

УДК 631.41

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, ВКЛЮЧАЯ РЕДКИЕ ЗЕМЛИ, В НЕКОТОРЫХ ПОЧВАХ ОСТРОВА САХАЛИН

© 2015 г. Ю. Н. Водяницкий¹, Д. В. Манахов¹, А. Т. Савичев²¹Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1
e-mail: yu.vodyan@mail.ru²Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1

Поступила в редакцию 22.04.2014 г.

Выявлены особенности химического состава буроземов, подзолов и аллювиальной почвы о. Сахалин. Буроземы на элювиально-делювиальных отложениях, подзолы на морских отложениях и аллювиальная почва обогащены Al и Ga и обеднены Ca, P, Sr. Буроземы и аллювиальная почва сильнее обогащены Fe, чем подзолы. Хлором очень сильно обогащен глееватый бурозем. Подзолы обеднены Mn, Ni, Cu, Zn, тяжелым лантанидом Y и обогащены Ba, Sr, Na, K, легкими лантанидами (La, Ce, Pr, Nd). Процесс подзолообразования, влияя на перемещение оксидов марганца, как носителя лантанидов и Th, определяет их профильное распределение. Аллювиальная почва обогащена Na, K, Mg, Zn и обеднена Cu; тяжелый лантанид Y входит в состав иных минералов аллювия, чем легкие лантаниды от La до Nd. Зола всех подстилок слабо обогащена Rb и Ni. Пихтовая подстилка сильнее обогащена Mg, Ca, Mn, S и Zn, чем лиственничная. Подстилка в лиственнично-кедровом лесу на подзолах слабо накапливает все изученные элементы, кроме Ca, Mn, P, S, а подстилка осоко-вейниковой ассоциации на поверхности аллювиальной почвы – кроме Mn, P, S.

Ключевые слова: тяжелые металлы, лантаниды, щелочные и щелочноземельные элементы, бурозем, аллювиальная почва, подзол, Cambisols, Albic Podzols, Gleyic Fluvisols.

DOI: 10.7868/S0032180X15100123

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров о. Сахалин формируется в своеобразных климатических условиях. Климат острова в целом муссонный, характеризуется холодной зимой, но менее суровой и более влажной, чем на материке, и прохладным и влажным летом. Большая протяженность территории острова в меридиональном направлении, существенное разнообразие климатических и литологических условий обусловили многообразие почв [2, 5].

Химический состав сахалинских почв изучен недостаточно, совершенно отсутствуют данные о содержании редких тяжелых металлов, включая лантаниды. Между тем, валовый химический состав несет важную информацию, так как зависит от состава материнских пород (на Сахалине очень специфических), климатических условий, генезиса почв. Кроме того, данные химического состава можно использовать для оценки степени выветрелости почв [14, 16].

Цель работы – выявить особенности химического состава буроземов, подзолов и аллювиальной почвы на о. Сахалин.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ САХАЛИНА

Северная часть Сахалина – равнинная (Северо-Сахалинская низменность), сложена неогеновыми песчаниками, глинистыми сланцами, конгломератами, перекрытыми четвертичными отложениями. Почвообразующие породы песчаного и супесчаного состава бедные как по химическому, так и по минералогическому составу. Растительный покров представлен разреженными лиственничными лесами с зарослями кедрового стланика. В этих условиях на хорошо водопроницаемых породах легкого гранулометрического состава формируются подзолы [8]. Они имеют четко дифференцированный профиль с резко выраженным элювиальным горизонтом. Луга в пределах Северо-Сахалинской низменности имеют ограниченное распространение, много сфагновых болот с торфяными болотными почвами (по классификации почв России [6]: торфяными олиготрофными почвами и торфяно-глееземами).

Центральная и южная части Сахалина в орграфическом отношении состоит из Западно- и Восточно-Сахалинского хребтов и расположенной между ними Поронайской депрессии. Почвообразующими породами Западно-Сахалинского хребта служат песчаники, сланцы, глины и

конгломераты мела и палеогена, Восточно-Сахалинского — метаморфические сланцы, диабазы, порфиры и туфы. Поронайская депрессия сложена рыхлыми галечниково-суглинистыми и глинистыми четвертичными отложениями. Почвенно-растительный покров имеет хорошо выраженную поясность.

Нижний лесной пояс гор образован темнохвойными пихтово-еловыми лесами, папоротниковыми, черничными и зеленомошными. Леса дают большое количество биомассы, микробное разложение которой в условиях влажного климата замедлено. В почвенном покрове преобладают буроземы, часто оподзоленные, глееватые, грубогумусированные. Выше 500 м над ур. м. распространены горные торфянисто-перегнойные почвы (торфяно-литоземы) под каменно-березовыми леса с курильским бамбуком и разнотравьем, горно-тундровые подбуры и горные торфяно-глеевые почвы (подбуры) под зарослями кедрового стланика, сухоторфянистые почвы (сухоторфяно-подбуры) под кустарничковой растительностью. В долинах рек формируются различные аллювиальные, луговые, лугово-дерновые, болотные почвы (аллювиальные, гумусово-квасиглеевые и торфяные почвы).

Основной фактор, определяющий разнообразие химического состава почв на Сахалине, — литогенный [5]. На северной равнинной части острова, где доминируют породы легкого гранулометрического состава, преобладают подзолы. В южной горной части, где преобладают породы тяжелого гранулометрического состава, образуются буроземы. На их состав сильно влияет местное переувлажнение, а также развитие оподзоливания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили наиболее распространенные на территории о. Сахалин почвы: буроземы и аллювиальная почва в южной части острова и подзолы в северной (рисунок).

Разр. 3 и 4 заложены в южных отрогах Корсаковского плато в долине р. Водопьяновка. Разр. 3 расположен в верхней части склона юго-западной экспозиции под лиственничником разнотравным. Абсолютная высота — 82 м над ур. м. Почва представлена буроземом типичным, средне-мелким, малогумусированным, легко-среднесуглинистым, слабоскелетным на щебнистых элювиально-делювиальных отложениях, имеющим следующее строение (в скобках указаны глубины генетических горизонтов, см): О (0–6)—АУ1 (6–15)—АУ2 (15–26)—ВМ (26–46)—В (46–63)—ВС (63–90) [6]. Почва характеризуется наличием мощной подстилки, мелкоореховатой структурой



Схема расположения разрезов.

гор. ВМ, щебнистостью, возрастающей при переходе к почвообразующей породе.

Ниже по склону, на высоте 60 м над ур. м., под листовничником разнотравно-орляково-багульниковым сформирован бурозем оподзоленный, мелкий, мелкоосветленный, мулугумусированный, среднесуглинистый, слабоскелетный на щебнистых элювиально-делювиальных отложениях (разр. 4). Профильное строение: О (0–7)–АУе (7–16)–Ве (16–24)–ВМ1 (24–45)–ВМ2 (45–67)–С (67–85). Почва характеризуется наличием осветленного гор. АУе.

