
ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.411.6(571.63)

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО И КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА ПОРОДАХ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ

© 2014 г. Е. А. Жарикова, Н. М. Костенков

Биологический почвенный институт Дальневосточного отделения РАН,
690022, Владивосток, пр. 100 лет Владивостока, 159

e-mail: jarikova@ibss.dvo.ru

Поступила в редакцию 08.04.2013 г.

Представлены основные физико-химические параметры почв, формирующихся на отвалах вскрышных пород угольного месторождения, по сравнению с зональными почвами. Впервые проведен анализ калийного состояния эмбриоземов разных стадий развития, установлено содержание и профильное распределение различных форм калия и потенциальной буферной способности почв в отношении калия. Показано, что увеличение содержания доступных форм калия в верхних горизонтах эмбриоземов обусловлено усилением интенсивности биологических процессов и активным выветриванием вынесенных на поверхность пород. Интенсивность биологического накопления калия под травянистыми ценозами больше, чем под древесно-кустарниковыми.

Ключевые слова: эмбриоземы, гранулометрический состав, доступные формы калия, потенциальная буферная способность почв в отношении калия (ПБС^к).

DOI: 10.7868/S0032180X14010146

ВВЕДЕНИЕ

Восстановление почв является одним из важнейших процессов воспроизводства компонентов экосистем техногенных ландшафтов. На вынесенных на поверхность отвалах вскрышных пород угольных месторождений под влиянием природных факторов начинается процесс первичного почвообразования, формируются молодые почвы, которые заметно отличаются по свойствам от зональных почв сопредельных территорий. Постепенно активное выветривание, накопление органического вещества и биогенных элементов в процессе самозарастания способствует эволюции почвоподобных образований по схеме: эмбриозем инициальный—эмбриозем органо-аккумулятивный—эмбриозем дерновый—эмбриозем гумусово-аккумулятивный [18].

Большинство исследователей закономерностей формирования почв в условиях техногенных ландшафтов южной части Дальневосточного региона изучают вопросы преобразования органического вещества и кислотно-основных свойств почв, загрязнения их тяжелыми металлами, практически не рассматривая их химические и агрохимические характеристики, в частности, калийное состояние [12, 14–16, 20]. Хотя при технико-экономическом обосновании проведения рекульти-

вационных работ необходимо учитывать эти показатели, как и данные о содержании и распределении в отвальных породах основных элементов питания.

Целью работы является определение физико-химических параметров почв, формирующихся на породах угольных отвалов и их калийного состояния в сравнении с зональными почвами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Бикинское месторождение бурых углей расположено на северо-западе Приморского края. В орографическом отношении район представляет собой слабовсхолмленную равнину, частично заболоченную, которая с запада, северо-запада и севера окаймлена невысокими сопками. Абсолютные отметки рельефа колеблются в пределах от 60 до 130 м. Климатические условия в районе исследования в целом находятся в пределах общих закономерностей климата Приморья. При муссонном характере осадков и режима увлажнения проявляются определенные черты континентальности. Среднемесячная температура воздуха января и июля составляет $-20\ldots-24^{\circ}\text{C}$ и $+14\ldots+16^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков находится в пределах 850–900 мм. Вскрышные

породы представлены преимущественно некарбонатными алевролитами и аргиллитами.

В качестве объектов исследования выбраны эмбриоземы разных стадий развития, формирующиеся на угольных отвалах разреза “Лучегорский”. Для сравнения в качестве эталонных зональных почв использованы буровозмы оподзоленные на элюво-делювии плотных пород и дерново-буро-подзолистые почвы на глинистых отложениях, наиболее широко представленные на данной территории.

Химико-аналитические исследования проведены общепринятыми методами: содержание углерода – по Тюрину, pH водный – потенциометрически, содержание подвижного фосфора – по Кирсанову, поглощенные основания – трилонометрически, гидролитическая кислотность – по Каппену, гранулометрический состав – по Качинскому, обменный калий – по Масловой, необменный калий – по методике Почвенного института им. В.В. Докучаева. Количество необменно-го калия считали низким при его содержании 8–20 мг/100 г почвы, пониженным при 20–40 мг, средним при 40–60 мг, повышенным при 60–90 мг, высоким при 90–140 мг и очень высоким при содержании, превышающим 140 мг на 100 г почвы.

