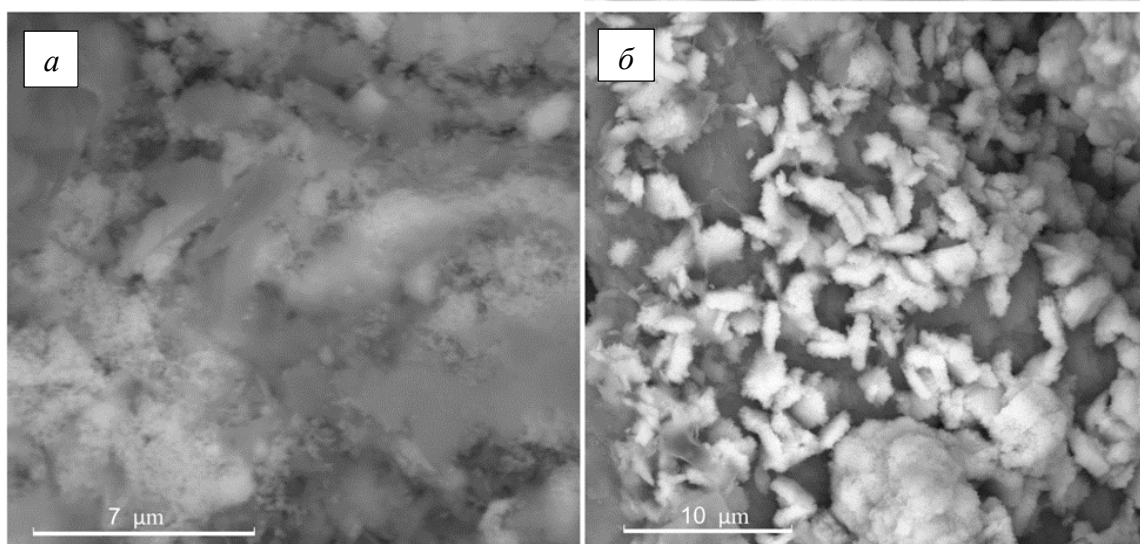


Рис. 3. Выделение гидроксидов железа на кварцевых зернах пылевой фракции: аморфные агрегаты уч. Листвянский (а); пластинчатые кристаллы уч. Назаровский (б)

Таблица 1

## Валовые концентрации элементов в почвах

Типы почв	Биогенные элементы														Условно эссенциальные элементы				Абиогенные элементы			
	Макроэлементы				Эссенциальные микроэлементы						Условно эссенциальные элементы						Абиогенные элементы					
	К, %	Ca, %	Mn, %	Fe, %	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Cr, мг/кг	Mo, мг/кг	Pb, мг/кг	Ni, мг/кг	V, мг/кг	As, мг/кг	Ti, мг/кг	Rb, мг/кг	St, мг/кг							
Листвянский																						
Фон (чернозём)	1,70	1,86	0,031	3,19	33	95	56	1,55	13	37	95	9	0,52	100	130							
Эмбриозем	1,80	1,97	0,087	2,49	30	111	51	2,21	29	39	87	10	0,41	83	142							
Технозём	1,23	1,73	0,066	2,86	24	92	43	1,74	18	39	76	4	0,36	76	123							
Назаровский																						
Фон (чернозём)	1,30	2,14	0,072	3,19	36	91	54	1,48	19	51	85	10	0,38	91	124							
Эмбриозем	1,39	1,84	0,054	2,20	29	69	26	2,20	14	20	64	6	0,24	65	165							
Технозём	1,34	2,15	0,064	3,19	31	88	56	1,50	25	48	85	10	0,38	82	139							
Черногорский																						
Фон (чернозём)	1,24	1,24	0,181	6,62	51	106	111	2,31	20	78	180	9,6	0,54	65	207							
Эмбриозем	1,66	1,31	0,059	3,40	61	127	90	1,13	19	98	122	5,3	0,62	76	204							
Технозём	1,73	1,43	0,092	4,32	58	121	89	1,97	19	101	151	11,3	0,67	71	215							

