

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИОГЕННЫХ И АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ ГОРНОЙ ТАЙГИ СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

© 2021 г. Ю. Н. Краснощеков*

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036 Россия*

**e-mail: kyn47@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.02.2020 г.

После доработки 21.03.2020 г.

Принята к публикации 24.04.2020 г.

Рассмотрены геохимические особенности криогенных (Folic Protic Leptic Cryosols, Histic Protic Leptic Cryosols) и альфегумусовых (Folic Leptic Entic Podzols, Histic Leptic Entic Podzols) почв, широко распространенных в почвенном покрове таежных лесов в горных сооружениях Хэнтэя, Прихубсугуля и Хангая. Приведены данные по микроэлементному составу почвообразующих пород. Коэффициенты рассеяния большинства изучаемых микроэлементов в почвообразующих породах больше единицы, что свидетельствует о преобладании процессов их выноса. Установлены различия в концентрации микроэлементов в зависимости от гранулометрического состава почвообразующих пород. Обсуждены данные по морфологическому строению почв, их физико-химическим и химическим свойствам, а также по содержанию микроэлементов и их внутрипрофильному распределению. Показано, что изученные почвы отличаются не только абсолютными значениями содержания микроэлементов, участвующих в биологическом круговороте, но также интенсивностью их вовлечения в биогенную миграцию. Интенсивная биогенная миграция элементов обуславливает их аккумуляцию в органогенных и грубогумусовых горизонтах почв и аккумулятивное перераспределение по почвенным профилям в рассматриваемых высотно-поясных комплексах типов леса. В отличие от криоземов, органогенные и грубогумусовые горизонты в подбурях характеризуются меньшим накоплением микроэлементов. Отмечено, что в срединном горизонте ВНФ подбуров концентрация Рb, Сг, Мо и В выше единицы. Альфегумусовые горизонты рассматриваемых почв могут являться хемосорбционным барьером для некоторых элементов, относящихся как к группе биофилов, так и к группе железа.

Ключевые слова: высотно-поясные комплексы типов леса, физико-химические свойства почв, коэффициенты концентрации, коэффициенты рассеяния микроэлементов

DOI: 10.31857/S0032180X21010068

ВВЕДЕНИЕ

В Северной Монголии криогенные и альфегумусовые почвы образуют основной фон почвенного покрова в подгольцово-таежном (в кедрово-лиственничных и лиственничных лесах и редколесьях), а также в таежном (лиственничном и кедровом) высотно-поясных комплексах (ВПК) типов леса. Эти высотно-поясные комплексы типов леса располагаются в пределах сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых горных пород.

Как и в других горных странах, наличие четко выраженной вертикальной поясности лесной растительности и закономерности ее распределения, в горах Северной Монголии обусловлены резкой дифференциацией режима тепла и влаги в условиях континентального суббореального климата, определяющих состав эдификаторов, по-

тенциальную производительность древостоев и оказывающих значительное влияние на процессы выветривания и почвообразования.

Имеющиеся сведения о содержании микроэлементов в широко распространенных горных породах Северной Монголии [2, 8] еще не дают представления о современном геохимическом состоянии основных типов почв региона. Аналитические материалы, полученные в ходе решения различных задач, в том числе при изучении загрязнения почв в промышленных городах Монголии [3, 15] отличаются спецификой методических подходов и охватывают в основном степные и аллювиальные почвы.

Ковда [17] отмечал своеобразие баланса почвообразования в горах. Характерная его особенность заключается в формировании отрицательного баланса вещества. В наибольшей степени это прояв-

ляется в высокогорных поясах, для которых характерно большое разнообразие форм рельефа, его расчлененность и значительные перепады высот.

Почвенно-геохимические исследования в горных сооружениях позволяют установить особенности поведения химических элементов и выявить провинциальные особенности почвенного покрова в границах выделенных растительных поясов [7, 9, 11, 13, 20, 31, 33, 35].

В литературе по почвам Монголии отмечается значительное распространение в почвенном покрове лесных ландшафтов криогенных (мерзлотно-таежных) и отсутствие альфегумусовых почв [12, 27]. Впервые альфегумусовые почвы были выделены Мартыновым с соавт. [23] в Прихубсугулье. В последние годы, особенно при составлении почвенных карт, авторы выделяют ареалы альфегумусовых почв в Прихубсугулье и в Хэнтэйском нагорье [1, 20, 29, 37].

Многолетние лесотипологические, почвенно-географические и стационарные исследования, проводимые лесным отрядом Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АН Монголии, позволили изучить некоторые геохимические особенности почв в подгольцово-таежных, горно-таежных лиственничных и кедровых лесах в Хэнтэйском и Хангайском нагорьях и в Прихубсугулье.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Большое разнообразие ороклиматических и литолого-геоморфологических условий региона определяет многообразие вертикально-поясных смен растительности и почв. Конкретизацией поясных подразделений ландшафтно-климатических систем среднего ранга в пределах горно-таежного пояса является ВПК типов леса, объединяющий типы леса в систему экогенетических рядов и отражающий специфические зонально-провинциальные и высотные особенности климата и почв [24]. В пределах Монголии выделены следующие лесорастительные пояса и соответствующие им ВПК — подгольцово-таежных лиственничных и кедровых лесов и редколесий, горно-таежных лиственничных и кедровых лесов, псевдотаежных лиственничных лесов, подтаежных и подтаежно-лесостепных лиственничных и сосновых лесов [18, 32, 34].

На склонах разной крутизны и экспозиции, в коренных и производных древостоях заложено около 200 почвенных разрезов, в том числе в ВПК подгольцово-таежных, горно-таежных лиственничных и кедровых лесов — около 30. Лабораторно-аналитическая часть работы выполнена общепринятыми методами [4, 5]. Валовое содержание микроэлементов определено спектральным методом. Рассчитаны коэффициенты концентра-

ции (КК), рассеяния (КР) и радиальной дифференциации ($K_{рд}$) микроэлементов [25]. Названия почв даны по “Классификации и диагностике почв России” [16] и международной классификации WRB [36]. Для статистической обработки данных использовали компьютерные программы Excel 2013 и Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геохимические особенности почвообразующих пород в лесном поясе гор Северной Монголии. Исследованиями в ряде горных сооружений Евразии показано, что наличие высотных ландшафтных поясов обусловлено и геохимическими факторами, определяющими поведение элементов в различных окислительно-восстановительных, щелочно-кислотных и других обстановках [10, 22, 25, 38–41].

Источником поступления микроэлементов в почвы, как известно, служат горные породы, на продуктах выветривания которых формируется почвенный покров. Их вещественный состав в горных условиях зависит от соотношения местного и принесенного материала. В одном случае это мало мощные рыхлые остаточные (элювиальные) и перетолженные (элювиально-делювиальные и делювиальные) коры выветривания, сформированные на плотных кристаллических породах, преимущественно кислых магматических (граниты) или карбонатных (известняки, доломиты), в другом — плотные кристаллические породы перекрыты мощным щебенисто-супесчаным или щебенисто-песчано-суглинистым плащом, не связанным генетически с подстилающими коренными горными породами. Это обстоятельство отмечено в работах Польшова [26], Фридланда [30]. Верхний горизонт перечисленных кор выветривания является тем субстратом, на котором развиваются современные почвы.

Следует отметить, что в Северной Монголии нередко обломки горных пород покрыты корочками углекислого кальция. Эти окарибонатенные горные породы Польшов [26] называл “обызвесткованным” ортоэлювием. Для образования таких форм карбонатов кальция, как считал Б.Б. Польшов, не обходим кальций, освобождающийся при выветривании горной породы и углекислый газ, циркулирующий в среде продуктов выветривания. Кроме этого, происхождение некоторой части карбонатов кальция объясняется минерализацией органического вещества. Наличие карбонатных корочек на обломках плотных кристаллических пород разного минералогического и петрографического состава — результат осаждения карбоната кальция в условиях нейтральной реакции почвенного раствора.

Гранулометрический состав почвообразующих пород различен. В зависимости от степени выветре-

лости содержание щебня колеблется от 15 до 80%. В отложениях приводораздельных и верхних частей склонов преобладают фракции песка и крупной пыли. Отложения средних и нижних частей склонов отличаются повышенным содержанием физической глины, содержание которой достигает 32–50%. Такое утяжеление гранулометрического состава связано с тем, что в процессе переотложения обломков коренных пород происходит их разрушение и измельчение. Подобная дифференциация тонких фракций мелкозема может быть обусловлена их вымыванием поверхностным стоком, в том числе надмерзлотным весенним, с верхних частей склонов.

По химическим свойствам почвообразующие породы гор Северной Монголии значительно отличаются друг от друга. Реакция среды колеблется от кислой до щелочной. Содержание обменных катионов варьирует от 3.5 – в отложениях остаточной коры выветривания гранитов, до 28.0–32.0 смоль(экв)/кг – в отложениях коры выветривания известняков и доломитов. Различен и валовой химический состав – содержание кремнезема, R_2O_3 и щелочных металлов [20].

