

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПОЧВ ПОДТАЕЖНЫХ И ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОСТЕПНЫХ СВЕТЛОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

© 2024 г. Ю. Н. Краснощеков^{а, *}

^аИнститут 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 31.07.2023 г.

После доработки 25.10.2023 г.

Принята к публикации 25.10.2023 г.

Рассмотрены геохимические особенности органо-аккумулятивных (Eutric Regosols (Loamic, Ochric), Cambic Someric Phaeozems (Loamic)) почв, широко распространенных в почвенном покрове подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесов, образующих нижнюю границу лесного пояса в горных сооружениях Северной Монголии. Приведены данные по микроэлементному составу почвообразующих пород. Установлено, что парагенетическая ассоциация микроэлементов в них представлена Pb, Cu, Zn, Co, V, Cr, Ni, Mn, Mo, Ba, Sr, Zr и В. По сравнению со средним содержанием в литосфере остаточные и переотложенные коры выветривания магматических пород обогащены Zn, Cr, Mo, В, в то же время в них меньше Pb, Co, Mn, Ba, Sr, Zr. Остаточные и переотложенные коры выветривания карбонатных пород обогащены Pb, Cu, Zn, V, Cr, Sr, В, обеднены Co, Ni, Mn, Mo, Ba, Zr. Обсуждены материалы по морфологическому строению почв, их физико-химическим и химическим свойствам, а также по содержанию микроэлементов и их радиальному распределению в рассматриваемых почвах. Полученные данные свидетельствуют о накоплении большинства микроэлементов в поверхностных органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтах почв, что связано как с неоднородностью почвообразующих пород, так и влиянием почвенных процессов, обуславливающих аккумулятивное распределение элементов и их осаждение на органо-сорбционном и карбонатном геохимических барьерах. Показано, что изученные почвы отличаются не только абсолютными значениями концентраций микроэлементов, участвующих в биологическом круговороте, но и интенсивностью их вовлечения в биогенную миграцию.

Ключевые слова: серогумусовые и темногумусовые почвы, физико-химические свойства, микроэлементы, коэффициенты радиальной дифференциации, коэффициенты концентрации

DOI: 10.31857/S0032180X24040016, EDN: WTCDOF

ВВЕДЕНИЕ

Органо-аккумулятивные почвы в Северной Монголии образуют основной фон почвенного покрова в подтаежном и подтаежно-лесостепном высотно-поясных комплексах (ВПК) типов леса в Прихубсугулье, Северо-Восточном и Восточном Хангае, Хэнтэйском нагорье. Они занимают преимущественно средние и нижние части склонов северной румбы на контакте со степями в интервале высот 700–1800 м над ур. м. В травяном покрове наибольшее ценотическое значение имеют лесные и лугово-лесные мезофиты. В нижней части этих ВПК, в связи с сухостью климата и контактами

лесов с зональными степями, в сложении подчиненных ярусов большое участие принимают степные и лесостепные травы [21].

Широкий диапазон высот и орографических условий ареала распространения рассматриваемых почв обуславливает и довольно широкую амплитуду экологических условий в его пределах. Количество осадков варьирует от 300 до 450 мм в год, из них 75–80% выпадает в летний период. Многолетняя среднегодовая температура воздуха изменяется от –0.1 до –3.8°C. Сумма активных температур воздуха выше +10°C на высоте 700–1800 м составляет от 1280 до 1670°C. Средняя продолжительность безморозного периода 69–84 дня. В зависимости

от геокриологических условий среди органо-аккумулятивных почв выделяются длительно-сезонно-мерзлотные и глубокомерзлотные, последние наиболее широко распространены в Восточном Хэнтэе [23].

Формирование органо-аккумулятивных почв связано с дерновым почвообразовательным процессом. Данный процесс развивается под воздействием травянистой растительности и характеризуется интенсивным гумусообразованием, связанным с особенностями биологического круговорота веществ в этой растительной формации.

В Сибири выделение самостоятельного типа дерновых почв в южно-таежной подзоне было обосновано автором [27]. Их происхождение он связывает, прежде всего, с богатством пород основаниями и первичными минералами. Многие исследователи [29, 32] придерживаются взгляда, что почвы, развивающиеся в южной тайге в наиболее континентальных районах Сибири, являются биоклиматическим образованием, а не литологическим.

Несмотря на имеющийся научный материал, органо-аккумулятивные почвы Северной Монголии остаются еще слабо изученными. В большинстве работ говорится о специфике почвообразования, связанной с горным рельефом, сложностью геологического строения и высотно-поясной дифференциацией гидроклиматических и геокриологических условий [3, 4, 6, 14, 22, 28, 31, 33, 36]. Все это в значительной степени оказывает влияние на геохимическую миграцию продуктов почвообразования как в пределах, так и за пределами лесорастительного пояса [9, 13, 16, 26, 37, 39, 42, 44].

Микроэлементный состав является важным показателем эколого-геохимического состояния почв. Добровольский [12, с. 3] отмечал, что “химические элементы, находящиеся в рассеянном состоянии, – важное, но еще не полностью осознанное наукой явление природы. Их изучение – одна из актуальных проблем современного естествознания”.

Каждый природный ландшафт характеризуется определенными значениями концентрации микроэлементов в почве [2, 15, 18]. Особенно отчетливо эти закономерности проявляются в горах, где распределение ландшафтов подчинено закономерностям высотной поясности, в пределах которых формируются различные почвы, часто маломощные, неполнопрофильные, в которых отсутствуют срединные горизонты, в профиле в большом количестве содержится щебень и обломки горных пород часто разного минералогического и петрографического состава. Изучение особенностей содержания и распределения микроэлементов в почвах различных ландшафтов является актуальной проблемой и имеет большое теоретическое и практическое значение. Почвенно-геохимические исследования