Разр. 1 заложен в нижней части пологого восточного склона Южнокамышового хребта под пихтово-еловым папоротниковым лесом. Абсолютная высота – 60 м над ур. м. Почва представлена буроземом глееватым, средне-мелким, оглеенным, сильногумусированным, средне-легкосуглинистым, слабоскелетным на элювиально-делювиальных отложениях, имеющим следующее строение: О (0–7)–АУ1 (7–14)–АУ2 (14–25)–ВМ (25–40)–В1g (40–63)–В2g (63–85)–Сg (85–105). На поверхности почвы мощная подстилка. Окраска минеральных слоев меняется от буровато-серой в гумусово-аккумулятивных горизонтах до бурой и буровато-коричневой в нижней части профиля. Структурно-метаморфический горизонт характеризуется мелкоореховатой структурой. В нижней части профиля увеличивается количество щебня. Признаки оглеения отмечаются глубже 40 см в гор. В1g, В2g и в породе.

Разр. 2 заложен на юге в пойме р. Айдар, впадающей в Охотское море, недалеко от устья под осоково-вейниковой растительностью. Абсолютная высота – 4 м над ур. м. Почва – аллювиальная серогумусовая (дерновая) глеевая, средне-мелкая, поверхностно оглеенная, средне гумусированная, легкосуглинистая на аллювиальных отложениях. Строение профиля: О (0–6)–АУ1 (6–21)–АУ2g (21–30)–G1 (30–57)–G2 (57–75)–СG~ (75–100). Признаки оглеения в виде сизой окраски и железо-марганцевых конкреций начинаются с глубины 21 см и до дна разреза.

Разр. 5 и 6 расположены на севере острова в юго-восточной части Северо-Сахалинской низменности в междуречье рек Даги и Томи в 2 км от берега Охотского моря. Некоторые физико-химические свойства этих почв охарактеризованы ранее [8]. Разрезы расположены на выровненных участках под зарастающими горельниками с листовничей, кедровым стлаником, брусничкой, мхами. Разр. 5 вскрывает подзол перегнойный, ненасыщенный, мелкий, поверхностно-осветленный, иллювиально-среднегумусовый, супесчаный на морских отложениях. Профильное строение: Oh (0–6)–Е (6–10)–ВНF (10–16)–ВF (16–31)–В1 (31–54)–В2 (54–83)–С (83–100).

Разр. 6 расположен в 1500 м от разр. 5. Здесь под аналогичной растительностью сформировался подзол перегнойный, ненасыщенный, мелкий, мелкоосветленный, иллювиально-среднегумусовый, сильно ненасыщенный, супесчаный на морских отложениях. Профильное строение: Oh (0–4)–Е (4–15)–ВНF (15–20)–ВF (20–36)–В1 (36–64)–В2 (64–100)–С (100–120). Подзолы перегнойные характеризуются наличием в нижней части подстилочного горизонта перегнойного материала. Элювиально-иллювиальное перераспределение гумуса и железа проявляется в осветлении элювиального горизонта и накоплении гумусово-железистых пленок на поверхности минеральных зерен в иллювиальном горизонте.

Во всех местах обильно накапливаются органические остатки на поверхности почв вследствие медленного их разложения и слабой минерализации, характерных для почв о. Сахалин [4, 5].

Содержание всех химических элементов исследовали методом рентгенофлуоресцентного анализа на анализаторе Респект. Лантан, церий, празеодим и неодим определяли после замены излучения рентгеновской трубкой радиоизотопным источником с высокой энергией излучения ^{241}Am . При этом активно возбуждаются К-линии тяжелых элементов, которые не перекрываются с линиями макроэлементов. Малое фоновое излучение и его высокая стабильность позволяют быстро определять в почвах содержание этих лантанидов [15].

Обширную группу лантанидов делят две части: 1) легкие или элементы цериевой подгруппы с атомной массой менее 153 и с ионным радиусом более 95 пм, эта подгруппа включает элементы от La до Eu и 2) тяжелые – с атомной массой более 153, она включает лантаниды от Gd до Lu, вместе со сходным по химическим свойствам Y, атомная масса которого 88,9; тяжелые лантаниды называют элементами иттриевой подгруппы [1, 9]. Геохимическое поведение легких и тяжелых лантанидов различно [1, 16]. Из-за ограничений инструментального порядка в почвах анализировали только высококларковые лантаниды (La, Ce, Pr, Nd), относящиеся к легким, а также иттрий, относящийся к тяжелым лантанидам. Из актинидов методом рентгенофлуоресцентного анализа в почвах можно было выявить содержание только тория, элемента с относительно высоким кларком.

Свертку данных о содержании тяжелых металлов в минеральных горизонтах почв проводили путем усреднения значений в почвенном профиле. Затем эти данные сравнивали с почвенными кларками химических элементов, почерпнутыми из разных источников [3, 13].

Подсчитывали коэффициенты корреляции содержания лантанидов и тория с иттрием, цирконием, железом и марганцем.

Степень выветрелости почв определяли на основании трех критериев. Первый — индекс выветривания Chemical Index of Alteration (CIA): $CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$ [14]. Считается, что этот показатель чувствителен к степени увлажнения территории. Второй — отношение Rb/Sr [12]. Третий критерий (предложен нами) — индекс выветривания IW (index of weathering) также основан на сравнении содержания рубидия и стронция, но имеет границы от 0 до 1 и определяется из выражения: $IW = Sr / (Rb + Sr)$. Четкие границы удобны для дальнейшей градации почв по степени выветривания минеральной массы.

Содержание элементов в золе подстилок определяли после их прокалывания. Накопление конкретного химического элемента (x) в подстилке характеризовали по отношению его содержания в золе подстилки (m_x) к его количеству в верхнем минеральном горизонте почвы (n_x). Это отношение, учитывающее содержание элемента в золе подстилки, можно назвать “коэффициентом концентрации” элементов $B_x = m_x : n_x$, в отличие от коэффициента биологического поглощения $A_x = I_x : n_x$, где I_x — содержание элемента в золе растений [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Буроземы часто образуются на красноцветных, ожелезненных породах. Систематическое изучение почв на красноцветных породах в европейской части России показало, что на легких супесчаных породах образуются ржавоземы, а на тяжелых суглинистых и глинистых — буроземы [7]. Они отмечены как в зоне северной, так и южной тайги. Известно, что красноцветная кора выветривания обогащена не только оксидами железа, но и алюминия [3].

На Сахалине буроземы образуются не на красноцветных, гематитсодержащих породах, а на зеленоцветных хлоритовых сланцах. Литогенный хлорит содержит преимущественно Fe^{2+} , что и определяет его зеленую окраску и название минерала. Выветривание хлоритового сланца выражается в окислении Fe^{2+} до Fe^{3+} и приобретении за счет (гидр)оксидов железа бурой окраски, характерной для буроземов. Разрушение хлоритового сланца сопровождается накоплением глинозема. По данным Ивлева [5], в условиях муссонного климата из буроземов вымываются натрий, калий, кальций, железо. В этом специфика буроземов Сахалина.

Специфика аллювиальных почв — сильная зависимость от материала аллювия. Таким образом, аллювиальная почва несет отпечаток состава гор-

ных пород в верховьях рек, в нашем случае, у аллювиальной почвы на юге острова отражается состав выветрелых хлоритовых сланцев.