Парагенетическая ассоциация микроэлементов в исследуемых почвообразующих породах представлена Pb, Cu, Zn, Co, V, Cr, Ni, Mn, Mo, Ba, Sr, Zr и В. Ее состав отражает региональные геолого-геохимические особенности территории, связанные с широким развитием здесь кислых магматических интрузий, а также карбонатных осадочных пород.

Получены данные по микроэлементному составу рыхлых остаточных и переотложенных кор выветривания, сформированных на вершинах и склонах гор по ВПК типов леса (табл. 1). Так, для остаточных и переотложенных кор выветривания магматических пород в подгольцово-таежном, горно-таежном лиственничном и кедровом, псевдотаежном лиственничном ВПК типов леса характерно повышенное содержание Cr и В, для аналогичных отложений подтаежного и подтаежно-лесостепного ВПК – Cr, В, V и Mo, для остаточных и переотложенных кор выветривания карбонатных пород псевдотаежного ВПК – В, а для подтаежного и подтаежно-лесостепного ВПК – В, V, Pb, Zn, Sr и Cu.

Особенности микроэлементного состава рыхлых покровных отложений различных лесорастительных поясов прослеживаются по величине коэффициента рассеяния химических элементов (рис. 1).

Наиболее высокие коэффициенты рассеяния (отношение кларка элемента в литосфере к его содержанию в данной породе) характерны для Mn, Co, Ni и Sr. Однако следует отметить, что, судя по коэффициентам рассеяния, наблюдается тенденция к сужению их значений от подгольцово-таежного (Mn – 3.80; Co – 3.67; Ni – 4.39; Sr –

3.20) к расположенным ниже подтаежному и подтаежно-лесостепному ВПК (Mn – 2.26; Co – 1.26; Ni – 1.04; Sr – 1.59). Такая же тенденция отмечена и для кор выветривания карбонатных пород для Mn, Co и Ni: от псевдотаежного (Mn – 3.37; Co – 2.64; Ni – 3.51) к подтаежному и подтаежно-лесостепному ВПК (Mn – 2.22; Co – 1.42; Ni – 2.43).

Отчетливо прослеживается изменение величины соотношения характерных “геохимических пар” [6] отложений в различных лесорастительных поясах. Так, величина отношения Sr : Zr для остаточных и переотложенных кор выветривания магматических пород увеличивается от 0.82 в подгольцово-таежном, до 1.65 – в подтаежном и подтаежно-лесостепном ВПК. Для остаточных и переотложенных кор выветривания карбонатных пород величина отношения Sr : Zr в псевдотаежном лиственничном ВПК равна 1.23, а в подтаежном и подтаежно-лесостепном – 3.56.

Величина отношения Sr : Ba для остаточных и переотложенных кор выветривания магматических пород во всех ВПК типов леса меньше единицы, что характерно для гумидных и субгумидных условий. В карбонатных отложениях наблюдается увеличение содержания Sr, который изоморфно замещает кальций в кристаллической структуре минералов. Причем в отложениях подтаежного и подтаежно-лесостепного ВПК отношение Sr : Ba равно единице. Это, по-видимому, связано с тем, что основное количество почвенных разрезов приурочено к отложениям доломитовых пород, характеризующихся повышенным содержанием стронция, осажденного в процессе галогенного осадконакопления [6].

Существенны различия в концентрации микроэлементов между почвообразующими породами легкого и тяжелого гранулометрического состава (рис. 2).

По сравнению со средним содержанием в литосфере остаточные и переотложенные коры выветривания магматических пород тяжелого гранулометрического состава обогащены В, Cr, V, Mo, Zn, Cu и Pb, в то же время в них меньше Co, Ni, Ba, Sr, Zr и Mn.

Для большинства микроэлементов в почвообразующих породах остаточных и переотложенных кор выветривания магматических пород легкого гранулометрического состава характерно сильное рассеяние по сравнению с кларком литосферы. Только коэффициент рассеяния В и Cr указывает на преобладание процессов их накопления. Отмечены значительные различия в концентрации микроэлементов в остаточных и переотложенных корах выветривания карбонатных пород в зависимости от их гранулометрического состава. В целом для большинства микроэлементов карбонатных почвообразующих пород характерно сильное рассеяние. Однако для В и Zn – в

Таблица 1. Изменчивость содержания микроэлементов в почвообразующих породах разных ВПК типов леса

Почвообразующая порода – остаточные и переоглощенные коры выветривания	Pb	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni	Mn	Mo	Ba	Sr	Zr	B
Подольцово-гаежный лиственный, реже кедровый ВПК типов леса													
Магматических пород (n = 8)	5–20	30–50	30–100	1–8	30–200	60–400	6–30	100–500	1–1.5	200–500	100–150	60–400	8–30
<i>lim</i>	12.5 ± 1.9	37.5 ± 2.5	71.2 ± 8.3	4.9 ± 0.91	73.7 ± 19.9	137.5 ± 39.5	13.2 ± 2.6	262.5 ± 49.8	1.06 ± 0.06	337.5 ± 37.5	106.2 ± 6.2	130.0 ± 38.9	18.5 ± 3.0
<i>Kv</i>	42.4	18.9	33.1	53.1	76.7	81.2	55.3	53.6	16.0	31.4	16.7	84.7	47.0
Горно-гаежный лиственный и кедровый ВПК типов леса													
Магматических пород (n = 6)	5–20	30–50	60–100	1–20	30–200	60–400	6–30	100–500	1–1.5	200–500	80–100	60–100	8–30
<i>lim</i>	12.5 ± 2.5	38.3 ± 3.1	76.7 ± 8.0	7.1 ± 2.7	78.3 ± 26.5	145.0 ± 52.7	13.5 ± 3.5	283.3 ± 60.0	1.08 ± 0.08	316.7 ± 40.1	93.3 ± 4.2	90.0 ± 6.8	18.0 ± 4.2
<i>Kv</i>	48.8	19.6	25.5	64.4	82.9	89.1	62.9	51.9	18.5	31.0	11.0	18.6	56.1
Псевдогаежный лиственный ВПК типов леса													
Магматических пород (n = 8)	10–20	30–40	52–100	2–15	60–100	50–200	10–20	200–500	0.9–1.5	250–300	85–100	57.5–150	20–30
<i>lim</i>	15.6 ± 1.7	36.2 ± 1.7	77.1 ± 8.9	6.8 ± 2.1	78.3 ± 5.8	116.6 ± 22.0	14.1 ± 1.4	314.5 ± 44.0	1.08 ± 0.08	283.3 ± 10.5	96.7 ± 2.4	89.9 ± 15.3	22.4 ± 1.6
<i>Kv</i>	27.5	12.1	28.4	76.5	18.2	46.3	24.1	34.3	18.5	9.1	6.2	41.7	16.9
Карбонатных пород (n = 6)	10–15	30–40	60–80	2–10	60–100	20–200	10–20	287–300	1–1.1	300–400	100–150	80–100	20–30
<i>lim</i>	12.1 ± 1.3	37.5 ± 2.5	73.7 ± 4.7	6.8 ± 1.7	81.2 ± 8.3	83.1 ± 31.3	16.5 ± 2.3	296.7 ± 3.2	1.02 ± 0.02	368.7 ± 23.7	115.5 ± 11.8	93.7 ± 4.7	23.7 ± 2.4
<i>Kv</i>	21.5	13.3	12.7	50.0	20.3	75.3	28.5	2.2	4.9	12.8	20.5	10.1	19.8
Подгаежный и подгаежно-лесостепной лиственный и сосновый ВПК типов леса													
Магматических пород (n = 7)	13–20	40–60	80–100	10–20	80–100	150–300	20–100	200–800	1–1.5	200–400	100–300	80–150	10–30
<i>lim</i>	15.4 ± 0.8	45.7 ± 2.9	95.7 ± 3.0	14.3 ± 1.7	94.3 ± 3.7	185.7 ± 21.0	55.7 ± 13.6	442.8 ± 78.2	1.14 ± 0.09	300.0 ± 37.8	214.2 ± 32.2	130.0 ± 12.9	15.0 ± 2.9
<i>Kv</i>	13.6	17.1	8.1	31.5	10.3	29.9	64.4	46.7	17.5	33.3	39.8	26.2	50.7
Карбонатных пород (n = 6)	15–30	40–80	100–112	10–15	100–150	90–100	15–30	400–600	1–1.12	300–500	300–500	100–150	15–30
<i>lim</i>	23.6 ± 2.9	52.4 ± 7.3	102.4 ± 2.4	12.6 ± 1.1	137.4 ± 9.6	98.0 ± 2.0	23.8 ± 2.9	450.0 ± 38.7	1.02 ± 0.02	400.0 ± 44.7	400.0 ± 31.6	112.4 ± 9.7	21.2 ± 2.4
<i>Kv</i>	27.5	31.1	5.3	19.8	15.7	4.5	26.9	19.2	4.9	25.0	17.7	19.2	25.5

Примечание. *lim* – пределы изменчивости; *M* – среднее арифметическое, мг/кг; ±*m* – ошибка среднего; *Kv* – коэффициент вариации, %; *n* – число данных в выборке.