Потенциальную буферную способность почв в отношении калия (ПБС^к) определяли по Беккету [2]. Для этого в равновесных растворах, полученных после взаимодействия почвы с серией из шести растворов хлористого кальция одинаковой концентрации, но содержащих разное количество калия (от 0 до 1.0 мг-экв/л) при соотношении почва : раствор 1 : 10 определяли величины $\pm\Delta K$ и AR . $\pm\Delta K$ представляет собой количество подвижного калия, которое почва отдает ($-\Delta K$) или поглощает ($+\Delta K$) к моменту установления равновесия между калием почвы и калием раствора, AR равна отношению активностей ионов калия и кальция. Концентрацию калия определяли пламеннофотометрическим, а сумму кальция и магния – комплексонометрическим методами. Изотерму сорбции, представляющую собой характеристическую линию, прямую в верхней части и изогнутую в нижней, строили в координатах ΔK и AR_0 . Пересечение ее с осью абсцисс дает величину AR_0 , соответствующую отношению активностей $aK^+/\sqrt{aCa^{2+}}$ в растворе $CaCl_2 - KCl$, при котором почва не поглощает и не отдает калий, то есть отношению активностей, свойственному самой почве, это одна из важнейших химических характеристик почвы (калийный потенциал).

На основе сорбционной кривой рассчитывали непосредственно доступный (легкообменный) калий $-\Delta K_0$ и общие запасы подвижного (лабильного) калия $-K_L$. Отношение $-\Delta K_0/AR_0$ выражает потенциальную буферную способность почв в отношении калия, которая считается очень низкой

при величине <20, низкой от 20 до 50, средней при величине от 50 до 100, повышенной – от 100 до 200 и высокой – >200. Для всех исследованных образцов почв изотермы сорбции имели традиционную форму: это пологая прямая адсорбционная линия в верхней части и изогнутая десорбционная в нижней.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности морфологического строения и гранулометрического состава. Изучались представители четырех типов эмбриоземов автоморфного направления почвообразования: инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные, отражающие наиболее важные этапы в само-восстановлении почвенного покрова техногенных ландшафтов. Эмбриоземы инициальные тяготеют преимущественно к крутым склонам, остальные – к горизонтальным или слабонаклонным поверхностям (табл. 1).

Почвы, формирующиеся на отвалах вскрышных пород, имеют схожий морфологический облик профиля и характеризуются малой мощностью гумусовых горизонтов, слабой степенью дифференциации минеральной части почвенного профиля на генетические горизонты, характерным серым цветом и непрочной комковатой структурой верхних горизонтов, обусловленным накоплением органического вещества. В поверхностных слоях дерновых и гумусово-аккумулятивных эмбриоземов наблюдается непрочная комковато-ореховатая структура. Различными являются степень выраженности гумусовых и органогенных горизонтов, что отражает ведущую роль биотических процессов в формировании профиля.

Биологические процессы в эмбриоземах по сравнению фоновыми почвами весьма специфичны, в них процессы синтеза и аккумуляции органического вещества явно преобладают над его минерализацией и гумификацией [3, 4, 13], поэтому в поверхностных слоях мелкозем слабо прокрашен гумусом. В зональных почвах процессы синтеза, аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества сбалансированы.

Гранулометрический состав мелкозема почв отвалов варьирует от среднесуглинистого до легкоглинистого при наличии незначительного количества крупнозема в глубоких слоях (2–4.5%). Процессы выветривания рыхлого материала на поверхности почвы при относительно коротком периоде их протекания, приводят к накоплению в профиле крупнопылеватой и песчаной фракций (табл. 2). Наибольшее количество песчаных фракций характерно для инициальных эмбриозе-

Таблица 1. Месторасположение и растительный покров типичных эмбриоземов и зональных почв

Номер разреза	Возраст отвала	Местоположение по элементам рельефа и микрорельеф	Растительность
Эмбриозем инициальный			
81	до 3-х лет	Средняя часть склона отвала уклон 30°–35°, бугорки, западинки	Редкая несомкнутая сорная растительность
Эмбриозем органо-аккумулятивный			
2	до 10 лет	Склон ≈1°–2°, мелкие воронки, ямы, продольные понижения	Разнотравно-хвощевая
76	5–10 лет	Вершина отвала, слегка бугристая поверхность	Разнотравно-хвощевая
Эмбриозем дерновый			
87	более 10 лет	Слегка бугристая верхняя часть отвала, склон ≈2°–3°	Дубово-бересово-осиновый молодой лес, в напочвенном покрове разнотравье и злаки
89	12–14 лет	Верхняя часть отвала, склон ≈1°–2°, бугорки, западинки	Разнотравно-злаковая
Эмбриозем гумусово-аккумулятивный			
74	15–25 лет	Техногенно-выровненный склон ≈2°–3° Дерново-буро-подзолистая глееватая почва	Осоково-вейниковая
194		Межложбинные водораздельные территории	Дубняки с березой и осиной кустарничковые разнотравные
Дерново-буро-подзолистая типичная			
176		Крутые части склонов балок	Дубняки с лещиной и леспедецией осоково-разнотравные, их редколесья
Бурозем оподзоленный			
106, 144		Пологие вершины	Дубняки с липой и лещиной разнотравные

мов. В фоновых буроземах оподзоленных и дерново-буро-подзолистых почвах по всему профилю преобладающими являются пылеватая и илистая фракции, что свидетельствует об активном внутрипочвенном выветривании в течение длительного периода их формирования.