В подзолистых почвах на севере острова происходит элювирувание железа и металлов-сидерофилов.

Буроземы: типичный, глееватый и оподзоленный (разр. 3, 1 и 4).

Содержание глинозема и галлия в минеральных горизонтах. Как видно из табл. 1, имеются существенные различия в химическом составе трех буроземов: типичного (разр. 3), глееватого (разр. 1) и оподзоленного (разр. 4). Эти различия обусловлены развитием современных процессов оглеения или оподзоливания.

Есть данные о содержании алюминия в стандартных образцах почв из европейской части России. Содержание глинозема варьирует от 9.64 в дерново-подзолистой почве до 12.66% Al_2O_3 в светло-каштановой почве [3]. По сравнению с ними сахалинские буроземы (типичный и глееватый) обогащены Al_2O_3 , его количество вдвое больше: 19.9–23.1%, что указывает на вероятность присутствия свободных (гидр)оксидов алюминия, которые в общем именуются бокситами.

Повышенное содержание галлия, входящего в состав (гидр)оксидов алюминия, используется как химический тест на бокситы. Так, концентрация Ga в бемите и диаспоре $AlO(OH)$ достигает 100 мг/кг и больше [3]. Среднее содержание галлия в бокситах на территории бывшего СССР — 58 мг/кг, что гораздо больше почвенного кларка 15 мг/кг [13]. Оба сахалинских бурозема обогащены галлием, его содержание 31–33 мг/кг, это близко к величинам, характерным для бедных месторождений бокситов.

В оподзоленном буроземе содержание глинозема понижено, его в среднем 12.0% Al_2O_3 , что, вероятно, связано с неустойчивостью частиц (гидр)оксидов алюминия к действию органических лигандов при подзолообразовании.

Содержание железа и марганца в минеральных горизонтах. Типичный и глееватый буроземы обогащены железом, его содержание в типичном буроземе составляет 8.10, а в глееватом — 6.76% Fe_2O_3 , тогда как почвенный кларк всего 5.43% Fe_2O_3 (табл. 2). Полученные результаты не вполне согласуются с данными Ивлева [5] о выносе Fe из буроземов. Железо вымывается только из оподзоленного бурозема, в нем содержится лишь 4.86% Fe_2O_3 , что ниже почвенного кларка (5.43%).

В типичном буроземе содержание марганца высокое, в среднем 882 мг/кг Mn, что почти вдвое больше кларка (488 мг/кг). Это также не согласуется с данными Ивлева [5] о ничтожном содержании Mn (<50 мг/кг) в мелкоземе буроземов. Веро-

Таблица 1. Содержание кремнезема, глинозема, щелочных и щелочноземельных металлов, галлия, биофильных элементов (P, S) и галогенов (Cl, Br)

Горизонт	Глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Rb	Sr	Ba	Ga	P	S	Cl	Br
		%							мг/кг						
Бурозем типичный, разр. 3															
О	0–6	66.10	8.72	0.66	1.95	1.98	6.23	80	262	1275	33	7531	9380	2060	46
AY1	6–15	65.97	19.12	0.99	1.07	1.28	0.46	50	108	520	29	611	585	230	16
AY2	15–26	62.59	22.71	1.14	1.01	1.34	0.33	47	98	512	33	306	613	150	10
BM	26–46	61.30	22.89	1.01	1.02	1.38	0.44	46	106	499	34	323	601	140	8
B	46–63	55.41	27.36	0.93	0.79	1.38	0.65	33	127	481	36	284	469	100	5
BC	63–90	58.73	23.51	1.08	0.94	1.50	0.74	45	127	496	33	279	533	240	—
Среднее*		60.80	23.12	1.03	0.97	1.38	0.52	44	113	502	33	361	560	172	8
Бурозем глееватый, разр. 1															
О	0–7	52.11	10.95	1.00	2.55	2.74	7.02	101	354	1423	25	9343	14370	3770	94
AY1	7–14	69.89	16.17	0.89	1.53	0.98	0.23	71	103	355	35	572	930	1900	34
AY2	14–25	63.22	17.55	1.24	1.67	0.98	0.24	84	92	396	38	664	1018	1680	64
BM	25–40	60.52	21.36	1.25	1.92	1.35	0.20	99	115	522	27	480	870	250	41
B1g	40–63	62.13	20.87	0.96	2.07	1.63	0.25	97	116	581	30	402	513	300	14
B2g	63–85	63.65	21.05	1.21	2.23	1.50	0.35	94	130	724	28	306	705	170	5
Cg	85–105	60.76	22.50	1.00	2.21	1.68	0.55	89	167	797	29	742	689	230	8
Среднее		63.35	19.92	1.09	1.94	1.35	0.30	89	120	562	31	528	787	755	28
Бурозем оподзоленный, разр. 4															
О	0–7	67.04	8.40	0.58	2.19	1.67	4.62	68	258	1224	28	7937	7285	2300	49
Aye	7–16	80.07	9.46	1.31	1.22	0.91	0.24	92	80	519	26	384	950	300	5
Be	16–24	73.69	14.36	0.65	1.25	1.20	0.16	69	71	440	29	367	870	130	11
BM1	24–45	77.00	12.00	1.10	1.43	1.03	0.20	80	79	517	25	210	677	100	—
BM2	45–67	74.66	13.72	0.68	1.41	1.38	0.17	72	69	490	25	288	621	160	—
C	67–85	79.54	10.29	1.04	1.21	0.93	0.17	83	71	470	24	393	821	130	5
Среднее		77.00	11.97	0.96	1.30	1.09	0.19	79	74	487	26	328	788	164	5
Подзол перегнойный, разр. 5															
Oh	0–6	68.13	15.80	1.20	1.94	1.10	1.34	92	215	668	30	2266	2973	1100	14
E	6–10	71.47	11.97	1.27	1.61	0.55	0.30	67	129	512	27	437	946	260	—
BHF	10–16	67.39	16.08	0.92	1.53	0.56	0,25	73	130	555	37	502	853	150	—
B1	31–54	68.49	19.74	1.09	2.49	1.15	0.41	104	164	833	25	236	605	150	—
B2	54–83	68.99	17.93	1.72	1.38	0.96	0,43	109	178	786	31	327	585	120	—
C	83–100	70.19	18.65	1.63	2.45	1.03	0.45	105	173	879	27	161	525	140	—
Среднее		69.31	16.87	1.33	2.09	0.85	0.37	92	155	713	29	333	703	164	—
Подзол перегнойный, разр. 6															
Oh	0–4	73.04	12.38	1.20	1.98	1.00	1.47	89	226	750	21	2262	3302	1400	18
E	4–15	55.69	24.28	0.81	1.93	0.83	0.30	98	156	711	27	707	906	390	—
BHF	15–20	56.40	24.12	0.99	1.96	0.77	0.31	94	143	685	31	729	902	310	—
B1	36–64	69.89	17.91	1.40	2.62	0.92	0.37	108	161	859	24	157	721	140	—