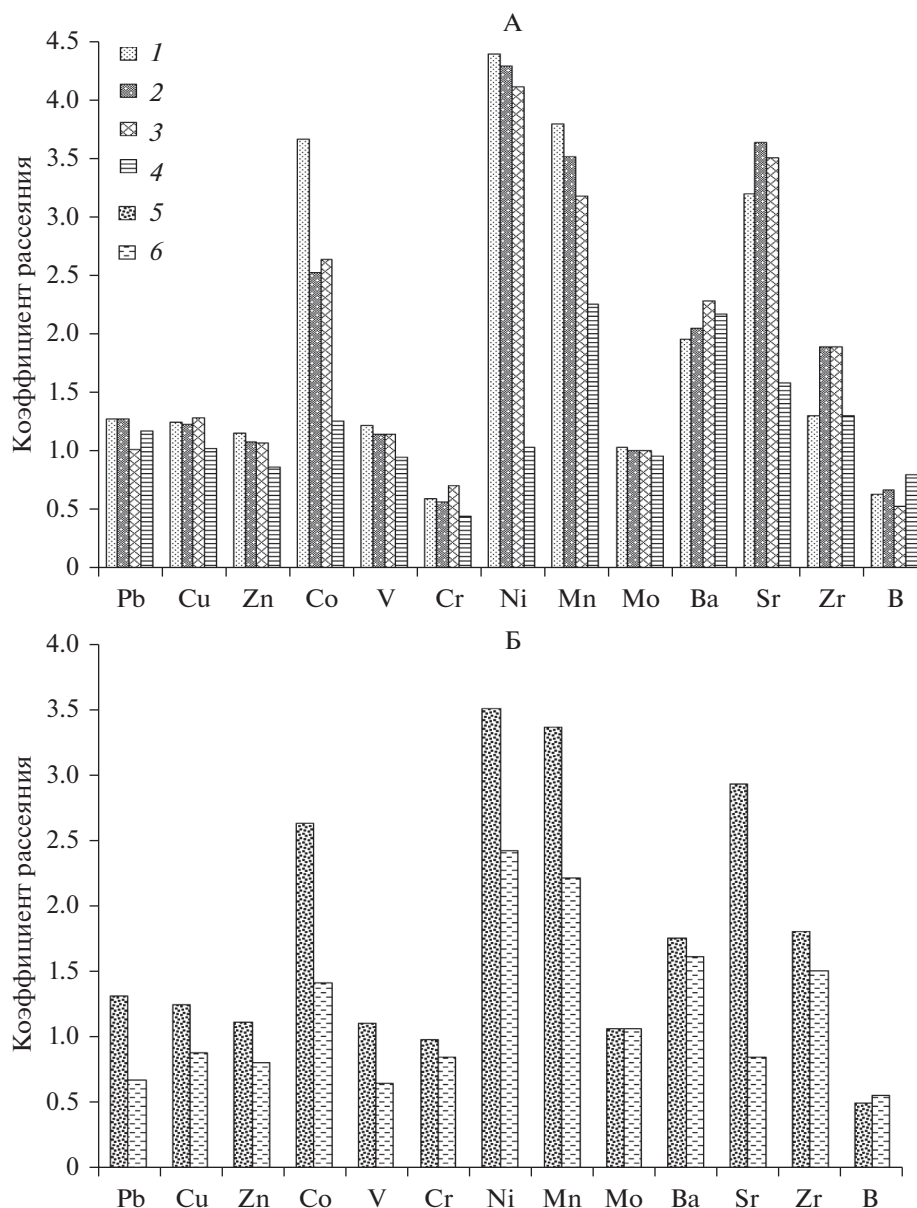


Рис. 1. Коэффициенты рассеяния микроэлементов в почвообразующих породах: А – остаточные и переотложенные коры выветривания магматических пород – классы ВПК: 1 – подгольцово-таежный лиственничный, резе кедровый; 2 – горно-таежный кедровый и лиственничный; 3 – псевдотаежный лиственничный; 4 – подтаежный и подтаежно-лесостепной сосновый и лиственничный; Б – остаточные и переотложенные коры выветривания карбонатных пород: 5 – псевдотаежный лиственничный; 6 – подтаежный и подтаежно-лесостепной сосновый и лиственничный.

породах тяжелого гранулометрического состава, В – в породах легкого гранулометрического состава отмечается более высокая концентрация по сравнению со средним содержанием в литосфере.

Наиболее часто встречаемые коэффициенты вариации концентрации микроэлементов в рассматриваемых почвообразующих породах равны 11–30% (табл. 1). Резко отличаются от этих показателей коэффициенты вариации для Co, Mn и Sr в остаточных и переотложенных корях выветривания магматических пород (45–80%), что можно объяснить неоднородностью гранулометриче-

ского состава и присутствием большого количества обломочного материала в мелкоземе, содержащем эти элементы.

Криогенные почвы (Folic Protic Leptic Cryosols, Histic Protic Leptic Cryosols) в горных сооружениях Северной Монголии образуют основной фон в структуре почвенного покрова подгольцово-таежного и горно-таежного лиственничного ВПК типов леса.

Природные условия формирования криогенных почв очень суровы и характеризуются отрицательной среднегодовой температурой воздуха

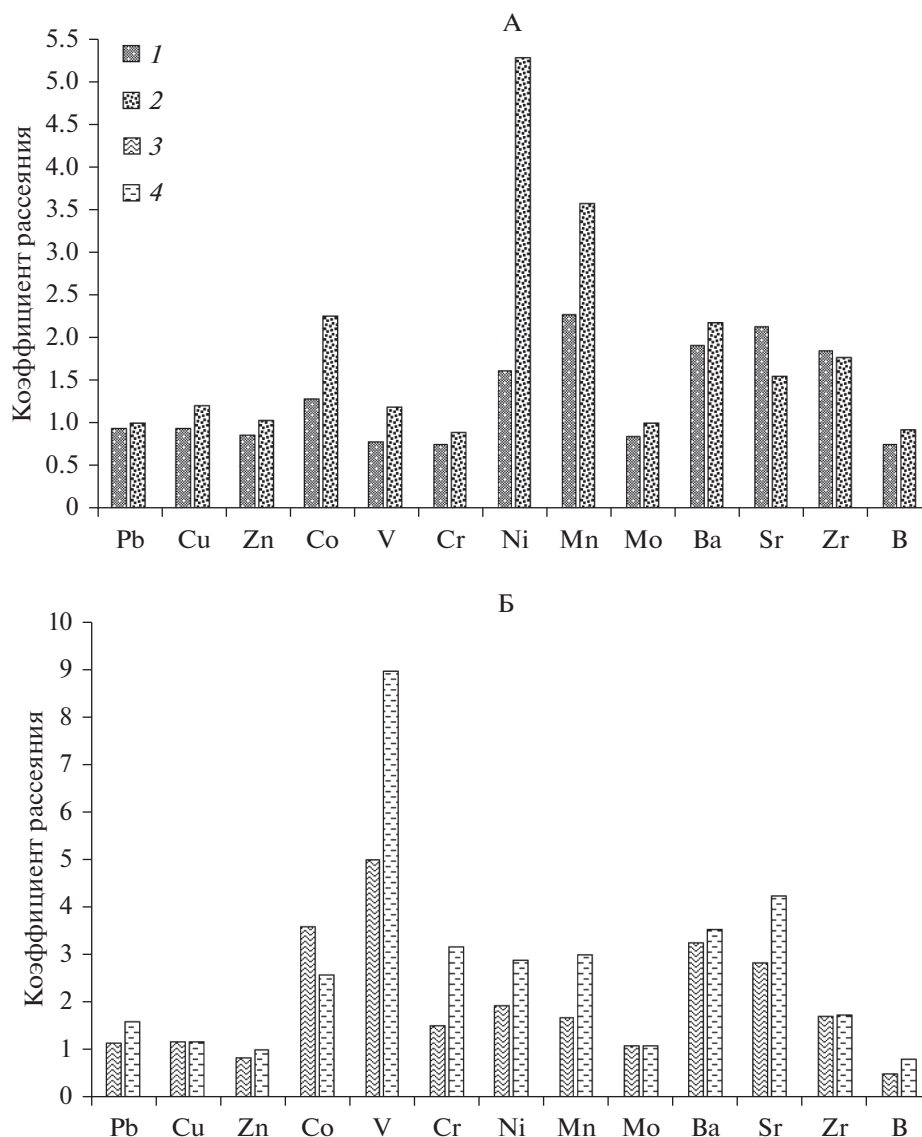


Рис. 2. Коэффициенты рассеяния микроэлементов в остаточных и переотложенных корках выветривания магматических (А) и карбонатных (Б) пород тяжелого (1, 3) и легкого (2, 4) гранулометрического состава.