Анализ физико-химических свойств почв на отвалах. Если равномерное распределение органического углерода в инициальных эмбриоземах одновременно с повышенным его содержанием в нижних горизонтах (по сравнению с фоновыми почвами) обусловлено наличием тонкодисперсного бурого угля в отвальных породах, то в сопряженном ряду эмбриоземов: органо-аккумулятивные – дерновые гумусово-аккумулятивные в поверхностных горизонтах отчетливо прослеживается накопление органического вещества. При этом в дерновых и гумусово-аккумулятивных эмбриоземах содержание органического углерода в верхнем слое сравнимо с его содержанием в зональных почвах (табл. 3).

Судя по значениям pH водной вытяжки в инициальных и органо-аккумулятивных эмбриоземах преобладает нейтральная реакция среды.

Корневые выделения более богатой растительности и кислые продукты разложения опада способствовали увеличению кислотности в дерновых и гумусово-аккумулятивных эмбриоземах до слабокислой, которая присуща и фоновым почвам. Такие же значения pH в поверхностных слоях почв отвалов под хорошо выраженным растительным покровом были отмечены и ранее [21]. В большинстве разрезов величины pH по профилю однообразно выровнены. Гидролитическая кислотность в эмбриоземах варьирует от низкой до повышенной, в буроземах оподзоленных и дерново-буро-подзолистых почвах она значительно больше и колеблется от 4.8 до 19.8 смоль(экв)/кг почвы.

Содержание поглощенных оснований и степень насыщенности поглощающего комплекса очень высоки по всему профилю почв на породах угольных отвалов, что свидетельствует о слабой степени выщелоченности, хотя в эволюционном ряду от инициальных к гумусово-аккумулятивным эмбриоземам отмечается постепенное снижение значений данных параметров. В зональных почвах величина этих показателей меньше (степень насыщенности варьирует от очень низкой до средней).

Таблица 2. Гранулометрический состав типичных эмбриоземов и зональных почв, %

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Размер фракций, мм						
			1.0–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01
Эмбриозем инициальный									
81	I	0–4	16	22	26	6	18	12	36
	II	4–18	17	15	25	10	14	19	43
	III	18–53	14	29	19	5	8	25	38
	IV	53–90	30	9	20	6	6	29	41
Эмбриозем органо-аккумулятивный									
2	W	0–3	18	10	30	9	14	19	42
	I	3–20	11	16	24	14	19	16	49
	II	20–55	14	16	19	11	27	13	51
	III	50–80	12	19	29	5	21	14	40
	IV g	80–120	22	10	21	17	18	12	47
76	W	0–4	13	8	27	12	19	21	52
	AB	4–10	6	14	31	10	19	20	49
	I	10–27	5	16	25	17	9	28	54
	II	27–65	6	16	22	12	17	27	56
	III	65–110	7	15	24	3	30	21	54
Эмбриозем дерновый									
87	AYao	0–8	14	10	18	15	15	28	58
	AB	8–17	17	11	18	8	20	26	54
	I	25–35	11	5	29	10	17	28	55
	II	50–60	12	6	23	16	22	21	59
	III	100–110	18	15	20	14	7	26	47
89	AYao	0–9	13	12	26	16	8	25	49
	AB	9–19	15	10	27	11	9	28	48
	I	25–35	15	5	35	12	6	27	45
	II	50–60	16	14	29	9	8	24	41
	III g	110–120	14	14	20	12	24	16	52
Эмбриозем гумусово-аккумулятивный									
74	AY	0–10	23	6	36	8	11	16	35
	AB	10–20	23	10	33	12	10	12	34
	I g	25–35	21	11	26	19	7	16	42
	II g	50–60	12	16	37	8	13	14	35
	III g	90–100	25	10	18	7	21	19	47
Дерново-буро-подзолистая глееватая почва									
194	AY	0–9	16	1	27	28	4	24	56
	EL	20–30	11	2	46	13	5	23	41
	BEL	35–44	5	5	22	8	15	45	68
	BT1	50–60	2	3	23	18	3	51	72
	BT2	80–90	3	2	25	4	9	57	70
	BCg	110–120	3	12	26	1	19	39	59
Дерново-буро-подзолистая типичная почва									
76	AY	0–7	12	15	33	7	13	20	40
	EL	10–20	14	1	31	24	15	15	54
	BEL	30–40	2	0	29	22	25	22	69
	BT2	60–70	1	1	16	20	10	52	82
Буровым оподзоленный									
106	AY	0–13	12	5	25	20	9	29	58
	AYe	15–25	10	11	32	9	16	22	47
	BM1	40–50	7	10	29	19	16	19	54
	BM2	60–70	6	4	46	8	10	26	44
144	AY	0–9	28	6	33	10	21	10	41
	AYe	15–25	18	5	26	7	23	21	51
	BM	45–55	5	15	36	13	7	24	44