Таблица 1. Окончание

Горизонт	Глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Rb	Sr	Ba	Ga	P	S	Cl	Br
		%						мг/кг							
B2	64–100	73.92	16.41	1.51	2.79	0.93	0.47	108	178	843	22	271	621	110	–
C	100–120	72.92	14.31	1.62	2.71	0.80	0.43	105	173	886	17	319	565	90	–
Среднее		65.56	19.41	1.27	2.40	0.85	0.38	103	162	797	24	437	743	200	–
Аллювиальная почва, разр. 2															
O	0–6	68.91	13.06	1.27	2.12	1.84	1.08	134	171	630	29	3004	3855	750	35
AY1	6–21	65.76	17.21	1.37	2.58	1.80	0.52	105	149	603	27	581	881	190	14
AY2g	21–30	65.37	17.13	1.55	2.58	1.70	0.60	106	159	601	35	581	1082	260	12
G1	30–57	65.21	17.10	1.51	2.50	1.77	0.62	101	161	623	25	581	685	160	9
G2	57–75	63.03	16.12	1.31	2.44	1.75	0.58	95	154	621	27	768	769	180	6
CG~	75–100	76.17	17.49	1.40	2.60	1.88	0.54	104	162	649	33	437	882	140	–
Среднее		67.11	17.00	1.43	2.54	1.78	0.57	102	157	619	29	590	860	186	8
Кларк**				0.84	1.51	1.04	1.92	68	175	460	15	800	850	100	10

* Здесь и далее среднее для минеральных горизонтов.

** Кларки для Na₂O, K₂O, MgO, CaO, S, Cl, Br приведены по [3], остальных элементов – по [13].

ятно, верхние слои буроземов обогащены биогенным марганцем, усваиваемым растительностью.

В глееватом буроземе за счет восстановительной обстановки марганец выносится из профиля, его содержание составляет всего 416 мг/кг. В оподзоленном буроземе за счет выщелачивания содержание марганца также снижено до 398 мг/кг.

Содержание щелочных и щелочноземельных металлов в минеральных горизонтах. Буроземы по-разному обогащены щелочными металлами, натрием и калием. Содержание Na₂O составляет в среднем 0.96–1.09%, что больше кларка (0.84%). В то же время содержание K₂O понижено в типичном и оподзоленном буроземах до 0.97–1.09%, против кларка (1.51%). Глееватый бурозем, напротив, богаче калием, его в среднем содержится 1.94% K₂O. Полученные данные, в общем, согласуются с ранее установленным фактом выноса калия из буроземов Сахалина [5].

Буроземы различаются по содержанию щелочноземельных металлов, магния и кальция. Типичный и глееватый буроземы обогащены свыше кларка Mg и обеднены Ca, в них содержится 1.35–1.38% MgO при кларке 1.04%, и 0.30–0.52% CaO при кларке 1.92%. Оподзоленный бурозем магнием не обогащен, но сильно обеднен кальцием. Поэтому отношение CaO/MgO гораздо меньше кларкового (1.84) и составляет 0.38 в типичном, 0.22 в глееватом и 0.18 в оподзоленном буроземах. О дифференциации щелочноземельных металлов в сахалинских буроземах ранее не сообщалось.

Все буроземы обеднены стронцием. В типичном и глееватом буроземах содержится 113–120 мг/кг Sr при кларке 175 мг/кг. Еще больше обеднен стронцием оподзоленный бурозем, содержание Sr всего 74 мг/кг.

Все буроземы немного обогащены барием, его содержание составляет 487–562 мг/кг при кларке 460 мг/кг. Кларковое отношение Ba/Sr составляет 460/175 = 2.6, оно превышено и достигает 4.5–4.6 в типичном и глееватом и 6.6 в оподзоленном буроземах. Доминирование бария над стронцием – отличительная черта сахалинских буроземов, обусловленная составом материнской породы.

Содержание фосфора и серы в минеральных горизонтах. Фосфором буроземы типичный и глееватый заметно обеднены. В глееватом буроземе его содержится в среднем 528 мг/кг P, а в типичном – 361 мг/кг, при кларке, равном 800 мг/кг. Еще больше обеднен фосфором оподзоленный бурозем, в нем в среднем 328 мг/кг P. Дефицит фосфора – отличительная черта сахалинских буроземов.

Содержание серы близко к кларку (850 мг/кг), но имеются различия. Меньше всего ее в типичном буроземе – 560 мг/кг, а в глееватом и оподзоленном буроземах больше, до 787–788 мг/кг.

Содержание тяжелых металлов в минеральных горизонтах. Буроземы обеднены никелем, свинцом и, особенно, медью, содержание этих элементов ниже кларка для почв. Минимальными концентрациями никеля и меди характеризуется оподзоленный бурозем: в среднем 21 и 16 мг/кг Ni

Таблица 2. Содержание железа, редких тяжелых металлов, мышьяка, лантанидов и тория

Гори- зонт	Глубина, см	Fe ₂ O ₃	Cr	Mn	Ni	Pb	Cu	Zn	As	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th
		%	мг/кг														
Буроземы																	
Бурозем типичный, разр. 3																	
О	0—6	4.22	48	6626	33	72	65	284	13	166	19	16	23	4	8	—	11
AY1	6—15	7.31	96	1635	20	18	25	134	—	164	11	13	17	3	7	—	4
AY2	15—26	7.70	96	434	33	20	28	115	—	170	12	12	14	—	5	—	9
BM	26—46	7.87	103	410	37	21	31	104	—	162	12	11	16	3	6	—	4
B	46—63	9.48	82	675	21	12	30	89	—	159	17	15	27	4	10	3	4
BC	63—90	8.13	62	1255	35	12	29	90	—	150	24	20	42	6	16	4	5
Среднее*		8.10	88	882	29	17	29	106	—	161	15	14	23	3.4	8.8	—	5.2
Бурозем глееватый, разр. 1																	
О	0—7	5.30	26	7730	51	90	80	327	16	149	20	15	20	3	8	—	12
AY1	7—14	5.07	96	280	16	18	20	47	5	226	19	24	33	5	12	3	12
AY2	14—25	7.88	27	527	27	22	22	75	—	197	14	22	34	5	13	3	9
BM	25—40	6.45	62	597	32	25	27	110	5	186	16	22	40	6	15	4	10
B1g	40—63	7.52	41	108	31	26	26	89	5	189	19	26	58	9	23	5	15
B2g	63—85	6.28	41	496	32	23	22	80	—	188	26	38	62	10	26	6	12
Cg	85—105	7.34	68	488	25	22	31	89	—	173	35	43	62	11	28	6	11
Среднее		6.76	56	416	27	23	25	82	—	193	21	29	48	8	19.5	4.5	11.5
Бурозем оподзоленный, разр. 4																	
О	0—7	3.55	21	5495	28	84	56	259	16	146	20	21	26	5	10	—	10
AYe	7—16	3.86	55	341	18	16	15	64	4	179	14	19	27	4	11	3	5
Be	16—24	5.95	48	387	25	23	13	115	4	153	13	16	21	3	8	1	7
BM1	24—45	4.76	75	511	21	22	20	110	5	175	13	20	28	5	12	3	8
BM2	45—67	5.71	89	302	29	23	19	94	—	153	15	17	25	4	10	3	8
C	67—85	4.00	48	450	13	12	14	58	5	170	14	18	26	5	10	3	4
Среднее		4.86	63	398	21	19	16	88	4	166	14	18	25	4.2	10	2.6	6.4
Подзолы																	
Подзол перегнойный, разр. 5																	
Oh	0—6	2.93	41	209	18	31	21	60	8	560	28	30	52	7	19	5	12
E	6—10	1.99	55	116	5	19	11	17	9	516	21	27	40	6	15	4	9
BHF	10—16	3.97	75	108	15	21	16	21	7	435	19	26	41	7	16	4	10
B1	31—54	3.46	41	186	12	21	10	32	6	439	25	43	66	11	27	6	11
B2	54—83	2.71	48	132	19	26	15	28	4	495	27	44	76	11	30	7	12
C	83—100	2.83	48	140	13	21	13	23	5	436	25	46	76	12	31	7	14
Среднее		2.99	53	136	12	22	13	24	—	484	23	37	60	9.4	24	5.6	11.2
Подзол перегнойный, разр. 6																	
Oh	0—4	2.29	27	426	20	35	31	100	6	578	24	25	44	6	17	4	13
E	4—15	3.41	48	108	14	20	13	52	5	354	14	26	37	5	14	4	11
BHF	15—20	3.34	68	139	13	26	10	50	7	350	15	22	34	5	13	—	8
B1	36—64	2.25	34	170	14	24	10	31	4	450	24	34	70	11	28	6	13
B2	64—100	1.65	48	124	12	22	9	27	—	392	24	39	68	10	26	6	10
C	100—120	1.63	41	93	12	24	14	34	—	415	23	26	55	7	22	5	8
Среднее		2.46	48	127	13	23	11	39	—	392	20	29	53	7.6	21	4.4	10