($-1.9...-7.8^{\circ}\text{C}$), коротким безморозным периодом (69–84 сут), невысокой суммой биологически активных температур воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ (900–1300 $^{\circ}\text{C}$), малоснежной зимой (мощность снежного покрова 5–30 см), засушливыми весной и началом лета, резко выраженным максимумом выпадения осадков в летний период (75–85% от годовой суммы) при средней многолетней их норме 400–550 мм. Все это в совокупности с широким распространением многолетней мерзлоты, которая ежегодно смыкается с сезоннопромерзающей толщей, определяет специфику проявления элементарных почвообразовательных процессов, температурного и водного режимов, физических и водно-физических показателей почв.

Криогенные почвы развиваются под разными типами леса. Так, в подгольцовых лесах и редко-

лесьях в Прихубсугулье, Хэнтэе и Центральном Хангае под низкобонитетными ерниковыми, вейниково-зеленомошными, кобрезиевыми, лишайниковыми и лишайниково-моховыми кедровыми и лиственничными типами леса (абс. отм. 1900–2600 м) в почвенном покрове доминируют криоземы грубогумусированные (O-Oao-CR-C). Под кустарничково-аулакомниевыми, кустарничково-моховыми типами леса формируются криоземы грубогумусовые (O-AO-CR-C) и перегнойно-торфяные (O-Th-CR-C). В пониженных элементах микрорельефа и западинах распространены торфяно-криоземы криогомогенные (O-T-CRocr-C) и криоземы грубогумусовые глееватые (O-AO-CRg-Cg). Сезонное оттаивание мерзлоты в почвах в зависимости от проективного покрытия живого напоч-

венного покрова и геоморфологических условий варьирует от 30 до 50 см [19].

В таежном лиственничном, реже в кедровом ВПК (абс. отм. 1500–2000 м) под багульниково-зеленомошными, кустарничково-моховыми типами леса формируются криоземы грубогумусированные, в пониженных элементах микрорельефа и западинах – криоземы грубогумусовые и криоземы грубогумусовые глееватые. Сезонное оттаивание мерзлоты в почвах, в зависимости от полноты насаждений, проективного покрытия живого напочвенного покрова и геоморфологических условий варьирует от 30 до 90 см. В нижней части лиственничного таежного пояса под травяной тайгой (абс. отм. 1200–1600 м) – лиственничниками бруснично-разнотравно-зеленомошными, разнотравно-вейниковыми, бруснично-разнотравными, основной фон в почвенном покрове образуют криоземы перегнойные, имеющие профиль типа О-Н-СR-С и криоземы грубогумусовые перегнойные – О-АОн-СR-С. Мощность сезонно-талого слоя изменяется от 70 до 150 см [19].

Таким образом, несмотря на развитие в разных типах леса, почвы имеют сходный генетический тип профиля: наличие относительно мощных органогенных горизонтов разной степени минерализации органических остатков, малую мощность и щебнистость минеральных горизонтов, наличие ясно выраженной криогенной слоеватой структуры, присутствие в почвенном профиле льдистой мерзлоты. Специфическими признаками рассматриваемых почв являются криотурбации и тиксотропность надмерзлотных горизонтов.

По гранулометрическому составу почвы относятся к хрящевато-легко- и тяжелосуглинистым разновидностям (табл. 2). В составе мелкозема преобладают фракции крупной пыли и мелкого песка.

Почвы характеризуются высоким содержанием органического вещества в органогенных и грубогумусовых горизонтах, величина потери при прокаливании составляет 55–93%. Верхние органо-минеральные и минеральные горизонты почв содержат 2.5–5.7% органического углерода. Наблюдается аккумулятивное его перераспределение по почвенному профилю и относительно невысокое содержание в нижних надмерзлотных горизонтах.

Характерна кислая реакция по всему профилю. Наибольшей кислотностью отличаются органогенные горизонты. Содержание обменных катионов достигает относительно высоких значений в органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтах. Среди обменных катионов преобладает кальций, затем следует магний или водород. Наибольшие величины гидролитической кислотности характерны для органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтов. Эти же горизонты

отличаются и ненасыщенностью почвенного поглощающего комплекса основаниями.

Валовой химический состав не выявил четкой дифференциации по профилю R_2O_3 . Наблюдается либо относительно равномерное распределение, либо некоторое увеличение их содержания в верхней части почвенного профиля.

Содержание и поведение микроэлементов в почве контролируются многими факторами: это гранулометрический и минералогический составы твердой фазы, направление и глубина процесса почвообразования, окислительно-восстановительные условия и др. [6, 9, 13, 14, 21]. Определенное влияние на поведение микроэлементов в почвенном профиле оказывает и криогенез.

Для криоземов (грубогумусированных и грубогумусовых перегнойных) характерна большая вариабельность и неоднородность микроэлементного состава в почвенном профиле (табл. 3). Так, в органогенных горизонтах высокие коэффициенты вариации (более 40%) характерны для Co, Mn, Zn, Mo, Pb и В, в грубогумусных горизонтах – для Ba и Рb. Это связано с разной степенью минерализации и гумификации органического вещества. В минеральных надмерзлотных горизонтах высокие коэффициенты вариации характерны для Cr, V, Co, Ni и Mn, что объясняется также и наличием здесь включений обломков горных пород разной степени выветрелости и разного минералогического и петрографического состава.

Приведенные в табл. 4 коэффициенты радиальной дифференциации показывают, что для почвенных профилей криоземов характерно аккумулятивное распределение большинства микроэлементов. Верхние органогенные и грубогумусовые горизонты обогащены целым рядом микроэлементов. Высокие коэффициенты радиальной дифференциации ($K_{рд} = 15.45–7.50$) характерны для верхних органогенных горизонтов почв для Mn, В, Sr, Ba, то есть элементов интенсивного биологического поглощения, извлеченных корнями растений из почвообразующих пород и нижних минеральных почвенных горизонтов, и их концентрацией в подстилке вместе с опадом, хвоей и листьями. Меньше ($K_{рд} = 1.55–2.39$) в органогенных горизонтах аккумулируются Pb, Cu, Zn, Ni, Zr и Mo. Органогенные горизонты криоземов обеднены ($K_{рд} = 0.30–0.79$) Co, V и Cr. Относительно низкое содержание Co, V, Cr связано, по-видимому, с тем, что в кислых условиях среды горизонтов О и АО они очень подвижны, интенсивно выносятся и осаждаются в условиях либо нижних надмерзлотных минеральных горизонтах, либо выносятся по мерзлотному экрану в нижние части склонов.

Внутрипрофильная дифференциация элементов зависит прежде всего от генезиса почвы, строения генетического профиля, собственно свойств