позволяют установить особенности поведения химических элементов и выявить провинциальные особенности почвенного покрова в границах выделенных лесорастительных поясов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Многолетними комплексными маршрутными исследованиями охвачены основные лесорастительные пояса в среднегорной части Западного, Северо-Западного и Восточного Хэнтэя – хребты Дэлгэр-Хан-Уул, Мунгэлэг-Нуру, Их-Хэнтэй и Бага-Хэнтэй, в Восточном Прихубсугулье – Джидинский хр., Бурсын-Нуру, Бутэлийн-Нуру и Хантайн-Нуру, в Хангае – в Северо-Восточной и Восточной низкогорной части. В пределах ВПК подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесов, образующих нижний лесорастительный пояс, на склонах разной крутизны и экспозиции заложено около 60 почвенных разрезов. Сделано их морфологическое описание и отобраны почвенные образцы из разрезов на химический и физико-химический анализ. В лабораторных условиях проанализировано более 20 почвенных профилей, с использованием следующих методов: гранулометрический состав – по Качинскому [7], рН солевой и водной суспензий – потенциометрически, содержание обменных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+) – по Гедройцу, общий гумус – по Тюрину, общий азот – по Кьельдалю, гидролитическая кислотность – по Каппену, CO_2 карбонатов – по Бауэру [1, 8]. Групповой состав гумуса – по схеме Кононовой–Бельчиковой [20]. Валовое содержание микроэлементов определено спектральным методом. Рассчитаны коэффициенты радиальной дифференциации ($K_{\text{рл}}$) и концентрации (KK) микроэлементов [10, 34]. Названия почв даны по Классификации и диагностике почв России [17], а также Международной классификации WRB [41]. Для статистической обработки данных использовали программы Excel 2013 и Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микроэлементы в почвообразующих породах ВПК подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесов. Сведения о содержании микроэлементов в широко распространенных горных породах Северной и Центральной Монголии имеются в работах [5, 11, 25]. Однако они не дают представления о современном геохимическом состоянии основных типов почв региона.

В Северной Монголии, в пределах рассматриваемых ВПК типов леса, почвы формируются на продуктах выветривания горных пород разного генезиса, минералого-химического и гранулометрического состава. В одном случае это маломощные остаточные (элювиальные) и переотложенные

(элювиально-делювиальные и делювиальные) коры выветривания, сформированные на плотных кристаллических породах, преимущественно кислых магматических (граниты, биотитовые граниты, диориты, гранодиориты, габбро-диориты) или карбонатных (известняки, доломиты), в другом – в горных условиях коренные породы часто перекрыты мощным песчано-щебнистым или щебнисто-суглинистым инородным материалом, который генетически не связан с ними. Это обстоятельство отмечено в работах [35, 38]. Верхний горизонт перечисленных кор выветривания является субстратом, на котором развиваются современные почвы.

В пределах ВПК подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесов гранулометрический состав почвообразующих пород варьирует от супесчаного до тяжелосуглинистого. В зависимости от степени выветрелости содержание щебня неодинаково и колеблется от 10 до 80%. В отложениях верхних частей склонов преобладают фракции песка и крупной пыли. Отложения средних и нижних частей склонов отличаются повышенным содержанием фракции физической глины, содержание которой достигает 37–45%. Утяжеление гранулометрического состава связано с тем, что в процессе переотложения обломков коренных пород происходит их разрушение и измельчение. Кроме этого, оно может быть обусловлено вымыванием тонких фракций поверхностным и внутрипочвенным стоком, в том числе надмерзлотным в весенний период, с верхних частей склонов.

По химическим свойствам почвообразующие породы значительно отличаются друг от друга. Реакция среды колеблется от кислой до щелочной.

Содержание обменных катионов варьирует от 2.8–17.5 в отложениях остаточной коры выветривания гранитов до 21.0–42.5 смоль(экв)/кг в отложениях коры выветривания известняков и доломитов [23].

Парагенетическая ассоциация микроэлементов в исследуемых почвообразующих породах подтаежного и подтаежно-лесостепного лесорастительного пояса представлена Pb, Cu, Zn, Co, V, Cr, Ni, Mn, Mo, Ba, Sr, Zr и B. Ее состав отражает региональные геолого-геохимические особенности территории, связанные с широким развитием здесь кислых магматических интрузий, а также карбонатных осадочных пород. Так, остаточные и переотложенные коры выветривания магматических пород в среднем содержат (мг/кг): Pb – 15.4; Cu – 45.7; Zn – 95.7; Co – 14.3; V – 94.3; Cr – 185.7; Ni – 55.7; Mn – 1142.8; Mo – 1.14; Ba – 300.0; Sr – 214.2; Zr – 130.0; B – 15.0 (рис. 1а).

По сравнению со средним содержанием в литосфере в пределах подтаежного и подтаежно-лесостепного лесорастительного пояса остаточные и переотложенные коры выветривания магматических пород обогащены Zn, Cr, Mo, B, в то же время в них меньше Pb, Co, Mn, Ba, Sr, Zr, о чем свидетельствуют коэффициенты концентрации (рис. 1б).

Остаточные и переотложенные коры выветривания карбонатных пород содержат (мг/кг): Pb – 23.6; Cu – 52.4; Zn – 102.4; Co – 12.6; V – 137.4; Cr – 98.0; Ni – 23.8; Mn – 450.0; Mo – 1.02; Ba – 400.0; Sr – 400.0; Zr – 112.4; B – 21.2. По сравнению со средним содержанием в литосфере они обогащены Pb, Cu, Zn, V, Cr, Sr, B, меньше в них содержится Co, Ni, Mn, Mo, Ba, Zr.

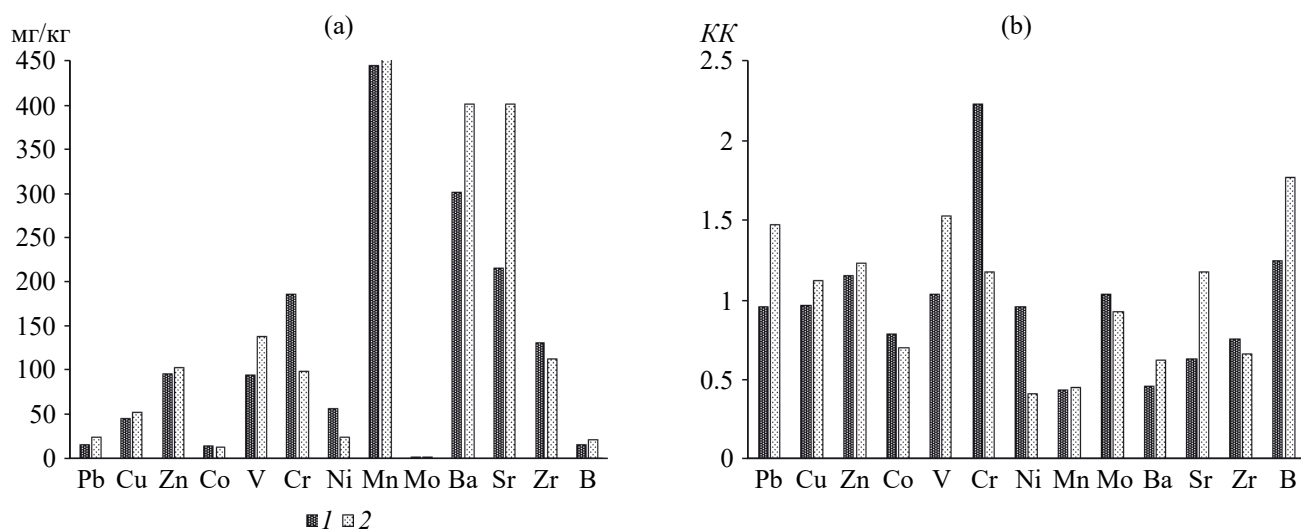


Рис. 1. Среднее содержание (а) и коэффициенты концентрации (б) микроэлементов в остаточных и переотложенных корях выветривания магматических (1) и карбонатных (2) почвообразующих породах в подтаежном и подтаежно-лесостепном лесорастительном поясе.