Таблица 2. Окончание

Гори- зонт	Глубина, см	Fe ₂ O ₃	Cr	Mn	Ni	Pb	Cu	Zn	As	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th
		%	мг/кг														
Аллювиальная почва, разр. 2																	
O	0—6	5.64	62	2891	39	30	55	233	7	181	24	31	53	8	20	5	14
AY1	6—21	5.51	48	566	25	23	25	84	7	200	23	32	54	8	20	5	11
AY2g	21—30	5.51	68	542	26	24	22	95		202	22	29	54	7	19	5	10
G1	30—57	5.86	89	1217	28	23	35	94	6	212	24	30	52	6	20	4	11
G2	57—75	9.41	55	1070	29	21	29	84	13	206	25	29	54	6	19	5	7
CG~~	75—100	5.52	68	418	33	23	27	98	7	219	22	30	54	7	21	5	11
Среднее		6.36	66	763	28	23	28	91	7	208	23	30	54	6.8	20	4.6	10
Кларк**		5.43	59	488	29	27	39	70	6.8	267	23	27	57	7	26	4.6	9.2

* Здесь и далее среднее для минеральных горизонтов.

** Кларки для Fe₂O₃ приведены по [3]; остальных элементов – по [13].

и Cu соответственно. Содержание свинца минимально в типичном буроземе – 17 мг/кг.

Несколько повышено в буроземах содержание цинка и хрома. Особенно обогащен ими типичный бурозем, где содержится 106 мг/кг Zn и 88 мг/кг Cr, что больше почвенных кларков (70 и 70 мг/кг).

Содержание лантанидов и тория в минеральных горизонтах. В целом буроземы обеднены лантанидами. Содержание церия здесь в 2.5 раза меньше кларка, а количество лантана и других лантанидов – вдвое меньше почвенного кларка. Материнские бокситоносные породы не содержат достаточного количества минералов фосфатов и циркония, потенциальных носителей лантанидов [3].

Профильное распределение иттрия и легких лантанидов было сходным. Коэффициенты корреляции содержания Y с легкими лантанидами достоверно высокие 0.85–0.88. Вероятно, в буроземах минералы-носители двух групп лантанидов одинаковые.

Исключение составляет циркон как носитель тория. Циркония в буроземах всего 161–193 мг/кг при почвенном кларке 267 мг/кг. Один из основных минералов, содержащих Zr, – циркон ZrSiO₄. Коэффициент корреляции содержания циркония с актинидом торием составляет 0.64, достоверно при $P = 0.95$. Вероятно, циркон служит главным носителем тория.

Другой важный индикатор судьбы лантанидов и тория – марганец, который выступает их носителем, но только когда они подвержены активным педогенным преобразованиям. В буроземах статистические связи Mn с лантанидами и торием отрицательные: $r = -0.03$ для иттрия до $r = -0.50$ для тория. Это говорит о том, что почвообразовательные процессы в буроземах не сказываются на

судьбе лантанидов и тория. Ниже будет показано, что связи лантанидов с содержанием Mn в подзолах достоверно положительные.

Интересно, что содержание лантанидов существенно увеличивается в нижних оглеенных горизонтах глееватого бурозема по сравнению с неоглеенной толщей 0–40 см. В среднем содержание иттрия увеличивается с 16 до 27, лантана – с 23 до 36, церия – с 36 до 61, празеодима – с 5 до 10 и неодима – с 13 до 26 мг/кг.

Содержание галогенов в минеральных горизонтах. Буроземы обогащены хлором, особенно глееватый, здесь в среднем 755 мг/кг Cl, то есть в 7 раз больше кларка (100 мг/кг). В типичном и оподзоленном буроземах содержание хлора больше кларка, но немного: 164–172 мг/кг. Концентрация брома также сильно варьирует. В глееватом буроземе его среднее содержание составляет 28 мг/кг, что в три раза больше кларка (10 мг/кг). Но в типичном и оподзоленном буроземах количество брома меньше кларка: 8 и 5 мг/кг соответственно.

Степень выветрелости минерального материала буроземов. Показатель CIA как критерий увлажненности территории отражает влажный климат о. Сахалин, у буроземов он составляет 0.92–0.94. Это значительно больше среднего кларкового значения 0.77.