Таблица 2. Некоторые химические и физико-химические свойства криогенных почв

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер частиц, мм		pH водн.	С _{орг} , %	Обменные катионы			Hr	V, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	
		<0.001	<0.01			Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺											
		смоль(экв)/кг																	
Разрез 6-83. Криозем грубогумусовый хрящевато-легкосуглинистый.																			
Лиственничник рододендроновый бруснично-моховый, 1650 м над ур. моря (Восточный Хэнгэй)																			
O	0-3	-	-	5.5	84.0*	30.0	17.0	14.8	34.9	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AO	3-11	-	-	5.3	55.6*	25.3	16.6	16.4	36.2	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR	20-30	18	28	5.4	2.5	15.7	4.4	0.8	7.6	73	67.06	11.38	5.90	6.21	6.21	10.09	30.27	7.57	7.57
CR	40-50	11	13	6.0	0.8	3.2	0.9	0.6	4.7	47	67.29	12.10	5.36	5.11	5.11	9.49	33.93	7.42	7.42
C	80-90	9	11	6.2	0.2	2.2	0.6	0.5	3.3	46	69.94	11.22	4.60	4.28	4.28	10.54	40.00	8.34	8.34
Разрез 905. Криозем грубогумусовый перегнойный хрящевато-среднесуглинистый.																			
Лиственничник травяно-зеленомошный, 1350 м над ур. моря (Джидинский хр.)																			
O	0-2	-	-	5.9	87.2*	26.0	10.9	3.9	24.2	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AOh	2-17	13	35	5.0	4.9	12.2	5.7	4.4	14.8	55	62.40	17.87	4.75	5.80	5.80	5.94	34.67	5.07	5.07
CR	20-30	11	33	5.7	0.9	5.8	2.3	1.4	5.6	59	64.48	17.31	5.89	3.39	3.39	6.33	28.91	5.19	5.19
CR	30-40	9	23	5.7	0.3	5.3	2.1	0.6	3.4	70	66.38	17.21	4.68	3.07	3.07	6.61	38.27	5.63	5.63
C	65-75	4	12	5.9	0.2	4.2	2.1	0.6	2.1	75	68.20	17.80	3.70	2.44	2.44	6.55	49.56	5.78	5.78
Разрез 903. Криозем перегнойный хрящевато-тяжелосуглинистый.																			
Лиственничник бруснично-травяно-зеленомошный, 1340 м над ур. моря (хр. Бутэлийн-Нуру, Восточное Прихубсугулье)																			
O	0-3	-	-	5.3	93.5*	31.9	9.5	4.7	28.9	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	3-17	-	-	4.9	39.6*	21.2	11.6	10.7	27.0	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR	20-30	17	41	5.2	3.2	9.0	3.1	5.7	14.0	46	61.44	19.22	8.24	3.07	3.07	5.44	19.69	4.27	4.27
C	40-50	18	34	5.4	0.5	8.1	3.0	1.6	5.5	67	66.24	17.09	7.14	2.92	2.92	6.61	25.09	5.23	5.23
Разрез 773. Торфяно-криозем криогомогенный хрящевато-легкосуглинистый.																			
Лиственничник с кедром кустарничково-моховый, 2050 м над ур. моря (хр. Тарбагай, Центральный Хангай)																			
O	0-5	-	-	5.6	85.0*	31.5	17.0	2.9	42.9	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	5-15	-	-	4.8	75.0*	18.5	4.0	3.6	57.3	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CRocг	19-29	11	30	5.2	5.7	14.0	6.0	2.4	13.9	59	69.54	15.73	6.30	1.58	1.09	7.52	29.72	6.00	6.00
CR	30-40	15	27	6.0	1.2	10.5	4.5	0.3	5.1	75	68.74	15.69	6.25	1.60	1.36	7.47	29.48	5.95	5.95
C	60-70	27	40	6.6	1.0	6.5	3.5	0.1	1.9	84	68.37	16.43	6.08	1.09	0.93	7.07	29.97	5.72	5.72
Разрез 205. Криозем грубогумусовый глееватый хрящевато-тяжелосуглинистый.																			
Лиственничник овсянищево-аулакомниевый, 2240 м над ур. моря (хр. Тарбагай, Центральный Хангай)																			
O	0-5	-	-	5.4	78.8*	29.0	8.6	3.2	28.1	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AO	6-20	-	-	5.8	66.7*	42.6	10.5	4.4	25.6	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CRg	25-36	22	46	5.3	1.3	14.0	2.0	2.7	12.7	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cg	36-55	23	39	5.2	0.9	10.1	1.7	1.3	4.7	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Потеря при прокаливании, %.

Примечание. Здесь и далее: прочерк — не определяли, Hr — гидролитическая кислотность; V — степень насыщенности основаниями.

Таблица 3. Изменчивость содержания микроэлементов в лесных почвах

Горизонт	Статистический параметр	Pb	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni	Mn	Mo	Ba	Sr	Zr	B
Криоземы (n = 6)														
O	lim	30-60	60-80	80-300	2-15	80-100	50-60	20-40	3000-10000	1-3	1800-2200	800-1000	100-200	220-600
	M ± m	40.0 ± 10.0	73.3 ± 6.7	176.7 ± 64.9	9.0 ± 3.7	86.7 ± 6.7	56.6 ± 3.3	30.0 ± 5.8	5666.7 ± 2185.8	1.8 ± 0.6	2000.0 ± 115.5	933.3 ± 66.7	150.0 ± 28.9	413.3 ± 109.7
	Kv	43.2	15.7	63.6	72.2	13.2	10.3	33.3	66.8	66.8	55.5	12.4	33.3	46.0
	AOa(AO; AOh)	10-30	40-60	80-150	8-10	80-100	30-200	18-21	500-1000	1.5-2	400-1000	100-1000	150-300	20-80
CR	M ± m	20.0 ± 5.8	46.7 ± 6.6	103.3 ± 23.3	9.3 ± 0.7	86.7 ± 6.7	96.7 ± 16.6	19.3 ± 0.9	833.3 ± 166.7	1.8 ± 0.2	633.3 ± 185.6	466.7 ± 72.8	216.7 ± 44.0	46.7 ± 6.7
	Kv	50.0	24.6	39.1	11.8	13.2	23.4	7.8	34.6	16.7	50.7	37.0	35.2	34.7
	lim	10-20	40-50	80-150	8-20	80-200	50-300	200-500	200-500	1-1.5	300-400	80-100	100-130	20-30
C	M ± m	15.0 ± 2.9	43.3 ± 3.3	110.0 ± 20.8	12.7 ± 3.7	120.0 ± 40.0	116.7 ± 20.4	400.0 ± 100	400.0 ± 100.0	1.16 ± 0.2	333.3 ± 33.3	86.7 ± 6.7	110.0 ± 10.0	26.6 ± 3.3
	Kv	33.3	13.4	32.8	50.4	57.7	64.8	43.3	43.3	25.8	17.3	13.3	15.7	21.8
	lim	10-20	40-50	80-100	6-20	60-200	60-300	10-30	200-500	1-1.5	200-300	80-100	90-100	20-30
	M ± m	16.7 ± 3.3	43.3 ± 3.3	93.3 ± 6.7	11.3 ± 4.3	120.0 ± 41.6	186.7 ± 22.6	18.3 ± 6.0	366.7 ± 88.2	1.16 ± 0.2	266.7 ± 33.3	93.3 ± 6.7	93.3 ± 3.3	26.6 ± 3.3
	Kv	34.7	13.4	12.3	67.2	60.1	453.9	56.8	41.6	25.8	21.6	12.3	6.2	21.8
Подбурь (n = 4)														
O	lim	10-30	40-80	80-200	6-10	60-80	50-300	10-20	300-1500	2-10	300-1500	200-1000	100-300	20-30
	M ± m	18.3 ± 6.0	53.3 ± 13.2	126.7 ± 37.1	8.0 ± 1.1	73.3 ± 6.7	150.0 ± 76.4	16.7 ± 3.3	933.3 ± 348.0	5.7 ± 2.3	700.0 ± 248.0	500.0 ± 151.7	200.0 ± 47.7	26.7 ± 3.3
	Kv	56.8	43.3	50.7	25.0	15.7	88.2	33.5	64.6	64.6	70.1	67.2	47.2	21.7
Oaо(Н)	lim	10-15	30-40	80-90	3-10	60-80	100-400	15-30	300-2000	1-1.5	300-1000	100-300	100-300	20-30
	M ± m	13.3 ± 1.7	36.7 ± 3.3	85.0 ± 2.9	7.0 ± 2.1	66.7 ± 6.7	233.4 ± 88.2	21.7 ± 4.4	966.7 ± 263.9	1.16 ± 0.2	600.0 ± 208.2	183.3 ± 60.1	166.7 ± 66.7	23.3 ± 3.3
	Kv	21.8	15.8	5.9	51.4	17.2	65.4	35.0	62.8	25.9	60.1	56.8	69.3	24.9
ВНF	lim	15-20	40-50	60-80	3-8	60-80	100-150	10-15	300-400	1-1.5	300-1000	80-100	60-100	10-20
	M ± m	16.7 ± 1.7	43.3 ± 3.3	73.3 ± 6.6	5.0 ± 1.5	66.7 ± 6.7	133.3 ± 16.7	11.7 ± 1.7	333.3 ± 33.3	1.16 ± 0.2	533.3 ± 233.3	88.3 ± 6.0	86.7 ± 13.3	16.7 ± 3.3
	Kv	17.4	13.4	15.7	52.0	17.2	21.7	24.8	17.3	25.9	75.7	11.8	26.6	34.7
C	lim	5-10	30-40	40-60	1-5	30-50	60-150	6-10	100-300	1-1.3	300-500	80-100	60-100	8-10
	M ± m	8.3 ± 1.7	33.3 ± 3.3	53.3 ± 6.6	3.0 ± 1.1	36.7 ± 6.7	103.3 ± 26.0	8.7 ± 1.3	200.0 ± 57.7	1.1 ± 0.1	366.7 ± 66.7	93.3 ± 6.7	80.0 ± 11.5	9.3 ± 0.7
	Kv	34.9	17.4	21.6	66.7	31.3	43.5	26.4	45.0	15.5	31.5	12.3	25.0	12.4

Примечание. lim — пределы изменчивости; M — среднее арифметическое, мг/кг; ±m — ошибка среднего; Kv — коэффициент вариации; n — число данных в выборке.