Таблица 2

## Валовые концентрации элементов в растениях

Типы почв	Биогенные элементы													Абиогенные элементы				
	Макроэлементы				Эссенциальные микроэлементы					Условно эссенциальные элементы								
	К, %	Ca, %	Mn, %	Fe, %	Cu, мг/кг	Cr, мг/кг	Zn, мг/кг	Mo, мг/кг	Pb, мг/кг	Ni, мг/кг	V, мг/кг	As, мг/кг	Ti, мг/кг	Rb, мг/кг	Sr, мг/кг			
Листвянский																		
Фон (чернозём)	1,581	0,460	0,242	0,005	0,166	0,021	0,236	0,059	0,072	0,087	0,033	0,009	0,007	0,152	0,270			
Эмбриозем	1,846	0,302	0,029	0,004	0,152	0,013	0,196	0,853	0,015	0,072	0,020	0,043	0,006	0,036	0,246			
Технозем	2,339	0,545	0,040	0,004	0,240	0,021	0,241	1,602	0,047	0,115	0,037	0,085	0,009	0,034	0,267			
Среднее по участку	1,922	0,436	0,104	0,005	0,186	0,018	0,224	0,838	0,045	0,091	0,030	0,045	0,008	0,074	0,261			
Назаровский																		
Фон(чернозём)	1,310	0,573	0,036	0,004	0,123	0,014	0,159	н.о.	0,038	0,037	0,023	н.о.	0,006	0,122	0,316			
Эмбриозём	1,324	0,528	0,027	0,009	0,128	0,021	0,192	1,084	0,059	0,090	0,026	н.о.	0,007	0,078	0,368			
Технозём	1,519	0,483	0,032	0,006	0,155	0,035	0,211	1,481	0,023	0,039	0,021	0,025	0,009	0,061	0,506			
Среднее по участку	1,384	0,528	0,032	0,006	0,135	0,023	0,187	1,282	0,040	0,055	0,023		0,007	0,087	0,397			
Черногорский																		
Фон(чернозем)	1,224	0,641	0,016	0,004	0,061	0,004	0,113	0,390	0,030	0,016	0,011	0,005	0,007	0,050	0,272			
Эмбриозём	0,779	0,616	0,051	0,018	0,098	0,012	0,200	1,450	0,038	0,026	0,015	0,022	0,016	0,061	0,372			
Технозём	1,701	0,296	0,038	0,008	0,139	0,010	0,411	0,712	0,033	0,032	0,013	0,010	0,009	0,161	0,426			
Среднее по участку	1,234	0,518	0,035	0,010	0,099	0,009	0,241	0,851	0,034	0,025	0,013	0,013	0,011	0,091	0,357			

Примечание: н.о. – не обнаружено

Коэффициент концентрирования для технозёма участка Листвянский повышен для таких элементов как К, Са, Мп, Fe, Cu, Zn, Mo, Ni, As, для Назаровского участка Ст, Mo, As, для Черногорского участка Cu, Zn, Ni, что может говорить о более высокой подвижности в технозёмах



Содержание хрома в почве на участках Листвянский и Черногорский ~ 1,5 раза выше, чем на участке Назаровский. Ступенчатое выщелачивание показало, что в нерастворимой фракции содержание хрома значительно выше на Черногорском участке, а на Назаровском и Листвянском существенно ниже. Коэффициент накопления хрома в растениях изменяется от 0,002 (бобовые, фон участка Черногорский) до 0,053 (бобовые, технозём участка Назаровский).

Содержание марганца в почве на участках Назаровский и Черногорский ~ 1,3 раза выше, чем на участке Листвянский. Ступенчатое выщелачивание показало, что марганец присутствует в трёх фракциях: оксиды Fe-Mn, органическая, нерастворимая. В фоновых почвах на всех трёх участках наблюдается увеличение концентрации марганца во фракции Fe-Mn, по сравнению с другими фракциями. В нерастворимой фракции на Назаровском участке в эмбриоземе марганца существенно выше, чем на других участках. Коэффициент накопления марганца в растениях изменяется от 0,011 (разнотравье фон участка Черногорский) до 0,410 (злаки фон участка Листвянский). Наибольшая концентрация Mn наблюдается на участке Черногорский в злаках. На участке Назаровский Mn накапливается только в разнотравье. На участке Листвянский накопление наблюдается в злаках и разнотравье.

Содержание железа в почве на участке Черногорский в ~ 1,6 раз выше, чем на участке Назаровский и Листвянский. Ступенчатое выщелачивание показало, что железо в нерастворимой фракции имеет большое превышение в эмбриоземе на Назаровском участке, а на Черногорском и Листвянском участках сильного превышения не наблюдается. Коэффициент накопления железа в растениях изменяется от 0,001 (бобовые фоновые

участка Черногорский) до 0,044 (злаки, эмбриозем участка Черногорский). Наибольшая концентрация Fe наблюдается в эмбриоземе и злаках для Назаровского и Черногорского участка.

Содержание никеля в почве на участке Черногорский в ~ 2,3 раза выше, чем на участке Назаровский и Листвянский. Ступенчатое выщелачивание показало, что никель представлен в трёх фракциях: оксиды Fe-Mn, органическая, нерастворимая. На участке Черногорский наблюдается увеличение содержания никеля в обменной фракции и фракции оксиды Fe-Mn, по сравнению с другими участками. В нерастворимой фракции никеля значительно больше в техноземе на Назаровском участке, чем на других участках. Коэффициент накопления никеля в растениях изменяется от 0,233 (разнотравье, технозём участка Листвянский) до 0,006 (бобовые, фон участка Черногорский).