Таблица 3. Физико-химические и агрохимические свойства почв

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	С, %	рН водной вытяжки	ГК	Поглощенные основания		V _H , %	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы
						Ca ²⁺	Mg ²⁺		
						смолы(экв)/кг почвы			
81	I	0–4	2.3	6.3	6.2	21.9	17.7	87	7.5
		4–18	2.5	6.2	5.6	21.4	16.6	87	8.0
		18–53	2.3	6.3	5.0	23.0	14.5	88	7.0
		53–90	3.1	5.7	8.7	21.6	10.8	79	7.2
Эмбриозем инициальный									
2	W	0–3	3.1	6.7	3.7	30.2	14.8	92	5.9
		3–20	1.9	5.8	7.2	19.6	14.3	82	2.5
		20–55	0.9	5.5	5.4	21.2	14.8	87	3.5
		50–80	2.3	6.3	4.9	25.7	14.5	89	4.1
		80–120	3.2	6.2	5.6	27.0	15.4	88	5.0
76	IV g	0–4	2.4	6.6	4.5	22.5	20.3	90	10.9
		4–10	1.5	6.0	6.0	21.4	13.9	85	6.3
		10–27	1.6	6.1	6.6	18.5	14.2	83	4.8
		27–65	3.1	6.2	7.2	21.8	10.9	82	6.1
		65–110	2.1	6.4	4.5	20.7	17.4	89	5.4
Эмбриозем органо-аккумулятивный									
87	AYao	0–8	2.3	6.4	4.9	19.1	5.9	84	9.0
		8–17	1.5	5.4	7.7	13.1	5.5	71	2.7
		17–45	1.8	5.3	7.1	15.0	5.6	74	1.5
		45–90	0.7	5.3	7.1	16.7	6.9	77	1.8
		90–130	2.1	5.4	7.6	13.6	7.6	74	3.0
89	AYao	0–10	3.4	5.2	7.0	19.3	8.6	80	5.7
		10–21	3.4	5.2	8.0	17.1	5.1	74	4.8
		21–52	3.5	4.7	7.1	21.4	6.9	80	4.3
		52–85	3.2	4.0	5.3	13.6	9.3	81	5.5
		85–120	3.7	4.2	3.4	13.4	5.0	84	4.1
Эмбриозем дерновый									
74	AY	0–10	4.7	6.0	9.5	24.6	9.6	78	3.3
		10–20	1.6	5.4	6.0	6.2	2.1	58	2.4
		20–40	1.8	5.6	7.3	8.4	4.2	63	2.6
		40–70	0.8	5.6	4.2	17.0	4.2	83	1.4
		70–110	0.8	5.7	13.3	26.8	9.6	73	2.6
Эмбриозем гумусово-аккумулятивный									
194	AY	0–9	3.7	6.0	8.2	16.1	6.5	73	2.2
		20–30	0.5	6.0	4.6	8.8	5.2	75	0.2
		35–44	0.4	5.8	8.8	15.3	9.8	74	0.1
		50–60	0.5	5.8	4.8	17.1	10.5	85	0.1
		80–90	0.3	5.7	8.5	20.0	11.1	79	0.1
		110–120	0.3	5.4	6.0	18.7	12.7	84	0.1
Дерново-буро-подзолистая глееватая почва									
76	AY	0–7	5.6	5.5	16.1	11.5	3.8	49	2.5
		10–20	0.7	5.8	7.7	4.7	2.1	47	0.1
		30–40	0.5	5.7	11.6	5.8	3.7	45	0.1
		60–70	0.5	5.8	15.4	9.7	5.4	50	0.2
Дерново-буро-подзолистая типичная почва									
106	AY	0–13	3.3	5.3	11.0	12.6	4.2	60	9.2
		15–25	0.5	5.1	7.9	5.2	4.1	54	0.2
		40–50	0.4	5.3	8.4	4.2	2.6	44	0.1
		60–70	0.3	4.9	17.4	4.8	4.8	36	0.0
		9–15	6.7	5.2	19.8	18.2	6.1	55	1.4
144	AYe	15–25	1.4	5.3	8.6	7.3	3.6	56	0.4
		45–55	0.9	5.8	11.1	10.2	7.5	61	0.3

Примечание. ГК – гидролитическая кислотность, V_H – степень насыщенности основаниями.