Таблица 4. Коэффициенты радиальной дифференциации $K_{рд}$ (над чертой) и концентрации КК (под чертой) микроэлементов в лесных почвах

Горизонт	Pb	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni	Mn	Mo	Ba	Sr	Zr	B
Криоземы													
O	<u>2.39</u>	<u>1.69</u>	<u>1.89</u>	<u>0.79</u>	<u>0.72</u>	<u>0.30</u>	<u>1.64</u>	<u>15.45</u>	<u>1.55</u>	<u>7.50</u>	<u>10.00</u>	<u>1.61</u>	<u>15.53</u>
	<u>2.50</u>	<u>1.55</u>	<u>2.12</u>	<u>0.50</u>	<u>0.96</u>	<u>0.68</u>	<u>0.51</u>	<u>5.66</u>	<u>1.63</u>	<u>3.07</u>	<u>2.74</u>	<u>0.88</u>	<u>34.44</u>
Oao(AO: AOh)	<u>1.19</u>	<u>1.07</u>	<u>1.11</u>	<u>0.82</u>	<u>0.72</u>	<u>0.52</u>	<u>1.05</u>	<u>2.27</u>	<u>1.55</u>	<u>2.37</u>	<u>5.00</u>	<u>2.32</u>	<u>1.76</u>
	<u>1.25</u>	<u>0.99</u>	<u>1.24</u>	<u>0.52</u>	<u>0.96</u>	<u>1.16</u>	<u>0.33</u>	<u>0.84</u>	<u>1.63</u>	<u>0.97</u>	<u>1.37</u>	<u>1.27</u>	<u>3.89</u>
CR	<u>0.89</u>	<u>1.00</u>	<u>1.17</u>	<u>1.12</u>	<u>1.00</u>	<u>0.62</u>	<u>21.85</u>	<u>1.09</u>	<u>1.00</u>	<u>1.25</u>	<u>0.93</u>	<u>1.18</u>	<u>1.00</u>
	<u>0.93</u>	<u>0.92</u>	<u>1.32</u>	<u>0.70</u>	<u>1.33</u>	<u>1.40</u>	<u>6.89</u>	<u>0.40</u>	<u>1.05</u>	<u>0.51</u>	<u>0.25</u>	<u>0.64</u>	<u>2.21</u>
C	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>
	<u>1.04</u>	<u>0.92</u>	<u>1.12</u>	<u>0.63</u>	<u>1.33</u>	<u>2.24</u>	<u>0.31</u>	<u>0.37</u>	<u>1.05</u>	<u>0.41</u>	<u>0.27</u>	<u>0.55</u>	<u>2.21</u>
Подбуры													
O	<u>2.20</u>	<u>1.60</u>	<u>2.38</u>	<u>2.67</u>	<u>1.99</u>	<u>1.45</u>	<u>1.91</u>	<u>4.67</u>	<u>5.18</u>	<u>1.90</u>	<u>5.35</u>	<u>2.50</u>	<u>2.87</u>
	<u>1.14</u>	<u>1.13</u>	<u>1.52</u>	<u>0.44</u>	<u>0.81</u>	<u>1.81</u>	<u>0.29</u>	<u>0.93</u>	<u>5.18</u>	<u>1.08</u>	<u>1.47</u>	<u>1.18</u>	<u>2.22</u>
Oao(H)	<u>1.60</u>	<u>1.10</u>	<u>1.60</u>	<u>2.33</u>	<u>1.82</u>	<u>2.25</u>	<u>2.49</u>	<u>4.84</u>	<u>1.05</u>	<u>1.63</u>	<u>1.95</u>	<u>2.08</u>	<u>2.50</u>
	<u>0.83</u>	<u>0.78</u>	<u>1.02</u>	<u>0.39</u>	<u>0.74</u>	<u>2.81</u>	<u>0.37</u>	<u>0.97</u>	<u>1.05</u>	<u>0.92</u>	<u>0.54</u>	<u>0.98</u>	<u>1.94</u>
ВНФ	<u>2.01</u>	<u>1.30</u>	<u>1.37</u>	<u>1.67</u>	<u>1.82</u>	<u>1.29</u>	<u>1.34</u>	<u>1.67</u>	<u>1.05</u>	<u>1.45</u>	<u>0.94</u>	<u>1.08</u>	<u>1.79</u>
	<u>1.04</u>	<u>0.92</u>	<u>0.88</u>	<u>0.28</u>	<u>0.74</u>	<u>1.61</u>	<u>0.20</u>	<u>0.33</u>	<u>1.05</u>	<u>0.82</u>	<u>0.26</u>	<u>0.51</u>	<u>1.39</u>
C	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>
	<u>0.52</u>	<u>0.71</u>	<u>0.64</u>	<u>0.17</u>	<u>0.41</u>	<u>1.24</u>	<u>0.15</u>	<u>0.20</u>	<u>1.00</u>	<u>0.56</u>	<u>0.27</u>	<u>0.47</u>	<u>0.77</u>

почв, наличия и характера следующих радиальных геохимических барьеров – органо-сорбционного, сорбционного, мерзлотного (криогенного) и карбонатного. Однако в горных условиях (наличие склонов разной крутизны, маломощность чехла рыхлых почвообразующих пород, их неоднородность, преобладание отрицательного баланса накопления элементов) эти геохимические барьеры, за исключением органо-сорбционного, не всегда четко выражены.

Приведенные коэффициенты концентрации микроэлементов (КК) по генетическим горизонтам криоземов свидетельствуют, что для ряда элементов характерно преобладание процессов накопления (табл. 4). Поверхностные органогенные и грубогумусовые горизонты значительно обогащены биофильными элементами и обеднены в основном элементами группы железа.

Следует отметить накопление ряда элементов (B, Ni, Cr, V, Zn) в криотурбированном горизонте CR, что, по-видимому, связано с адсорбцией их илистыми частицами, а также коллоидами органического вещества и относительным накоплением на мерзлотном экране.

В целом криоземы характеризуются повышенным содержанием ряда микроэлементов в почвенном профиле, что связано как с биогенной аккумуляцией, так и региональными особенностями почвообразующих пород. Неоднородность химического состава почв, унаследованная от горных пород, осложняется и наличием многолетней мерзлоты, которая оказывает определенное влияние на миграционную способность

элементов, которая в рассматриваемых почвах выражена слабо.

Среди *альфегумусовых почв* в почвенном покрове рассматриваемых ВПК типов леса первенство принадлежит подбурам (Folic Leptic Entic Podzols, Histic Leptic Entic Podzols). Наиболее широко они распространены в районах с гумидным типом вертикальной почвенной поясности (в Центральном и Западном Хэнтэе, Северном и Восточном Прихубсугулье) под зеленомошными группами типов леса: кедровниками чернично-зеленомошными, багульниково-зеленомошными, чернично-зеленомошно-долгомошными; лиственничниками бруснично-зеленомошными, рододендрово-бруснично-зеленомошными.

В зависимости от сочетания факторов почвообразования выделяются подбуры грубогумусированные – O-Oao-ВНФ-С, подбуры грубогумусовые – O-AO-ВНФ-С, подбуры перегнойные – O-H-ВНФ-С и подбуры иллювиально-железистые – O-Oh(Oao)-BF-С.

Под лиственничниками и кедровниками кустарничково-моховыми и зеленомошно-долгомошными формируются подбуры грубогумусовые иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые – O-AO-BF(ВН)-С, а также подбуры грубогумусовые оторфованные, с профилем O-AOT-ВНФ-С. Мощность грубогумусового оторфованного горизонта AOT обычно 15–25 см [20].

Подбуры по гранулометрическому составу легко-, среднесуглинистые (табл. 5). В почвах всегда присутствует скелетная фракция, содержание которой в нижних горизонтах достигает 70%.