Показатели, основанные на соотношении Rb и Sr, варьируют гораздо сильнее, чем CIA. Отношение Rb/Sr составляет 0.39 у типичного бурозема, 0.74 – у глееватого и 1.07 у оподзоленного бурозема. В той же последовательности увеличивается индекс выветривания $IW = Rb/(Rb + Sr)$: от 0.28 у типичного к 0.43 у глееватого и до 0.52 у оподзоленного буроземов. Два последних значения превышают “кларковое” выветривание почв $IW_{\text{кларк}} = 0.28$. Таким образом, процессы оглеения

Таблица 3. Значения коэффициента концентрирования химических элементов в подстилке разного состава

Разрез	K	Mg	Ca	Rb	Sr	Ba	P	S	Cl	Br	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Подстилки лиственничников разнотравных																
3	1.8	1.5	13.5	1.6	2.4	2.5	12.3	16.0	8.9	2.9	4.0	1.6	2.6	2.1	6.5	4.0
4	1.8	1.8	19.2	0.7	3.2	2.4	20.6	9.2	7.7	9.8	16.1	1.5	3.7	4.0	4.0	5.2
Среднее (3 + 4)	1.8	1.6	16.3	1.1	2.8	2.4	16.4	12.6	8.3	6.3	10.0	1.5	3.1	3.0	5.2	4.6
Подстилка пихтово-елового папоротникового леса																
1	1.7	2.8	30.5	1.4	3.4	4.0	16.5	15.4	2.0	2.8	27.7	3.2	4.0	7.0	3.2	5.0
Подстилки лиственничника кедровостланикового																
6	1.2	2.0	4.5	1.4	1.7	1.0	5.2	3.1	4.2	—	1.8	3.6	1.9	3.5	0.9	1.6
7	1.0	1.2	4.9	0.9	1.5	1.3	3.2	3.6	3.6	—	3.9	1.4	2.4	1.9	1.2	1.7
Среднее (6 + 7)	1.1	1.6	4.7	1.2	1.6	1.2	4.2	3.3	3.9	—	2.8	2.1	2.1	2.7	1.0	1.6
Подстилка осоково-вейниковой ассоциации																
2	0.8	1.0	2.1	1.3	1.1	1.0	5.2	4.4	3.9	2.4	5.1	2.2	2.2	2.8	1.0	1.3

и, особенно, оподзоливания усиливают выветривание буроземов.

Состав золы подстилок. Обогащение или обеднение химическими элементами золы подстилки оценивали по величине коэффициента концентрирования элементов B_x . На состав подстилки влияет вид произрастающей растительности. Если глееватый бурозем сформировался под елово-пихтовым папоротниковым лесом, то типичный и оподзоленный буроземы — под лиственничниками разнотравными. Такое различие накладывает отпечаток на химический состав подстилочно-торфяного гор. О (табл. 3).

Приведем ряды концентрирования для первых семи элементов отдельно для подстилок лиственничника разнотравного и елово-пихтового, папоротникового. Для подстилки лиственничника разнотравного: $P_{16.4} = Ca_{16.3} > S_{12.6} > Mn_{10.0} > Br_{6.3} > Cl_{8.3} > As_{5.2}$.

Для подстилки в елово-пихтовом, папоротниковом лесу: $Ca_{30.5} > Mn_{27.7} > P_{16.4} > S_{15.4} > Zn_{7.0} > Pb_{5.0} > As_{3.2}$.

В подстилке лиственничника разнотравного в первую тройку биофилов входят фосфор, кальций и сера, тогда как в подстилке елово-пихтового, папоротникового леса — кальций, марганец и фосфор.

Интересно сравнить полученные ряды концентрирования элементов с рядом биологического поглощения A_x элементами листьями черники и папоротника, произрастающими на буроземе в южной части Сахалина [4].

Листья черники поглощают элементы в таком порядке: $Mn_{412} > S_{27} > Ca_{20} > K_{18} > P_{17} > Mg_6$.

Листья папоротника накапливают элементы в таком порядке: $Mn_{407} > P_{63} > K_{30} > S_{21} > Ca_6 > Mg_5$.

Отличие в составе изученных подстилок в незначительном обогащении калием и магнием, коэффициенты концентрирования этих элементов < 3 . Но велико концентрирование галогенов в подстилке лиственничника разнотравного и тяжелых элементов в подстилке елово-пихтового, папоротникового леса. Незначительное накопление галогенов в подстилке елово-пихтового, папоротникового леса, вероятно, связано с их вымыванием из глееватого бурозема.

Аллювиальная почва (разр. 2).

Содержание глинозема и галлия в минеральных горизонтах. В аллювиальной почве повышена концентрация глинозема: в среднем 17.0% Al_2O_3 . Завышенное вдвое против кларка содержание Ga, равное 29 мг/кг, подтверждает наличие (гидр)оксидов алюминия в аллювиальной почве, как и в буроземах.

Содержание железа и марганца в минеральных горизонтах. Аллювиальная почва заметно ожелезнена, в ней содержится 6.36% Fe_2O_3 , при кларке 5.43%. В аллювиальной почве превышено и содержание марганца: 763 мг/кг при кларке 488 мг/кг. В этом отношении аллювиальная почва на юге острова близка к буроземам на той же территории.

Содержание щелочных и щелочноземельных металлов в минеральных горизонтах. Отличительная особенность аллювиальной почвы — высокая обогащенность натрием и калием. Содержание натрия в среднем 1.43% Na_2O , что в 1.6 раза больше кларка (0.89%). Это согласуется с обогащенностью натрием буроземов. Содержание калия в среднем 2.54% K_2O , что в 1.7 раза больше кларка (1.51%). Большое количество калия в аллювиальной почве отличает ее от буроземов Сахалина.

В аллювиальной почве содержание магния заметно больше кларка и выше, чем в буроземах: 1.78% MgO. В этом специфика аллювия. Содержание кальция, так же как и в буроземах и подзолах, низкое: 0.57% CaO. Как и в буроземах, отношение CaO/MgO гораздо меньше кларкового и составляет всего 0.32.

Так же как и буроземы, аллювиальная почва обеднена стронцием (157 мг/кг) и обогащена барием (619 мг/кг).

Содержание фосфора и серы в минеральных горизонтах. Как и буроземы, аллювиальная почва обеднена фосфором, содержание его в среднем составляет 590 мг/кг, при кларке, равном 800 мг/кг. Содержание серы почти кларковое (860 мг/кг).

Содержание тяжелых металлов в минеральных горизонтах. В аллювиальной почве немного превышено содержание цинка: 91 мг/кг при кларке 70 мг/кг. Но содержание меди небольшое: 28 при кларке 39 мг/кг.

Содержание лантанидов и тория в минеральных горизонтах. В аллювиальной почве содержание этих элементов — на уровне кларка. Отличие от буроземов в том, что в аллювиальной почве распределение иттрия никак не согласуется с профильным распределением легких лантанидов: коэффициент корреляции варьирует от -0.16 для связи Y—La до -0.64 для связи Y—Pr. Очевидно, что тяжелый лантанид (иттрий) входит в состав иных минералов аллювия, чем легкие лантаниды (от лантана до неодима). Вероятно, иттрий входит в состав фосфатов, так как статистическая связь содержания иттрия с фосфором высоко достоверная: $r = 0.83$, чего нельзя сказать о легких лантанидах. Коэффициенты корреляции их с фосфором варьируют от 0.04 для церия до -0.82 для неодима.

В аллювиальной почве статистические связи Mn с лантанидами и торием отрицательные: $r = -0.27$ для лантана, -0.71 для тория. Перемещение марганца не сказывается на профильном распределении лантанидов и тория.

Содержание галогенов в минеральных горизонтах. Содержание хлора в аллювиальной почве несколько завышено: 164 против кларка 100 мг/кг. Содержание брома немного ниже кларка: 8 при кларке 10 мг/кг.