Содержание обменного фосфора в инициальных эмбриоземах характеризуется как повышенное по всему профилю. По мере застания отвала прослеживается некоторое уменьшение его содержания в гумусовых горизонтах. Зональные почвы подвижными формами фосфора обеднены (0.1–2.5 мг/100 г).

Оценка калийного состояния почв по содержанию подвижных форм калия. Основной формой, по содержанию которой судят об обеспеченности растений калием, признан обменный калий, адсорбционно связанный на поверхности почвенных коллоидов [19, 23]. В распределении его по профилю всех типов эмбриоземов обнаруживается общая закономерность: явно выражена тенденция к активному биологическому накоплению в корнеобитаемом слое. Содержание обменного калия в поверхностном горизонте оценивается как высокое и очень высокое и варьирует от 24.8 до 49.3 мг/100 г почвы, но с глубиной резко падает до средних значений (табл. 4). Максимальное его количество отмечается в эмбриоземах органо-аккумулятивных, несколько меньшие показатели свойственны дерновым. Содержание и профильное распределение обменного калия в гумусово-аккумулятивных эмбриоземах приближено к фоновым, то есть колеблется от повышенного до высокого в корнеобитаемом слое и от низкого до среднего в остальной части профиля [7], подобная тенденция выявлена и для почв техногенных отвалов Сибири [6].

Если растительный покров органо-аккумулятивных эмбриоземов представляет собой различные ассоциации травянистых растений, то эмбриоземы дерновые формируются как под травянистой, так и под древесно-кустарниковой растительностью. В последних отмечается некоторое уменьшение содержания обменного калия в гумусовом горизонте (25.5–34.2 и 34.2–46.9 мг/100 г). Гумусовый горизонт в наибольшей степени насыщен тонкими сосущими корнями растений (диаметром меньше 1 мм), поэтому влияние растительности на содержание в нем доступного растениям калия максимально. В более глубоких слоях различия в содержании обменного калия выражены слабее.

Необменный почвенный калий прочно связан с кристаллической решеткой минералов, его количество зависит, прежде всего, от величины фиксирующей способности почвы, которая определяется как внешними факторами (температура, влажность, содержание ионов кальция и аммония, внесение удобрений), так и свойствами твердой фазы почвы (минералогический состав, содержание органического вещества, присутствие в межслоевых промежутках глинистых минералов гидроксидов железа и алюминия) [1, 5, 22].

Содержание необменного калия в инициальных эмбриоземах оценивается как повышенное по всему профилю при слабом накоплении в поверхностном слое. В маломощном гумусовом слое органо-аккумулятивных эмбриоземов оно высокое, в остальных горизонтах – повышенное и среднее. В поверхностном горизонте эмбриоземов дерновых количество необменного калия варьирует от среднего до повышенного, в остальной части профиля оценивается как среднее, в верхнем слое гумусово-аккумулятивных эмбриоземов является повышенным, в более глубоких слоях – средним.

В характере распределения необменного и обменного калия по профилю почв имеется определенное сходство, наибольшее количество присущее корнеобитаемому слою по сравнению с нижележащими горизонтами. В эволюционном ряду эмбриоземов максимальное его содержание отмечается в органо-аккумулятивных, а минимальное – в гумусово-аккумулятивных горизонтах. В дерновых эмбриоземах под древесной растительностью отмечается меньшее содержание необменного калия в гумусовом горизонте, чем под травянистой. Очевидно, что основными факторами, контролирующими количество и профильное распределение доступных форм калия в почвах на отвальных породах являются биологическое накопление его в верхних горизонтах и более интенсивное его использование древесно-кустарниковой растительностью по сравнению с травянистой.

Содержание обменного и необменного калия в зональных почвах и эмбриоземах достоверно ($P > 90\%$) связано с содержанием фракций физической глины и ила, частицы которых являются основными носителями сорбционных позиций, но при этом теснота связи в зональных почвах выше, чем в эмбриоземах ($r = 0.47–0.56$ и $0.32–0.40$).