Таблица 5. Некоторые химические и физико-химические свойства альфегумусовых почв

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %;		рН водн.	C _{орг} , %	Обменные катионы			Hr	V, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	
		размер частиц, мм				Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺											
		<0.001	<0.01																
% от прокаленной навески																			
Разрез 665. Подбур грубогумусованный хрящевато-легкосуглинистый																			
Кедровник рододендроновый бруснично-багульниково-зеленомошный, 1520 м над ур. моря (хр. Бутэлийн-Нуру, Восточное Прихубсугулье)																			
O	0-2	-	-	5.2	86.5*	18.8	9.8	8.9	18.9	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oao	2-7	-	-	4.8	64.2*	17.1	5.6	15.3	22.6	50	63.22	19.87	3.65	3.77	2.99	5.52	45.65	4.92	-
VNF	10-20	17	26	4.3	2.8	6.8	2.7	8.2	10.0	49	63.79	20.40	5.28	1.89	1.56	5.30	32.12	4.54	-
C	30-40	10	18	4.6	0.5	2.1	0.9	0.2	2.2	58	64.70	19.45	4.90	1.80	1.22	5.68	34.84	4.89	-
Разрез 706. Подбур перетной хрящевато-легкосуглинистый																			
Лиственничник бруснично-разнотравно-зеленомошный, 1550 м над ур. моря (хр. Бутэлийн-Нуру, Восточное Прихубсугулье)																			
O	0-2	-	-	5.0	88.3*	22.9	9.9	5.6	21.1	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	2-8	15	22	4.7	7.1	17.4	3.8	5.9	18.4	53	66.90	16.43	3.66	3.90	2.23	6.92	46.45	6.02	-
VNF	10-20	15	25	4.9	1.8	6.6	2.6	3.7	8.9	51	67.59	16.50	6.12	2.32	1.54	6.95	29.63	5.63	-
VHFC	30-40	8	19	5.5	0.8	4.2	2.0	1.8	3.6	63	69.83	13.68	5.70	1.89	1.06	8.68	32.33	6.85	-
C	40-60	3	11	5.6	0.1	2.1	1.1	0.4	1.7	65	72.24	13.27	3.43	1.62	1.72	9.26	57.33	7.97	-
Разрез 653. Подбур грубогумусовый оторфованный хрящевато-среднесуглинистый																			
Кедровник багульниково-бруснично-моховой, 1400 м над ур. моря (Центральный Хэнтэй)																			
O	0-4	-	-	4.0	85.6*	19.9	8.3	17.7	24.6	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AOT	4-17	-	-	4.0	79.4*	10.5	4.8	21.3	25.2	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VNF	17-23	15	33	4.3	2.3	6.4	2.6	6.3	8.3	52	64.88	19.04	6.31	2.06	1.88	5.68	27.69	4.72	-
VHFC	23-35	14	26	4.2	0.9	2.0	0.6	1.2	2.2	54	66.55	18.22	6.04	2.14	1.96	6.23	29.18	5.13	-
C	40-50	8	17	4.5	0.3	1.9	0.4	1.0	1.9	55	68.79	16.18	4.88	2.26	1.60	7.25	36.97	6.06	-
Разрез 640. Подбур грубогумусовый хрящевато-легкосуглинистый																			
Кедровник чернично-зеленомошный, 1380 м над ур. моря (Западный Хэнтэй)																			
O	0-2	-	-	4.6	81.0*	23.9	10.2	12.6	18.2	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AO	2-15	-	-	4.3	76.8*	17.5	6.8	24.9	28.8	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VNF	17-27	10	23	5.2	1.7	2.7	1.1	3.3	7.5	34	70.49	16.47	5.62	2.68	1.69	7.31	39.00	6.15	-
C	45-55	9	20	5.5	0.2	1.4	0.7	0.6	0.8	72	71.34	15.55	4.98	1.92	1.68	7.93	39.67	6.61	-

В составе мелкозема преобладают фракции песка и крупной пыли, их содержание в верхних почвенных горизонтах изменяется от 49 до 75%. В составе мелкозема рассматриваемых почв преобладают фракции размером больше 0.01 мм. Фракции, образование которых связано, главным образом, с химическим выветриванием породы (размером <0.01 и <0.001 мм), содержатся в небольшом объеме и их количество уменьшается с глубиной. Это свидетельствует о большой интенсивности физического выветривания по сравнению с химическим, и общей замедленностью глинообразования [28].

Подбуры грубогумусированные имеют кислую и сильнокислую реакцию в органогенных и грубогумусированных горизонтах, с глубиной кислотность почв либо остается на том же уровне, либо уменьшается до слабокислой.

Распределение обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} в профиле указывает на заметное накопление их в верхних горизонтах. Среди обменных катионов преобладает кальций, затем следует магний либо водород. Наибольшие величины гидролитической кислотности характерны для органогенных, в том числе, грубогумусированных горизонтов. Эти же горизонты отличаются и ненасыщенностью почвенного поглощающего комплекса основаниями.

Подбуры перегнойные отличаются кислой реакцией перегнойных горизонтов, нижние минеральные горизонты имеют слабокислую реакцию среды. Почвенный поглощающий комплекс насыщен кальцием, магнием и водородом. Степень насыщенности основаниями гумусово-аккумулятивных горизонтов почв изменяется в пределах 42–61%.

Почвы характеризуются высоким содержанием органического вещества в грубогумусированных и перегнойных горизонтах. В минеральных горизонтах почв количество $\text{C}_{\text{орг}}$ также достаточно высокое (в гор. ВНФ– 1.7–2.8%), что связано с иллювиацией органических кислот в виде растворов из верхних органогенных и грубогумусовых горизонтов.

Подбуры грубогумусовые оторфованные отличаются от выше рассмотренных типов сильнокислой реакцией среды по всему профилю, относительно меньшим содержанием органического углерода в иллювиальных горизонтах, высоким содержанием обменного водорода в почвенном поглощающем комплексе.

В профиле подбуров (грубогумусированных и перегнойных) для большинства микроэлементов характерна высокая вариабильность (табл. 3). Так, в органогенных и грубогумусированных горизонтах высокими коэффициентами вариации ($K_v = 50.7\text{--}88.2\%$) отличаются Cr, Ba, Mo, Sr, Mn, Pb и Zn, а в альфегумусовом горизонте – В, Ва, Со. В почвообразующей породе высокий коэф-

фициент вариации (выше 40%) характерен для Со, Mn и Cr.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что наиболее устойчивое отклонение содержания микроэлементов от их содержания в почвообразующей породе свойственно всем генетическим горизонтам почвы. Судя по коэффициентам радиальной дифференциации, в органогенном горизонте подбуров резко возрастает концентрация Sr, Mo, Mn ($K_{\text{рд}} = 4.67\text{--}5.35$). Коэффициент радиальной дифференциации для большинства элементов изменяется от 2.20 до 2.87. Относительно в меньшем количестве ($K_{\text{рд}} = 1.45\text{--}1.99$) накапливается V, Ni, Ba, Cu и Cr.

В грубогумусированных (Оао) горизонтах также наблюдается заметная аккумуляция микроэлементов по сравнению с почвообразующей породой, причем здесь наиболее значительно аккумулируется марганец ($K_{\text{рд}} = 4.84$). Альфегумусовый горизонт (ВНФ) по сравнению с грубогумусированным характеризуется заметным накоплением меди ($K_{\text{рд}} = 1.30$) и свинца ($K_{\text{рд}} = 2.01$).

Для подбуров, в отличие от криоземов, отмечена меньшая концентрация большинства микроэлементов в органогенных горизонтах (табл. 4). Так, рассчитанные коэффициенты концентрации свидетельствуют, что здесь резко возрастает концентрация Mo ($\text{КК} = 5.18$) и В ($\text{КК} = 2.22$). Заметно увеличивается Cr ($\text{КК} = 1.81$), Zn ($\text{КК} = 1.52$) и Sr ($\text{КК} = 1.47$), в незначительном количестве – Pb, Cu, Ba. Концентрация Со, V, Mn и Ni понижена. В грубогумусированных горизонтах подбуров концентрируется Cr ($\text{КК} = 2.81$) и В ($\text{КК} = 1.94$), в малом количестве – Zn и Mo. Содержание остальных элементов невысокое. Коэффициенты концентрации изменяются от 0.92–0.98 для Zr, Mn и Ba до 0.37–0.39 для Со и Ni, что свидетельствует о слабом и сильном их рассеянии. В альфегумусовом горизонте ВНФ коэффициенты концентрации Pb, Cr, Mo и В больше единицы, что говорит об их накоплении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что общее содержание микроэлементов в изученных почвообразующих породах основных ВПК типов леса достаточно сильно различается. Большое влияние на химический состав оказывают генетически несвязанные с ними включения щебня и обломки горных пород. Коэффициенты рассеяния большинства изучаемых микроэлементов в почвообразующих породах относительно литосферы составляют больше единицы, что говорит о преобладании в них процессов выноса. Неоднородность почвообразующих пород и ландшафтно-геохимические условия миграции в системе высотных поясов обуславливают значительную

вариабельность концентрации большинства микроэлементов в почвах таежных лесов Северной Монголии.

В пределах рассматриваемых ВПК почвы отличаются не только абсолютным содержанием микроэлементов, участвующих в биологическом круговороте, но также интенсивностью их вовлечения в биогенную миграцию. Миграция химических элементов в высотно-поясных комплексах типов леса особенно отчетливо обнаруживается в виде закономерного перераспределения элементов по генетическим горизонтам почв. Полученные данные свидетельствуют о накоплении большинства микроэлементов в поверхностных органогенных горизонтах почв. Так, в подгольцово-таежном, горно-таежном лиственничном и кедровом ВПК типов леса в органогенных горизонтах криоземов, судя по коэффициентам радиальной дифференциации, интенсивно накапливаются ($n \times 10$) Mn, В и Sr. В меньшем количестве (n) – Ва, Pb, Zn, Cu и Ni. Элементы, содержащиеся в значительно меньшем количестве ($n \times 0.1$) – Со, V и Сг.