Степень выветрелости аллювиальной почвы. Показатель CIA у аллювиальной почвы 0.89, что значительно больше среднего кларкового значения 0.77. Как видно, чувствительность показателя CIA мала, она не зависит от типа почвообразования. Отношение Rb/Sr для аллювиальной почвы 0.65, индекс выветривания — 0.39.

Состав золы подстилки. Подстилка из продуктов разложения осоко-вейниковой ассоциации на поверхности аллювиальной почвы отличается

высокой зольностью, до 62%. Подстилка сильно обеднена многими элементами. Коэффициенты концентрирования B_x ряда химических элементов очень низкие по сравнению с коэффициентами концентрирования в елово-пихтовых подстилках на буроземах. Особенно слабо накапливается в осоко-вейниковой подстилке: мышьяк $B_{As} = 1.0$, свинец $B_{Pb} = 1.3$, рубидий $B_{Rb} = 1.3$, медь $B_{Cu} = 2.2$, никель $B_{Ni} = 1.6$, магний $B_{Mg} = 1.0$, стронций $B_{Sr} = 1.1$ и барий $B_{Ba} = 1.0$.

Подзолы перегнойные (разр. 5 и 6).

Содержание глинозема и галлия в минеральных горизонтах. Отличительная особенность сахалинских подзолов — высокая обогащенность глиноземом по сравнению с подзолами на песках в среднетаежной подзоне Русской равнины, где всего 1–12% Al_2O_3 [11]. В минеральных горизонтах сахалинских подзолов содержится гораздо больше глинозема: 16.9–19% Al_2O_3 , что обусловлено обогащенностью (гидр)оксидами алюминия материнских морских отложений.

В подзолах содержание Ga составляет 24–29 мг/кг, что почти вдвое больше почвенного кларка (15 мг/кг); это также подтверждает наличие (гидр)оксидов алюминия в почвах.

Содержание железа и марганца в минеральных горизонтах. Сахалинские подзолы, образовавшиеся на морских отложениях, ожелезнены слабо, в них содержится всего 2.46–2.99% Fe_2O_3 , при кларке 5.43%. Степень ожелезненности сахалинских подзолов больше, чем подзолах на песках в Русской равнине (0.2–2.7% Fe_2O_3) [11].

Содержание марганца небольшое 127–136 мг/кг, тогда как в подзолах среднетаежной подзоне Русской равнины его больше (230–460 мг/кг) [11]. Дефицит марганца связан как с обедненностью пород легкого гранулометрического состава, так и активным их выносом из сахалинских подзолов.

Содержание щелочных и щелочноземельных металлов в минеральных горизонтах. Подзолы обогащены барием, унаследованным от морских отложений. Они содержат 713–820 мг/кг Ba при кларке 460 мг/кг. Этим же объясняется обогащенность подзолов стронцием: 392–484 мг/кг при кларке в 267 мг/кг.

В сахалинских подзолах повышено содержание натрия и калия. В подзолах содержится 1.27–1.33% Na_2O , что в 1.4 раза больше кларка. Высока обогащенность сахалинских подзолов и калием — 2.1–2.4% K_2O , тогда как в подзолах в среднетаежной подзоне Русской равнины всего 0.4–2.1% K_2O [11].

В сахалинских подзолах содержание магния на уровне кларка: 0.85–0.96% MgO. При этом содер-

жение кальция очень низкое: 0.37–0.43% СаО, для сравнения в подзолах на песках в среднетаежной подзоне Русской равнины (0.1–1.4% СаО) [11]. Отношение СаО/MgO в 5 раз меньше кларкового (1.84) и составляет всего 0.18–0.38. Это отличительная черта сахалинских подзолов, так как в европейской части России в подзолах отношение СаО/MgO равно 1.0–4.5 [11], то есть на порядок больше, чем у сахалинских подзолов.

Содержание фосфора и серы в минеральных горизонтах. Фосфором сахалинские подзолы обеднены, они содержат 265–437 мг/кг Р, так же как и подзолы на песках в Русской равнине (220–350 мг/кг) [11], при почвенном кларке, равном 800 мг/кг. Содержание серы в сахалинских подзолах примерно такое же (626–743 мг/кг), как и в подзоле на песке в Русской равнине (360–720 мг/кг) [11].

Содержание тяжелых металлов в минеральных горизонтах. Подзолы заметно обеднены некоторыми тяжелыми металлами: Ni, Cu, Zn. В них содержится 12–13 мг/кг Ni при кларке 29 мг/кг, 11–13 мг/кг Cu при кларке 39 мг/кг и 24–39 мг/кг Zn при кларке 70 мг/кг.

Содержание лантанидов и тория в минеральных горизонтах. Подзолы обогащены лантанидами и торием. Содержание лантана составляет 29–39 мг/кг при кларке 27 мг/кг, празеодима – 7.6–10.2 мг/кг при кларке 7 мг/кг и тория – 10.0–11.2 мг/кг при кларке 9.2 мг/кг. Вероятно, это связано с обогащенностью морских отложений цирконом, как носителем лантанидов и тория. Действительно, в подзолах содержание Zr достигает 392–484 мг/кг, превышая кларк 267 мг/кг.

Рассмотрим статистические связи лантанидов и тория с марганцем. Все коэффициенты корреляции положительные, а $r_{(Mn-La)} = 0.51$ для лантана и $r_{(Mn-Ce)} = 0.49$ для церия достигают уровня достоверности $P = 0.90$. Процесс подзолообразования, влияя на перемещение оксидов марганца, как носителя лантанидов и тория.

Содержание галогенов в минеральных горизонтах. Благодаря влиянию подстилающих морских отложений содержание хлора в подзолах в 1.5–2.0 раза превышает кларковое. Содержание брома ниже предела обнаружения (3 мг/кг), и значит меньше кларка – 10 мг/кг.

Степень выветрелости подзолов. Показатель CIA у подзолов 0.91–0.92, он почти такой же, как у сахалинских буроземов (0.92–0.94) и превышает значения, характерные для аллювиальной почвы (0.89), и значительно больше среднего кларкового значения 0.77.

Отношение Rb/Sr у подзолов 0.59–0.64 чуть меньше, чем в аллювиальной почве (0.65) и глееватом буроземе (0.74), но заметно меньше, чем у оподзоленного бурозема (1.07). Такое же положение занимает индекс выветривания подзолов

(0.37–0.39), в то время как в аллювиальной почве он составляет 0.39, в глееватом буроземе 0.43, а в оподзоленном буроземе значительно больше (0.52). Таким образом, в подзолах выветривание выражено слабее, чем в оподзоленном буроземе. Причина – более бедный материал материнских пород супесчаного-песчаного состава по сравнению с суглинками и глинами, на которых образовались буроземы.

В целом показатели на основе содержания Rb и Sr варьируют сильнее, чем критерий CIA и, очевидно, лучше отражают степень выветривания материнских пород и характер почвообразования.