Содержание меди в почве на участке Черногорский в ~ 1,8 раз выше, чем на участке Назаровский и Листвянский. Медь представлена в двух фракциях: органическая и нерастворимая (рис. 4), что соответствует имеющимся литературным данным [5]. В органической фракции медь наблюдается в большем количестве в Черногорском участке. Коэффициент накопления меди в растениях изменяется от 0,053 (злаки фон участка Черногорский) до 0,354 (разнотравье, технозём участка Листвянский). Содержание цинка в почве на участке Черногорский в ~ 1,3 раза выше, чем на участке Назаровский и Листвянский. Цинк представлен в трёх фракциях: оксиды Fe-Mn, органическая, нерастворимая. Коэффициент накопления цинка в растениях изменяется от 0,096 (злаки, фон участка Назаровский) до 0,556 (разнотравье, технозём участка Черногорский).



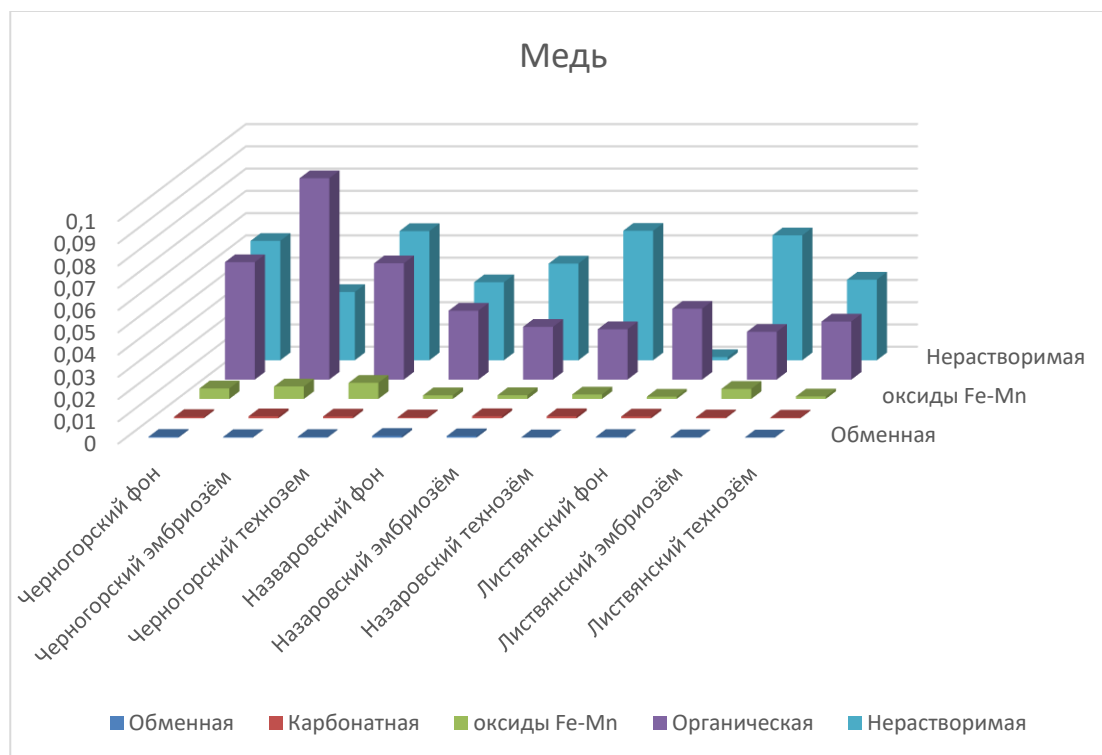


Рис. 4. Распределение меди по формам нахождения

Содержание галлия в почве на участке Черногорский в ~ 1,2 раза выше, чем на участке Назаровский и Листвянский. Коэффициент накопления галлия в растениях изменяется от 0,012 (злаки, эмбриозём участка Назаровский) до 0,109 (разнотравье, технозём участка Листвянский).

Содержание мышьяка в почве на участке Черногорский в ~ 1,1 раз выше, чем на участке Назаровский и Листвянский. Коэффициент накопления мышьяка в растениях изменяется от 0,066 (злаки, эмбриозём участка Черногорский) до 0,170 (разнотравье, технозём участка Листвянский). Наибольшие концентрации As обнаружены на участке Листвянский в разнотравье и на участке Черногорский в бобовых.