В отличие от криоземов, органогенные горизонты подбуров характеризуются меньшим накоплением микроэлементов. Здесь отсутствуют элементы с содержанием больше $n \times 10$. В целом, для подбуров характерно аккумулятивное распределение микроэлементов в почвенном профиле. Формирование выраженного органо-сорбционного барьера характерно и для рассматриваемых почв, однако, в отличие от криоземов, он выражен слабее. Обеднение этих горизонтов рядом элементов связано, по-видимому, с тем, что в условиях кислой реакции среды и промывного типа водного режима они легко выносятся в виде органо-минеральных комплексов либо в срединный альфегумусовый горизонт, либо совсем за пределы почвенного профиля. Альфегумусовые горизонты рассматриваемых почв могут являться хемосорбционным геохимическим барьером для некоторых элементов, относящихся как к группе биофилов, так и к группе железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белозерцева И.А., Доржготов Д., Батхшиг О., Убугунов Л.Л., Бадмаев Н.Б., Убугунова В.И., Гынинова А.Б., Балсанова Л.Д., Убугунов В.Л., Гончиков Б.Н., Цыбикдоржиев Ц.Д.Ц., Сороковой А.А. Карта "Почвы". М-б 1 : 5000000 // Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск–Улан-Батор–Улан-Удэ, 2015. С. 39.
2. Берзина А.П., Гимон В.О., Николаева И.В., Полеских С.В., Травина А.В. Базиты полихронного магматического центра с Си-Мо-порфиловым месторождением Эрдэнэтуин-Обо (Северная Монголия): петрохимия, геохронология, геохимическая позиция, связь с рудообразованием // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 10. С. 1077–1094.
3. Бямбасурэн Ц., Шабанова Е.В., Корольков А.Т., Васильева И.Е., Очирбат Г., Хуухэнхуу Б. Распределение микроэлементов в почвах г. Улан-Батора // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 26. С. 31–45. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.31>
4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
5. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
6. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
7. Владыченский А.С., Богомолов Е.Г., Абысова О.Н. Строение почвенного покрова высокогорий в горных системах суббореального и бореального поясов // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1519–1526.
8. Гордиенко И.В., Медведев А.Я., Горнова М.А., Томуртоого О., Гонегер Т.А. Геохимические, геохронологические и геодинамические особенности магматизма Харагольского террейна Западного Хэнтэя (Северная Монголия) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 3. С. 365–379.
9. Добровольский В.В. Геохимия микроэлементов. Глобальное рассеивание. М.: Мысль, 1983. 272 с.
10. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов. Избр. тр. М.: Научный мир, 2009. Т. 2. 752 с.
11. Добровольский В.В., Ржаксинская М.В. Ландшафтно-геохимическая зональность северного склона Большого Кавказа // Геохимия ландшафта. М.: Наука, 1967. С. 125–140.
12. Доржготов Д. Почвы Монголии. Автореф. дис. ... докт. биол. н. М., 1992. 51 с.
13. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. 238 с.
14. Кабата–Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 436 с.
15. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Бажга С.Н., Гунин П.Д., Энх-Амгалан С. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // Почвоведение. 2011. № 7. С. 771–784.
16. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
17. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
18. Коротков И.А. Типы леса Монгольской Народной Республики // Леса МНР. М.: Наука, 1978. С. 47–121.
19. Краснощеков Ю.Н. Горные мерзлотно-таежные неглеевые почвы Северной Монголии и их гидротермический режим // Почвоведение. 1997. № 8. С. 958–963.
20. Краснощеков Ю.Н. Почвенный покров и почвы горных лесов Северной Монголии. Новосибирск: Наука, 2013. 196 с.
21. Кузьмин В.А. Геохимия почв юга Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2005. 137 с.
22. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.
23. Мартынов В.П., Батжаргал Б., Мартынова А.С. Карта почвенного покрова. М-б 1 : 100000. Атлас оз. Хубсугул. М.: ГУГК, 1989. С. 42–43.

24. Назимова Д.И., Коротков И.А., Чередникова Ю.С. Основные высотно-поясные подразделения лесного покрова в горах Южной Сибири и их диагностические признаки // В чтения памяти В.Н. Сукачева. М.: Наука, 1987. С. 30–64.
25. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
26. Полюнов Б.Б. Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.
27. Почвенный покров и почвы Монголии / Отв. ред. Герасимов И.П., Ногина Н.А. М.: Наука, 1984. 190 с.
28. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.
29. Убугунов Л.Л., Гынинова А.Б., Белозерцева И.А., Доржготов Д., Убугунова В.И., Сороковой А.А., Убугунов В.Л., Бадмаев Н.Б., Гончиков Б.Н. Географические закономерности распределения почв на водосборной территории оз. Байкал (к карте “Почвы бассейна оз. Байкал”) // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2018. № 2(7). С. 7–26.
30. Фридланд В.М. Влияние степени выветрелости почвообразующих пород на процессы формирования почв в различных биоклиматических зонах // Почвоведение. 1970. № 12. С. 5–15.
31. Эколого-географический атлас-монография “Селенга–Байкал” / Отв. ред. Касимов Н.С. М.: Географический факультет МГУ, 2019. 288 с.
32. Экосистемы Монголии: распространение и современное состояние / Отв. ред. Гунин П.Д., Востокова Е.А. М.: Наука, 1995. 223 с.
33. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of the elements. N.Y., 1989. 333 p.
34. Ecosystems of Mongolia Atlas / Eds.: Gunin P.D., Saandar M. Ulaanbaatar. Admon, 2019. 264 p.
35. Heinrichs H., Mayer R. Distribution and cycling of major and trace elements in two Central European forest ecosystems // J. Env. Qual. 1977. V. 6. P. 402–407.
36. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports №106. FAO, Rome. 2014. 181 p.
37. Krasnoshchekov Yu.N. Soil Cover of Mountain Forests in the East Khubsugul Region of Mongolia // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. № 7. P. 694–703. <https://doi.org/10.1134/S106422930807003X>
38. Nowack B., Obrecht J.-M., Schlupe M., Schulin R., Hansmann W., Koppel V. Elevated lead and zinc contents in remote alpine soils of the Swiss National Park // J. Environ. Qual. 2001. V. 30. P. 919–926.
39. Cao X.D., Chen Y., Wang X.R., Deng X.H. Effects of redox potential and pH value on the release of rare elements from soil // Chemosphere. 2001. V. 44. P. 655–661.
40. Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems – A review // Plant and Soil. 2004. V. 267. P. 191–206.
41. Wong J.W.C, Li K.L., Zhou L.X., Selvam A. The sorption of Cd and Zn by different soils in the presence of dissolved organic matter from sludge // Geoderma. 2007. V. 137. P. 310–317.

Geochemical Features of Cryogenic and Al-Fe-Humus Soils of Mountain Taiga in Northern Mongolia

Yu. N. Krasnoshchekov*

*Sukachev Institute of Forest SB RAS—Separate subdivision of FRC KSC SB RAS,
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

**e-mail: kyn47@mail.ru*

Geochemical features of cryogenic soils (Folic ProticLeptic Cryosols, Histic Protic Leptic Cryosols) and Al-Fe-Humus (Folic Leptic Entic Podzols, Histic Leptic Entic Podzols) have been considered. These soils are widespread in the soil cover of taiga forests forming the upper boundary of forest belt in Khentei, Prikhubsugulie and Khangai mountainous massives. Data on the microelement composition of parent rocks are given as well. The dispersion coefficients of the most studied microelements in parent rocks relative to the lithosphere exceed 1.0, which indicates the predominance of removal processes in them. Difference in the concentrations of microelements is related to the particle-size composition of parent rocks. Data on soil morphology, soil physicochemical and chemical properties, in particular, on the concentrations of microelements and their radial distribution in soils are discussed. It was shown that the studied soils differ both by the absolute amounts of microelements involved in the biological cycle, and by the intensity of their involving in biogenic migration. The intensive biogenic migration of elements results in their accumulation in organic and raw-humus soil horizons and in the accumulative profile patterns in soils of the altitudinal-belt complexes of forest types. In contrast to cryozems, the organic and raw-humus horizons of podzols are characterized by a lesser accumulation of microelements. It was noted that in the middle-profile Al-Fe-Humus (spodic) horizon of podzols, the concentration of Pb, Cr, Mo and B is higher than 1.0. Al-Fe-Humus horizons of studied soils can serve as a sorption geochemical barrier for some elements belonging to the groups of biophiles and of iron.

Keywords: altitudinal complexes of forest types, physical and chemical soil properties, trace elements, concentration coefficients, dispersion coefficients