Состав золь подстилок. Подстилка, сформировавшаяся на основе опада лиственницы и кедрового стланика, слабо накапливает многие зольные элементы. Коэффициенты концентрирования ряда химических элементов невысокие по сравнению с таковыми в елово-пихтовых подстилках на буроземах. Особенно слабо накапливается в лиственнично-кедровой подстилке: мышьяк $B_{As} = 1.0$, свинец $B_{Pb} = 1.5$, рубидий $B_{Rb} = 1.2$, магний $B_{Mg} = 1.6$, стронций $B_{Sr} = 1.6$ и барий $B_{Ba} = 1.1$.

ВЫВОДЫ

1. Химический состав буроземов сильно зависит от развития оглеения и оподзоливания. Типичный и глееватый буроземы обогащены глиноземом, что указывает на присутствие свободных (гидр)оксидов алюминия (бокситов). Наличие бокситов подтверждается химическим тестом – повышенным содержанием галлия. В оподзоленном буроземе содержание глинозема понижено, вероятно, из-за неустойчивости (гидр)оксидов алюминия к действию органических лигандов при подзолообразовании.

Буроземы сформировались на бокситоносных породах и заметно ожелезнены, особенно типичный бурозем. Оподзоливание привело к заметному уменьшению ожелезненности бурозема. Типичный бурозем обогащен марганцем, но в буроземах оглеенных и оподзоленных его содержание уменьшается вдвое.

Буроземы очень сильно обеднены кальцием. При этом оглеение и оподзоливание способствуют дальнейшей потере кальция, в оподзоленном буроземе его содержание в 10 раз меньше кларкового. Все сахалинские буроземы обеднены стронцием, особенно, оподзоленный, где содержание Sr более чем вдвое меньше кларка. Другая отличительная черта сахалинских буроземов – дефицит фосфора. Все буроземы обеднены лантанидами, в особенности типичный бурозем.

2. Особенность сахалинских подзолов на морских отложениях – обогащенность глиноземом.

Большое содержание Ga подтверждает наличие бокситов в подзолах. Сахалинские подзолы оже-лезнены слабо в отличие от подзолистых почв на покровных суглинках в европейской России. Гораздо меньше и содержание марганца в сахалинских подзолах. Содержание кальция в подзолах очень низкое. Отношение CaO/MgO в 5 раз меньше кларкового. Спецификой морских отложений объясняется обогащенность подзолов барием, стронцием, натрием и калием.

Сахалинские подзолы обеднены фосфором, никелем, медью и цинком. Подзолы обогащены легкими лантанидами (La, Ce, Pr, Nd), но не тяжелым лантанидом иттрием. Вероятно, это связано с обогащенностью морских отложений цирконом ZrSiO_4 , как носителем лантанидов. Положительные коэффициенты корреляции содержания лантанидов с марганцем свидетельствуют, что процесс подзолообразования, влияя на перемещение оксидов марганца, как носителя лантанидов и тория, определяет профильное распределение этих редкоземельных элементов.

3. В аллювиальной почве присутствуют бокситы, о чем говорит как повышенная концентрация глинозема, так и галлия. Аллювиальная почва заметно обогащена железом и марганцем. Отличительная особенность аллювиальной почвы — высокая обогащенность натрием, калием и магнием. Содержание кальция, так же как и в буроземах и подзолах, низкое. Фосфором аллювиальная почва также обеднена. В аллювиальной почве высокое содержание цинка и низкое — меди. Вероятно, тяжелый лантанид (иттрий) входит в состав иных минералов аллювия, чем легкие лантаниды от лантана до неодима.

4. Известный показатель CIA отражает главным образом влияние увлажненности территории на выветривание минеральной части почв. Большие значения $\text{CIA} = 0.91\text{--}0.94$ характеризуют влажный климат Сахалина. Индекс выветривания $\text{IW} = \text{Rb}/(\text{Rb} + \text{Sr})$ более чувствительный и способен варьировать в широких границах. Индекс выветривания составляет 0.28 у типичного бурозема и достигает 0.52 у оподзоленного бурозема, отражая большую выветрелость. В сахалинских подзолах индекс выветривания $\text{IW} = 0.37\text{--}0.39$.

5. На состав золы подстилок влияет вид произрастающей растительности. Глееватый бурозем сформирован под елово-пихтовым папоротниковым лесом, а типичный и оподзоленный буроземы — под лиственничниками разнотравными. Зола лесных подстилок накапливает такие биофильные элементы, как магний и особенно кальций. Елово-пихтовая подстилка сильнее обо-

гащена Mg, Ca, Mn, S и Zn, чем лиственничная подстилка. Подстилка в лиственнично-кедрово-стланиковом лесу на подзолах слабо накапливает многие зольные элементы: Mn, Pb, Ca, P, S, Ba.

Высокозольная подстилка осоко-вейниковой ассоциации на поверхности аллювиальной почвы сильно обеднена многими элементами: Cu, Zn, Pb, Ca, P, S, Ba, Sr.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водяницкий Ю.Н.* Геохимическое фракционирование лантанидов в почвах и горных породах (обзор литературы) // Почвоведение. 2012. № 1. С. 69–81.
2. *Добровольский Г.В., Урушевская И.С.* География почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 460 с.
3. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. М.: Недра–Экология, 1994–1997. Т. 1–6.
4. *Ивлев А.М.* Выветривание и почвообразование в условиях Сахалина // Избр. тр. Владивосток, 2005. С. 123–129.
5. *Ивлев А.М.* Закономерности в размещении почвенного покрова на Сахалине // Избр. тр. Владивосток, 2005. С. 96–108.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. *Лесовая С.Н.* Генезис и география почв на красноватых породах европейской территории России. Автореф. ... докт. геогр. н. СПб., 2006. 34 с.
8. *Манахов Д.В., Егорова З.Н.* Формы нахождения радия-226 в подзолах северо-востока острова Сахалин в зоне влияния нефтедобывающего предприятия // Почвоведение. 2014. № 6. С. 744–749. DOI: 10.7868/S0032180X14040054.
9. *Переломов Л.В.* Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв // Агрохимия. 2007. № 11. С. 85–96.
10. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
11. Подзолистые почвы северо-запада европейской части СССР / Отв. ред. Н.А. Ногина, А.А. Роде, Е.Н. Руднева. М.: Колос, 1979. 255 с.
12. *Chen J., An Z.C., Head J.* Variation of Rb/Sr ratios in the loss-paleosol sequence of central China during the last 130000 years and their implication for monsoon paleoclimatology // Quarter. Res. 1999. V. 51. P. 215–219.
13. *Kabata-Pendias A.* Trace elements in soils and plants. CRC Press, 2011. 505 p.
14. *Nordt L.C., Driese S.D.* New weathering index improves paleorainfall estimates from Vertisols // Geology. 2010. V. 38. P. 407–410. DOI: 10.1130/G30689.1.
15. *Savichev A.T., Vodyanitskii Yu.N.* Determination of barium, lanthanum and cerium contents in soils by the X-ray radiometric method // Eurasian Soil Science. 2009. V. 42. № 13. P. 1461–1469.
16. *Tyler G.* Vertical distribution of major, minor, and rare elements in Haplic Podzol // Geoderma. 2004. V. 119. P. 277–290.