Следует отметить, что почвообразующие породы подтаежного и подтаежно-лесостепного лесорастительного пояса в большей степени обогащены микроэлементами по сравнению с породами верхних лесорастительных поясов (подгольцово-таежный, горно-таежный кедровый и лиственничный, псевдотаежный лиственничный), что объясняется значительным выносом этих элементов из верхних поясов и относительное накопление их в нижних [23, 24].

Основной фон почвенного покрова в ВПК подтаежных и подтаежно-лесостепных лиственничных и сосновых лесов в Северной Монголии образуют **серогумусовые почвы**.

Морфологический профиль *серогумусовых типичных почв* (Eutric Regosols (Loamic, Ochric)) представляет собой сочетание нескольких генетических горизонтов: поверхностного органогенного горизонта O (лесная подстилка), мощностью 1–3 см, гумусово-аккумулятивного горизонта АУ – темно-бурого, серовато-бурого цвета, мощность 6–20 см. Он имеет хорошо выраженную зернистую, ореховато-комковатую или мелкокомковатую структуру. Часто ниже горизонта АУ выделяется переходный горизонт АС серовато- или коричневатого-бурого цвета. Горизонт Cf мощностью 8–25 см имеет признаки аккумуляции гумусово-железистых соединений за счет осаждения железистых пленок на поверхности минеральных зерен и агрегатов. В нижней части профиля почв много включений щебня и обломков горных пород разного минералогического и петрографического состава. Морфологический профиль типа O–АУ–АС–Cf–С.

Серогумусовые элювирированные глинисто-иллювирированные (Eutric Regosols (Loamic, Ochric, Lamellic)) почвы по морфологическому строению характеризуются наличием лесной подстилки (1–2 см), состоящей из растительного опада; серогумусового горизонта АУ темно-бурого цвета, зернисто-комковатой структуры, мощностью 6–10 см; ниже выделяется маломощный (2–4 см) элювирированный горизонт АУel серовато-бурого, с седоватостью, цвета, при подсыхании он становится более светлых тонов. Глинисто-иллювирированный горизонт Сi буро-коричневого цвета, обычно уплотнен, постепенно переходит в материнскую породу. Профиль типа O–АУ–АУel–Сi–С.

По гранулометрическому составу изученные почвы легко-, среднесуглинистые (табл. 1). В составе мелкозема преобладают песчаные и крупнопылеватые фракции. Илистая фракция имеет тенденцию к накоплению в серогумусовом горизонте. В физической глине более половины составляют илестые частицы.

Отличительной чертой серогумусовых глубокомерзлотных почв является более высокое содержание в составе мелкозема фракций средней и мелкой пыли. По данным [19], в формировании

гранулометрического состава почв подобного типа могли принять участие как процессы внутрисочечного физического выветривания скелета, так и криогенные явления, которые обуславливают диспергирование почвообразующих горных пород и гомогенизацию минеральной части профиля криогенных почв на уровне крупнопылеватых частиц.

В целом для профилей изученных почв характерны облегчение гранулометрического состава с глубиной, высокое содержание ила и физической глины в верхних горизонтах.

Гумус сконцентрирован в горизонте АУ, где его количество колеблется от 4 до 10%, за пределами гумусового горизонта он резко снижается. Судя по отношению C/N, равному для гумусового горизонта 7.2–12.6, гумус представлен собственно гумусовыми веществами, связанными с минеральной массой почвы. Распределение и характер гумуса целиком является результатом дернового лесного почвообразовательного процесса. Этим объясняется и качественный состав гумуса данных почв.

Исследованиями, приведенными в работах [30, 33], установлено, что в составе гумуса рассматриваемых почв гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами только в горизонте АУ ($C_{гк}/C_{фк} = 1.10–1.47$). Преобладают гуматы, связанные с кальцием.

Подобные почвы с фульватно-гуматным типом гумуса формируются обычно в низкополнотных или разреженных древостоях с обильным травяным покровом, где ценотическая роль травянистого яруса намного выше, чем древесного.

В верхней и средней части подтаежного пояса, под высоко- и среднеполнотными древостоями обычно серогумусовые почвы характеризуются гуматно-фульватным типом гумуса. Отношение $C_{гк}/C_{фк}$ в серогумусовых горизонтах равно 0.75–1.00 [33, 43].

Кривые распределения обменных оснований в целом согласуются с кривой распределения гумуса. Обменные катионы интенсивно аккумулируются в лесной подстилке и верхнем серогумусовом горизонте. В материнской породе содержание кальция и магния убывает, что подчеркивает их биогенное происхождение в аккумулятивной части профиля.

Почвы характеризуются слабокислой и кислой реакцией среды, высокой гидролитической кислотностью. По степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса среди серогумусовых почв выделяются ненасыщенные основаниями (<80%). Ненасыщенность большей группы серогумусовых почв основаниями, по-видимому, связана как с гуматно-фульватным типом гумуса, характером материнских пород, так и со спецификой растительного покрова, а также преобладанием в опаде древесных остатков (хвои, мелких сучьев, коры, шишек), которые при разложении поставляют в почву достаточное количество иона H^+ .

В пределах подтаежных разнотравных свет-лохвойных лесов в почвенном покрове распростра-нены и серогумусовые глинисто-иллювирированные почвы с признаками оподзоливания. Обычно раз-виваются они на почвообразующих породах лег-кого гранулометрического состава в верхней части рассматриваемого лесорастительного пояса.

Серогумусовые глинисто-иллювирированные оподзоленные почвы характеризуются высоким со-держанием гумуса в верхнем горизонте (9.6%) и сла-бокислой реакцией среды. Почвенный поглощаю-щий комплекс насыщен кальцием и магнием. Наи-мнее насыщены катионами горизонты АУ и АУе.

Содержание и поведение микроэлементов в почве контролируется многими факторами: это гранулометрический и минералогический составы твердой фазы, обогащенность ее органическим ве-ществом, направление и глубина процесса почво-образования, окислительно-восстановительные ус-ловия и др. [9, 10, 13, 26, 34, 40, 45].