Содержание и профильное распределение обменного и необменного калия в различных типах почв на отвальных породах существенно отличается от такового в зональных фоновых почвах. Обращает на себя внимание низкое соотношение между содержанием необменного и обменного калия в эмбриоземах (3.5) по сравнению с естественными почвами (8.1), что можно объяснить относительно недавним перемещением пород отвалов на поверхность и коротким периодом их внутриволнового выветривания, выщелачивания и выноса калия за пределы профиля. Следует отметить, что в синлитогенных почвах Камчатки подобное соотношение в среднем составляет 4.1 [9].

Известно, что при неизменности факторов почвообразования в зональных почвах со временем накопление питательных веществ и гумуса уменьшается или остается практически стабильным. Полученные результаты в отношении доступных форм калия на различных стадиях фор-

Таблица 4. Параметры калийного состояния почв

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	K ₂ O, мг/100 г почвы		ПБС ^к	AR ₀ × 10 ⁻³ моль/л ^{0.5}	pK – 0.5pCa	–ΔK ₀	–K _L	–K _X
			обменный	необменный				МГ-ЭКВ/100 г почвы		
Эмбриозем инициальный										
81	I	0–4	29.6	73.4	54.3	27.2	1.57	1.48	1.74	0.26
	II	4–18	13.5	60.9	59.8	11.0	2.18	0.66	0.84	0.18
	III	18–53	14.2	60.2	48.2	14.5	1.84	0.70	0.81	0.11
	IV	53–90	13.7	63.0	45.4	13.2	1.88	0.60	0.85	0.25
Эмбриозем органо-аккумулятивный										
2	W	0–3	45.9	104.0	55.9	24.0	1.62	1.34	1.54	0.20
	I	3–20	26.8	70.5	47.3	21.5	1.67	1.02	1.13	0.11
	II	20–55	8.9	69.2	41.2	15.1	1.82	0.62	0.76	0.14
	III	50–80	9.3	81.2	42.1	11.3	1.95	0.48	0.63	0.15
76	IV g	80–120	10.9	59.0	40.9	12.9	1.89	0.53	0.84	0.31
	W	0–4	49.3	99.5	60.0	27.7	1.56	1.68	1.88	0.20
	AB	4–10	34.8	62.2	51.6	14.9	1.83	0.77	0.96	0.19
	I	10–27	12.1	66.9	79.1	6.28	2.20	0.49	0.61	0.12
87	II	27–65	11.8	53.5	61.8	8.95	2.05	0.55	0.63	0.08
	III	65–110	14.7	69.9	61.3	9.29	2.03	0.57	0.68	0.11
	Эмбриозем дерновый									
	AYao	0–8	33.6		31.9	21.35			0.83	0.15
89	AYao	8–17	30.0	52.9	54.4	16.90	1.67	0.68	1.14	0.22
	AB	17–45	12.9	48.9	66.7	6.92	1.77	0.92	0.59	0.13
	I	45–90	9.7	50.4	68.3	5.80	2.16	0.46	0.45	0.05
	II	90–	10.2	58.5	62.9	7.9	2.24	0.40	0.65	0.15
74	III	130	44.2	52.8	38.6	28.2	2.10	0.50	1.27	0.18
	AYao	0–10	13.9	63.1	40.6	17.1	1.55	1.09	0.93	0.24
	AB	10–21	12.3	47.9	78.9	16.4	1.77	0.69	1.35	0.06
	I	21–52	12.1	45.1	50.0	12.1	1.79	1.29	0.87	0.27
194	II	52–85	12.7	46.9	44.8	13.9	1.92	0.60	0.72	0.12
	III g	85–120		46.1			1.86	0.62		
Эмбриозем гумусово-аккумулятивный										
AY	0–10	24.8	78.2	73.8	10.5	1.98	0.77	0.91	0.14	
76	AB	10–20	10.0	61.3	52.6	7.51	2.12	0.40	0.49	0.09
	I g	20–40	9.5	54.9	42.4	11.0	1.96	0.47	0.65	0.18
	II g	40–70	11.2	56.4	42.6	13.3	1.88	0.57	0.72	0.15
	III g	70–110	10.9	55.6	41.0	12.8	1.89	0.52	0.69	0.17
Дерново-буро-подзолистая глееватая почва										
194	AY	0–9	20.75	116.3	152.9	1.86	2.73	0.28	0.42	0.14
	EL	20–30	3.47	60.9	73.9	1.27	2.9	0.01	0.06	0.05
	BEL	35–44	8.93	91.8	120.4	2.7	2.57	0.32	0.34	0.02
	BT1	50–60	9.94	108.8	140.5	5.02	2.3	0.71	0.80	0.09
	BT2	80–90	10.03	106.9	158.1	4.74	2.32	0.75	0.82	0.07
	BCg	110–120	9.27	112.3	170.6	3.52	2.45	0.60	0.70	0.10
Дерново-буро-подзолистая типичная почва										
76	AY	0–7	24.30	120.3	102.9	10.9	2.14	1.12	1.23	0.11
	EL	10–20	5.64	62.5	68.5	2.69	2.57	0.18	0.24	0.06
	BEL	30–40	7.41	99.7	126.2	5.1	2.29	0.65	0.81	0.16
	BT	60–70	9.76	106.4	188.5	2.12	2.92	0.40	0.43	0.03
Буровозем оподзоленный										
106	AY	0–13	16.45	111.10	95.3	8.43	2.07	0.80	0.97	0.17
	AYe	15–25	9.31	85.80	66.8	2.07	2.68	0.14	0.14	0.00
	BM1	40–50	8.15	188.90	102.4	4.18	2.38	0.43	0.48	0.05
144	BM2	60–70	11.60	68.80	190.0	5.88	2.23	1.11	1.40	0.29
	AY	0–9	23.86	124.6	83.5	9.1	2.04	0.76	0.88	0.12
	AYe	15–25	7.52	72.9	70.57	4.45	2.35	0.31	0.34	0.03
	BM	45–55	5.80	92.8	116.5	4.06	2.39	0.47	0.52	0.05