#### Выводы

В результате работы были определены средние концентрации химических элементов в почвах и раститель-

ности для рекультивированных и нереккультивированных отвалов, сформированных при добыче угля. Для большинства элементов концентрации в техногенных отложениях попадают в диапазон значений, фиксируемых в незатронутых техногенными преобразованиями почвенных разрезах. В некоторых случаях техногенные отложения увеличивали значения местного фона для отдельных элементов, но эти превышения не выходили за границы регионального фона [6–7]. Исследование показало, что формирование отвалов вскрышных пород при разработке угольных месторождений не приводит к образованию крупных геохимических аномалий на поверхности. Извлеченная порода содержит небольшое количество углеродистых частиц со времени извлечения этих пород, и окисление на этих частицах практически не фиксировалось, что говорит об устойчивости углистых частиц в усло-

виях зоны гипергенеза. В пределах отдельных участков, для исследованных элементов достоверных различий в растительности между естественными и техногенно преобразованными участками не выявлено. Для ряда элементов (K, Mn, Cu, Ni, V, As) наиболее высокие значения отмечены для участка Листвянский.

*Работа при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-05086.*

#### *Список литературы*

1. Андроханов В.А., Овсянникова С.В., Курачев В.М. Технозёмы: свойства, режимы, функционирование. – Новосибирск: Наука, 2000. – 200 с.
2. Dang Z., Liu C., Haigh M.J. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils // *Environmental Pollution*. – 2002. – Vol.118. – P. 419–426. DOI:10.1016/S0269-7491(01)00285-8
3. Водяницкий Ю.Н., Сивцов А.В. Образование ферригидрита, фероксигита и вернадита в почвах // *Почвоведение*. – 2004.–№ 8. – С. 986–999.
4. Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: курс лекций. – Минск: БГУ, 2011. – 300 с.
5. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. – СПб.: Наука, 2005. – 339 с.
6. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды. – Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. – 248 с.
7. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: СО РАН, 2001. – 229 с.

#### *Referencens*

1. Androhanov V.A., Ovsyannikova S.V., Kurachev V.M. Tekhnozyomy: svojstva, rezhimy, funkcionirovanie. – Novosibirsk: Nauka, 2000. – 200 s.
2. Dang Z., Liu C., Haigh M.J. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils // *Environmental Pollution*. – 2002. – Vol.118. – P. 419–426. DOI:10.1016/S0269-7491(01)00285-8
3. Vodyanickij Yu.N., Sivcov A.V. Obrazovanie ferrigidrita, feroksigita i vernadita v pochvah // *Pochvovedenie*. – 2004.–№ 8. – С. 986–999.
4. Loginova E.V., Lopuh P.S. Hidroekologiya: kurs lekcij. – Minsk: BGU, 2011. – 300 s.
5. Ufimceva M.D., Terekhina N.V. Fitoindikaciya ekologicheskogo sostoyaniya urbogeosistem Sankt-Peterburga. – SPb.: Nauka, 2005. – 339 s.
6. Ekogeohimiya Zapadnoj Sibiri. Tyazhelye metally i radionuklidy. – Novosibirsk: SO RAN, NIC OIGGM, 1996. – 248 s.
7. Il'in V.B., Syso A.I. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah Novosibirskoj oblasti. – Novosibirsk: SO RAN, 2001. – 229 s.

## GEOCHEMICAL BACKGROUND OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS ON THE COAL MINE SPOIL SITES

A. Boguslavsky<sup>1</sup>; V. Androhanov<sup>2</sup>, Ju. Kolmagorova<sup>3</sup>, A. Uzhogova<sup>3</sup>, I. Gossen<sup>2</sup>, O. Saeva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Sobolev Institute of geology and mineralogy SB RAS, Novosibirsk*

<sup>2</sup>*Institute of soil science and agrochemistry SB RAS, Novosibirsk*

<sup>3</sup>*Novosibirsk State technical university, Novosibirsk*

<sup>4</sup>*Trofimuk Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, Novosibirsk*

*E-mail: boguslav@igm.nsc.ru, androhanov@issa-siberia.ru, kolmagorovaiuo@igm.nsc.ru,*

*uzhogovaaa@igm.nsc.ru, gossen@issa-siberia.ru, SaevaOP@ipgg.sbras.ru*

*The article reports the geochemical characterization of soils and vegetation of recultivated coal mine spoils of three large deposits of Siberia. In the overburden rocks extracted to the surface, trace concentrations of iron, lead, zinc, etc. sulfates are noted, which, when they enter the supergene zone, begin to dissolve. Since the metal contents in the overburden rocks were initially low, the formed geochemical background is comparable to the areas not affected by technogenic impact.*

**Keywords:** coal mine spoil recultivation, heavy metals, speciation, accumulation ratio of elements in plants.

*Received June 3, 2021*