Для серогумусовых типичных почв характерен аккумулятивный тип распределения микроэlemen-тов в почвенном профиле. Пределы колебания ши-рокие, т. е. для почв характерна высокая простран-ственная неоднородность относительно concentra-ции в них микроэлементов (табл. 2). Наибольшей аккумуляцией микроэлементов отличаются органи-генные и гумусово-аккумулятивные горизонты.

В органигенных горизонтах очень высокие ко-эффициенты вариации ($V \geq 40\%$) характерны Ва, V, В, Сг и Ni. В гумусово-аккумулятивных горизон-тах АУ – Cu, Pb, Mn, Zr и Sr. В минеральном гори-зонте С – Ва, Mn, Sr и Ni.

Коэффициент радиальной дифференциации ($K_{рд}$), как известно, предложен для исследования неоднородности вертикального распределения концентрации химических веществ в почвенных профилях [9, 34]. Он отражает количественную оценку влияния почвообразования на накопление или вынос отдельных химических элементов в го-ризонтах почвенного профиля. Концентрация эле-мента в почвообразующей породе принята за 1.

Относительно почвообразующей породы, в ор-ганогенных горизонтах рассматриваемых почв

резко возрастает концентрация элементов биофилов: В ($K_{рд} = 24.93$), Mn ($K_{рд} = 19.23$) и Ва ($K_{рд} = 13.75$). Для Sr, Zn, Pb и Mo характерна относительно мень-шая концентрация ($K_{рд} = 1.36-4.08$). Эти элементы являются постоянными компонентами в органиче-ском веществе почв и участвуют в малом биологи-ческом круговороте. Наиболее сильным рассеянием в этом горизонте отличаются Сг, Ni и V, несколько меньшим – Zr и Co (рис. 2). В горизонтах АУ и АС выявлено преобладание аккумуляции большинства микроэлементов, однако в отличие от их накопле-ния в поверхностном органигенном горизонте (го-ризонт О) этот процесс выражен здесь менее интен-сивно. Наблюдаются слабый и средний вынос из го-ризонтов АУ Zn, V и Сг; из горизонта АС – Sr.

Рассчитанные коэффициенты концентрации свидетельствуют, что в органигенных горизонтах се-рогумусовых почв резко возрастает концентрация В ($KK = 24.31$), Mn ($KK = 8.33$) и Ва ($KK = 5.64$). Замет-но концентрируются Zn ($KK = 3.01$), Sr ($KK = 2.60$) и Pb ($KK = 2.39$). В незначительном количестве на-капливаются Cu и Mo. Очень понижен коэффици-ент концентрации Zr и Ni ($KK = 0.37$).

В гумусово-аккумулятивном горизонте АУ кон-центрируются Mn ($KK = 4.17$) и Ва ($KK = 2.15$). В меньшем количестве – Zr, Co, Mo и В. Слабым накоплением отличаются Cu, Сг, Sr и Zn. Содержа-ние остальных элементов невысокое. Относитель-ные коэффициенты концентрации составляют от 0.66–0.96 для Ni, V и Pb, что свидетельствует о сла-бом и среднем рассеянии этих элементов.

В горизонте АС в отличие от поверхностных органигенных и гумусово-аккумулятивных отме-чено увеличение концентрации практически всех микроэлементов, за исключением Zr, Ва и Sr. Ко-эффициенты концентрации этих элементов отно-сительно литосферных кларков ниже 1. В почвооб-разующей породе слабым накоплением обладают Сг, Zn, Cu, Pb и V.

По интенсивности накопления микроэлементов в почвенных горизонтах серогумусовых типичных почв составлены следующие геохимические фор-мулы (здесь и далее: числитель – элементы, имею-щие $KK \geq 1$; знаменатель – $KK < 1$):

О	$\frac{B_{24.31}, Mn_{8.33}, Ba_{5.64}, Zn_{3.01}, Sr_{2.60}, Pb_{2.39}, Cu_{1.63}, Mo_{1.36}}{Co_{0.65}, V_{0.54}, Cr_{0.50}, Zr_{0.37}, Ni_{0.37}}$
АУ	$\frac{Mn_{4.17}, Ba_{2.15}, Zr_{1.53}, Co_{1.48}, Mo_{1.36}, B_{1.25}, Cu_{1.13}, Cr_{1.12}, Sr_{1.08}, Zn_{1.04}}{V_{0.96}, Pb_{0.83}, Ni_{0.66}}$
АС	$\frac{Mn_{2.15}, Cr_{2.11}, B_{1.67}, Zn_{1.48}, Pb_{1.45}, Mo_{1.36}, V_{1.33}, Co_{1.29}, Cu_{1.21}, Ni_{1.10}}{Zr_{0.74}, Ba_{0.56}, Sr_{0.54}}$
С	$\frac{Cr_{2.01}, Zn_{1.13}, Cu_{1.06}, Pb_{1.04}, V_{1.04}, Mo_{1.00}}{B_{0.97}, Co_{0.93}, Ni_{0.66}, Sr_{0.64}, Zr_{0.61}, Mn_{0.43}, Ba_{0.41}}$