мирования почв на отвальных породах подтверждают этот вывод.

Оценка калийного состояния почв по термодинамическим параметрам. Важнейшими параметрами энергетического баланса калия в почве являются потенциальная буферная способность почв в отношении калия (ПБС^k), равновесный калийный потенциал (AR_0) и рассчитанный на его основе калийный потенциал ($\text{рK} - 0.5\text{рCa} = \lg AR_0$), содержание легкообменного калия ($-\Delta K_0$), занимающего "неспецифические" обменные позиции в ППК, содержание труднодоступного калия ($-K_x$) (на "специфических" сорбционных позициях) и лабильного калия ($-K_L$) (общее количество подвижного калия) [10].

Потенциальная буферная способность эмбриоземов в отношении калия в большинстве случаев оценивается как низкая и средняя (от 31.9 до 79.1), в то время как в зональных почвах она варьирует от средней до повышенной [8]. В большинстве почв на отвальных породах более высокие значения ПБС^k , наблюдаются только в верхней части профиля (табл. 4).

Характерной чертой эмбриоземов являются очень высокие значения равновесной активности AR_0 (более 0.020 моль/л^{0.5}) в поверхностных горизонтах, богатых слабо разложившимися органическими остатками. Возможно, в подобных слоях уровень активности ионов калия контролируется не столько реакцией катионного обмена, сколько реакцией растворения солей калия органических кислот, которые образуются в процессе разложения растительных остатков [17]. Зависимость величины равновесной активности от содержания органического углерода подтверждается и наличием достоверной положительной корреляционной связи между ними ($r = 0.24$ при $n = 64$). Наименьшие значения равновесной активности AR_0 присущи наиболее развитым гумусово-аккумулятивным эмбриоземам (0.007–0.013 моль/л^{0.5}), что свидетельствует о некоторой стабилизации почвенного поглощающего комплекса. В фоновых почвах значения AR_0 лежат в промежутке 0.001–0.011 моль/л^{0.5}. Величина калийного потенциала свидетельствует об оптимальной доступности калия для растений по профилю всех типов почв угольных отвалов (1.55–2.20), в то время как в зональных почвах значения данного показателя в большинстве случаев неблагоприятны (>2.40).

В содержании непосредственно доступного ($-\Delta K_0$) и труднодоступного подвижного калия ($-K_x$) в дерновых эмбриоземах наблюдаются тенденции, свойственные содержанию обменного и необменного калия: наибольшие значения присущи почвам, формирующимся под влиянием травянистой растительности, им же свойственны и самые

низкие значения калийного потенциала, а значит и наибольшая подвижность ионов калия.

Величина потенциальной буферной способности в отношении калия в эмбриоземах достоверно положительно коррелирует с содержанием органического углерода ($r = 0.30$ при $n = 64$, $P > 90\%$). Выявлено наличие достоверной связи между содержанием непосредственно доступного калия ($-\Delta K_0$) и содержанием илистой фракции ($r = 0.32$), а также фракции крупной пыли ($r = 0.51$). Большую роль крупнопылеватой фракции в обеспеченности непосредственно доступным калием можно объяснить наибольшим ее содержанием среди других фракций.

ВЫВОДЫ

- Наиболее характерными морфологическими признаками почв, формирующихся на отвальных породах, являются небольшая мощность профиля, слабая окрашенность гумусом и слабая оструктуренность. Короткий период интенсивного выветривания вынесенного на поверхность рыхлого материала приводит к накоплению в верхней части профиля крупнопылеватой и песчаной фракций мелкозема.