Таблица 1. Некоторые химические и физико-химические свойства серогумусовых почв

Горизонт	Глубина, см		Гранулометрический состав (фракция, мм), %		рН		Гумус		C/N	C _{тк} /C _{фк}	Обменные катионы			S, %
	<0.001	<0.01	H ₂ O	KCl	общ.	%	Ca ²⁺	Mg ²⁺			H ⁺	смоль(экв)/кг		
<i>Серогумусовые типичные почвы:</i>														
Разрез 803. Лиственничник разнотравный, IV класса бонитета; абс. отм. 1100 м (хр. Джидинский, Восточное Прихубеугулье)														
O	0–3	–	–	5.4	4.8	76.7*	–	–	–	–	60.0	15.0	3.2	62
AУ	3–9	10	20	5.9	5.1	7.3	0.59	7.2	0.75	–	22.5	8.5	3.1	69
AC	20–30	11	24	6.3	4.8	2.1	0.09	13.5	0.33	–	11.0	8.5	0.3	78
C	35–45	9	19	6.2	4.5	0.9	–	–	–	–	8.0	3.5	0.3	75
Разрез 511. Лиственничник разнотравный, III класса бонитета; абс. отм. 1500 м (Восточный Хэнтэй)														
O	0–2	–	–	6.0	4.9	83.0*	–	–	–	–	22.0	13.7	3.6	61
AУ	2–10	19	36	5.8	4.8	11.2	0.57	11.4	1.47	–	13.2	5.9	0.2	66
AC	10–20	17	32	5.7	4.4	4.0	0.11	20.9	0.54	–	6.3	2.0	0.5	59
C	40–50	7	11	6.0	4.4	0.7	–	–	–	–	2.4	0.2	0.2	74
Разрез 506. Лиственничник разнотравный, III класса бонитета; абс. отм. 1520 м (Восточный Хэнтэй)														
O	0–2	–	–	6.0	4.8	82.0*	–	–	–	–	20.8	7.2	0.8	68
AУ	2–10	19	37	5.8	4.7	10.0	0.46	12.6	0.80	–	16.3	6.3	0.4	53
AC	11–22	18	33	6.2	5.3	3.5	0.13	15.4	0.33	–	4.4	3.2	0.5	57
Cf	30–40	7	23	6.4	5.5	1.5	0.05	18.0	–	–	3.2	0.9	0.6	48
C	60–70	13	21	6.4	5.5	0.6	–	–	–	–	3.5	0.7	0.4	49
±C	80–100	8	16	6.6	5.4	0.5	–	–	–	–	2.6	0.4	0.2	46
<i>Серогумусовые элювируемые глинисто-иллювируемые почвы:</i>														
Разрез 896. Сосняк бруснично-разнотравный, II класса бонитета; абс. отм. 1000 м (Северо-Западный Хэнтэй)														
O	0–3	–	–	6.4	4.9	93.5*	–	–	–	–	26.6	17.5	16.1	56
AУ	10–20	8	33	5.1	4.2	4.1	0.19	12.6	1.00	–	21.4	6.0	14.6	60

AYel	30–40	13	36	5.6	4.2	1.8	0.09	11.1	0.40	6.4	3.3	3.6	57
Ci	42–52	15	38	5.6	4.2	0.9	–	–	–	8.5	3.5	2.9	66
C	60–70	7	16	5.5	4.1	0.1	–	–	–	6.0	2.2	1.3	–
Разрез 544. Лиственничник разнотравный, III класса бонитета; абс. отг. 1560 м (Восточный Хэнгэй)													
O	0–3	–	–	6.0	5.1	84.0*	–	–	–	41.1	13.7	1.2	79
AY	3–10	16	39	6.1	5.0	8.4	0.38	12.9	1.28	15.9	5.2	0.7	81
AYel	10–20	15	38	6.1	5.1	3.5	0.12	16.6	0.40	18.7	4.7	0.8	86
Ci	30–40	14	37	6.4	5.3	1.9	0.07	15.7	–	21.7	3.4	0.4	89
C	50–60	12	28	6.5	5.4	0.6	–	–	–	20.9	0.2	0.4	85
±C	80–90	13	24	6.3	5.3	0.6	–	–	–	24.0	7.3	0.4	–
Разрез 870. Лиственничник бруснично-разнотравный, IV класса бонитета; абс. отг. 1700 м (хр. Бутэлийн-Нуру, Восточное Прихубсугулье)													
O	0–1	–	–	5.6	4.5	90.0*	–	–	–	31.5	16.5	2.9	59
AY	1–3	8	21	5.9	4.2	17.5	0.99	10.2	0.76	24.0	8.0	1.4	57
AYe	3–11	7	18	5.0	4.2	9.6	0.65	8.6	0.43	14.0	4.5	2.3	52
Ci	11–21	10	27	5.2	4.0	3.3	0.20	9.5	–	7.5	0.1	2.3	68
Ci	30–40	7	25	5.2	4.2	2.3	0.12	10.8	–	4.5	0.1	1.7	72
C	70–80	6	15	5.2	4.3	0.7	–	–	–	3.5	0.1	0.5	78

* Потеря при прокаливании.

Примечание. S – степень насыщенности основаниями; прочерк – не определяли.

Таблица 2. Изменчивость содержания микроэлементов в органо-аккумулятивных почвах

Горизонт	Статистический параметр	Pb	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni	Mn	Mo	Ba	Sr	Zr	B
<i>Серогумусовые типичные почвы (n = 6)</i>														
O	<i>lim</i>	35–40	70–80	150–300	10–15	20–75	20–75	10–40	7000–10000	1–2	2000–6000	800–1000	50–80	175–500
	<i>M ± m</i>	38.3 ± 1.7	76.7 ± 3.3	250.0 ± 50.0	11.7 ± 1.7	48.3 ± 15.9	41.7 ± 16.9	21.7 ± 9.2	8333.3 ± 881.9	1.5 ± 0.3	3666.7 ± 1201.8	883.3 ± 60.0	63.3 ± 8.8	291.7 ± 104.4
AY	<i>V</i>	7.6	7.6	34.6	24.8	56.9	70.2	74.2	18.3	33.3	56.8	11.8	24.2	62.0
	<i>lim</i>	10–20	40–80	80–100	20–40	80–100	80–100	25–60	1500–6000	1–2	400–2000	100–600	80–400	10–20
AC	<i>M ± m</i>	13.3 ± 3.3	53.3 ± 13.3	86.7 ± 6.7	26.7 ± 6.7	86.7 ± 6.7	93.3 ± 6.7	38.3 ± 8.8	4166.7 ± 1364.2	1.5 ± 0.3	1400.0 ± 80.3	366.7 ± 145.3	260.0 ± 94.5	15.0 ± 2.9
	<i>V</i>	43.6	43.3	13.3	43.1	13.3	12.3	42.3	56.7	33.3	28.6	68.3	62.9	33.3
C	<i>lim</i>	20–30	40–80	100–150	20–30	100–150	150–200	20–100	450–5000	1–2	300–400	100–300	80–200	10–30
	<i>M ± m</i>	23.3 ± 3.3	56.7 ± 12.0	123.3 ± 14.5	23.3 ± 3.3	120.0 ± 15.2	175.0 ± 14.4	64.0 ± 25.1	2150.0 ± 333.8	1.5 ± 0.3	366.7 ± 33.3	183.3 ± 60.0	126.7 ± 37.1	20.0 ± 5.7
C	<i>V</i>	24.9	36.7	20.4	24.9	22.0	14.3	65.0	31.8	33.3	15.7	56.8	50.7	50.0
	<i>lim</i>	15–20	40–60	80–100	10–20	80–100	150–200	15–80	200–800	1–1.4	200–400	100–300	80–150	10–15
O	<i>M ± m</i>	16.6 ± 1.7	50.0 ± 5.8	93.3 ± 6.7	16.7 ± 3.3	93.3 ± 6.7	166.7 ± 16.7	38.3 ± 12.9	433.3 ± 115.6	1.1 ± 0.1	266.7 ± 66.7	216.7 ± 60.1	103.3 ± 23.3	11.7 ± 1.7
	<i>V</i>	17.5	20.0	12.3	34.7	12.3	17.3	65.8	51.1	18.2	43.3	48.0	39.1	24.8
<i>Темногумусовые метаморфизованные почвы (n = 5)</i>														
O	<i>lim</i>	20–40	50–150	100–400	2–20	20–150	20–200	15–40	6000–10000	1–2	2000–6000	800–1000	60–200	300–500
	<i>M ± m</i>	32.5 ± 4.7	95.0 ± 21.0	237.5 ± 68.8	13.0 ± 4.3	92.5 ± 33.7	85.0 ± 22.7	26.2 ± 5.5	8000.0 ± 816.5	1.5 ± 0.3	4250.0 ± 853.9	925.0 ± 47.8	110.0 ± 31.1	437.5 ± 47.3
AU	<i>V</i>	29.5	44.2	57.9	66.9	72.9	53.4	41.9	20.4	40.0	40.2	10.3	56.5	21.6
	<i>lim</i>	10–15	30–60	60–100	8–20	50–80	30–100	10–20	2000–5000	1.5–2	1000–3000	500–800	100–400	20–30
AU	<i>M ± m</i>	11.2 ± 1.2	42.5 ± 6.3	80.0 ± 8.1	12.0 ± 2.7	70.0 ± 7.1	62.5 ± 14.4	15.0 ± 2.0	3750.0 ± 629.1	1.7 ± 0.1	2250.0 ± 478.7	625.0 ± 62.9	225.0 ± 62.9	27.5 ± 2.5
	<i>V</i>	22.3	29.1	20.4	45.0	20.1	45.9	27.3	33.5	11.7	42.5	20.1	55.9	18.2

Сm	<i>lim</i>	15–20	40–60	100–150	15–20	40–100	80–200	20–150	400–800	1–1.5	400–500	200–500	150–200	10–20
	$M \pm m$	16.2 ± 1.2	50.0 ± 5.8	112.5 ± 12.5	16.3 ± 1.2	80.0 ± 14.1	140.0 ± 34.6	72.5 ± 11.9	600.0 ± 81.6	1.2 ± 0.1	425.0 ± 25.0	325.0 ± 62.9	175.0 ± 14.4	13.7 ± 2.3
	<i>V</i>	15.4	23.0	22.2	15.4	35.2	49.5	32.8	27.2	16.7	11.8	38.7	16.4	35.0
С	<i>lim</i>	15–16	40–50	80–100	10–15	60–100	150–300	30–200	300–600	1–1.5	200–400	150–300	100–150	10–30
	$M \pm m$	15.5 ± 0.3	42.5 ± 2.5	95.0 ± 5.0	12.5 ± 1.4	90.0 ± 10.0	200.0 ± 35.3	90.0 ± 20.2	450.0 ± 64.5	1.1 ± 0.1	325.0 ± 47.8	200.0 ± 35.3	135.0 ± 11.9	17.5 ± 4.8
	<i>V</i>	3.9	11.8	10.5	23.2	22.2	35.3	44.9	28.7	18.2	29.4	35.3	17.6	54.8
<i>Темнозольные остаточно-карбонатные почвы (n = 5)</i>														
О	<i>lim</i>	30–40	60–80	100–150	15–20	50–65	50–60	15–20	4000–6000	2–3	2000–5000	1000–2000	100–200	200–500
	$M \pm m$	37.5 ± 2.5	72.5 ± 4.8	137.5 ± 12.5	17.5 ± 1.4	56.2 ± 3.7	57.5 ± 2.5	17.5 ± 1.4	5250.0 ± 478.7	2.5 ± 0.3	3125.0 ± 657.5	1375.0 ± 239.4	150.0 ± 20.4	275.0 ± 75.0
	<i>V</i>	13.3	13.1	18.2	16.6	13.3	8.7	16.6	18.2	24.0	42.1	34.8	27.2	54.5
АU	<i>lim</i>	10–20	40–60	60–100	3–10	50–100	200–300	20–30	2000–4000	1.5–2	1500–2000	500–600	200–300	10–20
	$M \pm m$	15.0 ± 2.0	50.0 ± 5.8	80.0 ± 8.1	6.2 ± 1.4	87.5 ± 12.5	237.5 ± 23.9	22.5 ± 2.5	3000.0 ± 408.2	1.7 ± 0.1	1625.0 ± 125.0	525.0 ± 25.0	225.0 ± 25.0	15.0 ± 2.9
	<i>V</i>	26.7	23.9	20.4	45.2	28.6	20.1	22.2	27.2	11.8	15.4	9.2	22.2	38.7
АС	<i>lim</i>	10–15	30–40	60–100	3–10	60–100	100–200	15–20	500–800	1–1.5	300–500	300–400	80–110	15–20
	$M \pm m$	13.7 ± 1.2	32.5 ± 2.5	75.0 ± 9.5	5.2 ± 1.6	75.0 ± 9.5	125.0 ± 25.0	17.5 ± 1.4	675.0 ± 75.0	1.2 ± 0.1	400.0 ± 57.7	350.0 ± 28.9	97.5 ± 6.3	16.2 ± 1.2
	<i>V</i>	18.2	15.4	25.4	63.5	25.4	40.0	16.6	22.2	16.7	28.9	16.5	12.9	15.4
Сса	<i>lim</i>	15–30	40–80	100–150	10–15	100–150	80–100	15–30	400–600	1–1.5	300–500	300–500	100–150	15–30
	$M \pm m$	23.7 ± 3.7	52.5 ± 9.4	112.5 ± 12.5	12.5 ± 1.4	137.5 ± 12.5	90.0 ± 5.8	23.7 ± 3.7	450.0 ± 50.0	1.1 ± 0.1	400.0 ± 57.7	400.0 ± 40.8	112.5 ± 12.5	21.2 ± 3.1
	<i>V</i>	31.6	36.0	22.2	23.2	18.2	12.8	31.6	22.2	18.2	28.8	20.4	22.2	29.7