- Эмбриоземы характеризуется не только меньшим содержанием органического вещества, по сравнению с зональными почвами, но и значительной изменчивостью всех свойств, связанной с мозаичным распределением растительности. В сопряженном ряду эмбриоземов: органо-аккумулятивные—дерновые—гумусово-аккумулятивные в поверхностных слоях отмечается накопление органического углерода, слабое подкисление почвенной среды, увеличение степени выщелоченности.

- Содержание и профильное распределение подвижных форм калия в эмбриоземах существенно отличается от такового в фоновых почвах. Следует особо отметить, что интенсивность биологического накопления калия, под травянистыми ценозами больше, чем под древесно-кустарниковыми.

- Потенциальная буферная способность эмбриоземов в отношении калия преимущественно низкая или средняя, наиболее близки к показателям типичных фоновых почв значения термодинамических параметров в верхних горизонтах гумусово-аккумулятивных почв.

- Отличительной особенностью эмбриоземов являются очень высокие значения равновесной активности AR_0 в верхних горизонтах, богатых слаборазложившимися органическими остатками. Во всех почвах, формирующихся на отвальных породах, отмечается оптимальная доступность калия растениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абидуева Т.И., Соколова Т.А. Глинистые минералы и калийное состояние степных почв Западного Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 101 с.
2. Агрономические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
3. Андроханов В.А. Специфика и генезис почвенного покрова техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 795–800.
4. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
5. Горбунов Н.И. Минералогия и коллоидная химия почв. М.: Наука, 1974. 316 с.
6. Гродницкая И.Д., Трефилова О.В., Шишикин А.С. Агрономические и микробиологические свойства техногенных почв отвалов (Канско-Рыбинская котловина) // Почвоведение. 2010. № 7. С. 867–878.
7. Жарикова Е.А. Калий в почвах равнинных территорий юга Дальнего Востока // Почвоведение. 2001. № 9. С. 1060–1068.
8. Жарикова Е.А. Потенциальная буферная способность почв в отношении калия (на примере равнин Приамурья) // Почвоведение. 2004. № 7. С. 819–827.
9. Жарикова Е.А., Голодная О.М. Подвижный калий в почвах Камчатки // Почвоведение. 2009. № 8. С. 917–936.
10. Кацунникова Н.А. Термодинамические потенциалы и показатели буферных свойств почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 100 с.
11. Костенков Н.М., Комачкова И.В., Пуртова Л.Н. Почвы техногенных ландшафтов Приморья (на примере Лучегорского и Павловского угольных разрезов) // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1283–1293.
12. Костенков Н.М., Озnobихин В.И. Биологическая рекультивация пород угольных отвалов. Владивосток: Дальнаука, 2007. 99 с.
13. Костенков Н.М., Пуртова Л.Н. Общие закономерности формирования почв на отвальных породах и их гумусовое состояние // Вестник КрасГАУ. 2009. № 6. С. 17–22.
14. Костенков Н.М., Пуртова Л.Н. Посттехногенное почвообразование на отвальных породах как фактор восстановления природных ландшафтов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1(4). С. 1032–1038.
15. Крупская Л.Т., Дербенцева А.М., Нестерова О.В., Назаркина А.В., Щапова Л.Н., Морин В.А. Загрязнение почв в зонах влияния отходов переработки оловорудного сырья (Хабаровский край) // Почвоведение. 2013. № 3. С. 372–376.
16. Крупская Л.Т., Новикова Е.В. О рекультивации горных пород в условиях мусонного климата // Научные и прикладные вопросы мониторинга земель Дальнего Востока. Владивосток, 1993. С. 97–103.
17. Кулакова Н.Ю., Соколова Т.А. Влияние лесных культур на состояние калия и фосфора в черноземовидных почвах больших падин полупустынной зоны северного Прикаспия // Вестник МГУ. Сер. 17, почвоведение. 2003. № 3. С. 14–21.
18. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255–261.
19. Соколова Т.А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 47 с.
20. Шляхов С.А., Осипов С.В. Техногенные поверхностные образования на месте разработки россыпных месторождений золота (Буреинское нагорье, Дальний Восток) // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1250–1258.
21. Шугалей Л.С., Чупрова В.В. Почвообразование в техногенных ландшафтах лесостепи Назаровской котловины Средней Сибири // Почвоведение. 2012. № 3. С. 287–298.
22. Sharpley A.N. Relationship between soil potassium forms and mineralogy // Soil Science Society of America J. 1989. V. 53. № 4. P. 1023–1028.
23. Sparks D.L. Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain soils: A review // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1980. V. 11. P. 435–449.