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

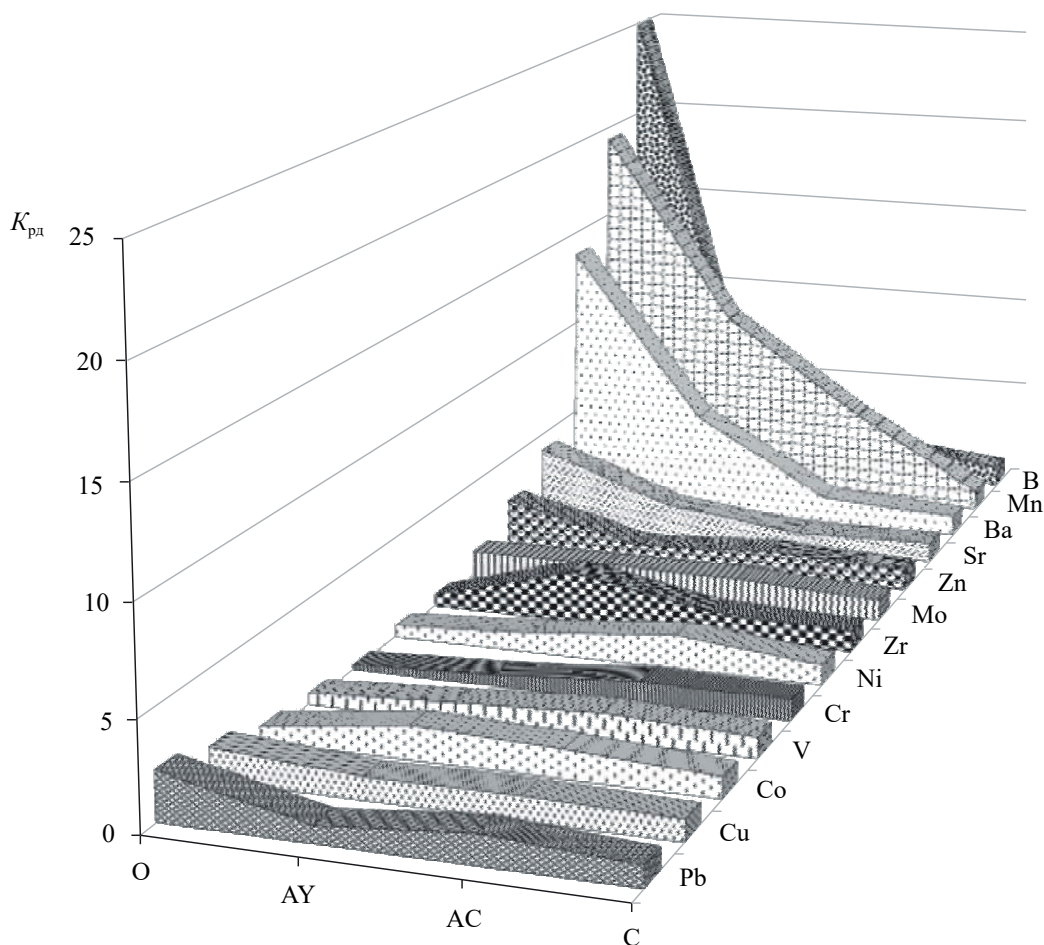


Рис. 2. Внутрипрофильная миграция микроэлементов в серогумусовых типичных почвах.

Следует отметить, что обогащение поверхностных органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтов рассматриваемых почв В и Мп происходит за счет их привноса с лесным опадом. В материнской породе они не накапливаются, а интенсивно выносятся благодаря образованию легкорастворимых и подвижных соединений [10, 34].

В отличие от типичных, в серогумусовых глинисто-иллювирированных оподзоленных почвах для большинства элементов характерна как биогенная аккумуляция в поверхностных органогенных горизонтах, так и элювиально-иллювиальная их диф-

ференциация в почвенном профиле (табл. 3). В поверхностном органогенном горизонте интенсивно аккумулируются Мп ($K_{рд} = 33.34$), В ($K_{рд} = 13.33$) и Ва ($K_{рд} = 10.00$). Относительно меньше Zn ($K_{рд} = 3.75$), Sr ($K_{рд} = 3.33$), Pb ($K_{рд} = 2.67$) и Mo ($K_{рд} = 2.00$). Наблюдается обеднение микроэлементами элювирированного горизонта АУе, преимущественно группы железа, и накопление их в нижнем минеральном горизонте Сі (рис. 3).

Геохимические формулы почвенных горизонтов серогумусовой глинисто-иллювиальной оподзоленной почвы (разрез 870) имеют следующий вид:

О	$\frac{B_{16.67}, Mn_{10.00}, Zn_{3.61}, Ba_{3.07}, Sr_{2.94}, Pb_{2.50}, Mo_{1.82}, Cu_{1.70}}{Cr_{0.36}, Zr_{0.29}, V_{0.22}, Ni_{0.18}}$
АУ	$\frac{Mn_{6.00}, Zr_{2.35}, Sr_{1.76}, B_{1.25}, Ba_{1.23}, Cr_{1.20}, Co_{1.11}, Mo_{1.0}}{Zn_{0.96}, V_{0.89}, Cu_{0.85}, Pb_{0.62}, Ni_{0.34}}$
АУе	$\frac{Mn_{3.00}, Mo_{1.50}, B_{1.25}, Sr_{1.17}, Zr_{1.17}, Co_{1.11}}{Zn_{0.96}, V_{0.89}, Cu_{0.85}, Ba_{0.77}, Cr_{0.72}, Pb_{0.62}, Ni_{0.26}}$

Ci	$\frac{Cr_{1.81}, B_{1.67}, Mo_{1.50}, Pb_{1.25}, Zn_{1.20}, Co_{1.11}, V_{1.11}, Cu_{1.06}}{Sr_{0.88}, Zr_{0.88}, Ba_{0.61}, Ni_{0.52}, Mn_{0.50}}$
Ci	$\frac{Cr_{2.40}, Zn_{1.81}, B_{1.67}, Mo_{1.50}, Cu_{1.28}, Pb_{1.25}, Co_{1.11}, V_{1.11}}{Sr_{0.59}, Zr_{0.59}, Ni_{0.52}, Ba_{0.46}, Mn_{0.40}}$
C	$\frac{B_{1.25}, Cu_{1.06}, Mo_{1.00}}{Zn_{0.96}, Pb_{0.93}, V_{0.89}, Sr_{0.88}, Cr_{0.72}, Co_{0.56}, Zr_{0.47}, Ba_{0.31}, Mn_{0.30}, Ni_{0.26}}$

Таблица 3. Содержание микроэлементов в серогумусовой глинисто-иллювирированной оподзоленной почве (разрез 870), мг/кг

Горизонт	Глубина, см	Pb	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni	Mn	Mo	Ba	Sr	Zr	B
O	0–1	40	80	300	Не опр.	20	30	10	10000	2	2000	1000	50	200
AУ	1–3	10	40	80	20	80	100	20	6000	1	800	600	400	15
AУе	3–11	10	40	80	20	80	60	15	3000	1.5	500	400	200	15
Ci	11–21	20	50	100	20	100	150	30	500	1.5	400	300	150	20
Ci	30–40	20	60	150	20	100	200	30	400	1.5	300	200	100	20
C	70–80	15	50	80	10	80	60	15	300	1	200	300	80	15

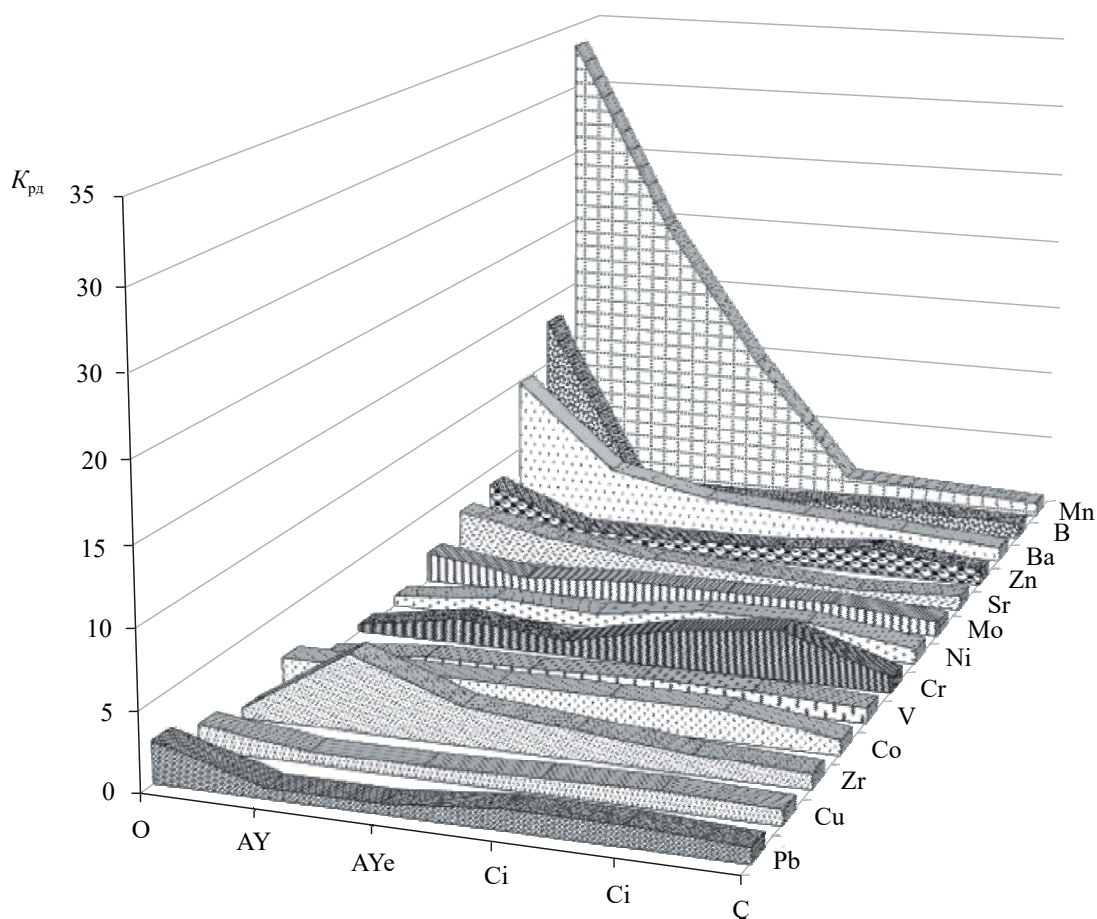


Рис. 3. Внутрипрофильная миграция микроэлементов в серогумусовой глинисто-иллювирированной оподзоленной почве (разрез 870).

Темногумусовые почвы (Haplic Phaeozems) формируются в нижнем и отчасти среднем горном поясе под подтаежными и подтаежно-лесостепными разреженными лиственными или производными лесами с хорошо развитым травянистым напочвенным покровом, имеющим относительно мощный темноокрашенный гумусовый горизонт. Эта переходная полоса от леса к степи в Монголии представляет собой в настоящее время пояс контакта леса и степи. Она хорошо выражена в Западном и Восточном Хэнтэе, Восточном Прихубсугулье и в Хангае.

В пределах типа темногумусовых почв выделены подтипы метаморфизованных и остаточного-карбонатных почв.

Темногумусовые метаморфизованные почвы (Cambic Someric Phaeozem (Loamic)) на поверхности имеют маломощную лесную подстилку (1–2 см). Далее следует темногумусовый аккумулятивный горизонт AU, мощностью 10–35 см. Горизонт имеет черно-бурю или темно-бурю окраску. За ним следует горизонт ACm буровато-коричневого, коричневого цвета, в котором имеются гумусированные пятна темно-серого, буровато-серого цвета. Общая мощность аккумулятивной части (AU + ACm) профиля составляет 25–45 см. Ниже залегает горизонт Cm, коричневого цвета, он уплотнен, по граням педов имеются темно-бурые пятна полуторных оксидов.

По гранулометрическому составу почвы средние-, тяжелосуглинистые, с высоким содержанием включений щебня в нижних почвенных горизонтах (табл. 4). Наблюдается четкая дифференциация по профилю содержания фракций физической глины, накопления ее в горизонте Cm.

Количество гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте AU составляет 13.6–14.4%. Характерно его резкое уменьшение (до 2.2–4.8%) в горизонте Cm. В групповом составе гумуса преобладают гуминовые кислоты, но уже в нижележащем горизонте Cm гумус фульватно-гуматного и даже фульватного типа. Почвы обладают слабокислой реакцией по всему профилю. Темногумусовые метаморфизованные

почвы характеризуются высокой емкостью катионного обмена – 28–48 смоль(экв)/кг. Почвы насыщены основаниями.

Для органогенных горизонтов темногумусовых метаморфизованных почв характерна большая пространственная неоднородность микроэлементного состава. Практически все элементы здесь имеют высокие коэффициенты вариации ($V = 40–73\%$), за исключением Sr, Mn, B и Pb. В темногумусовом горизонте AU высокими коэффициентами вариации ($V = 42–56\%$) обладают Ba, Co, Cr и Zr, а в горизонте Cm – Cr. Остальные элементы в этих горизонтах имеют коэффициент вариации, изменяющийся от среднего до низкого.

Приведенные коэффициенты радиальной дифференциации ($K_{рд}$) для профиля темногумусовых метаморфизованных почв свидетельствуют об их преимущественном аккумулятивном перераспределении по профилю, а также относительно накоплении некоторых микроэлементов в горизонте Cm (рис. 4). В органогенных горизонтах, по сравнению с почвообразующей породой, в большом количестве аккумулируется B, Mn и Ba.

Коэффициенты концентрации относительно литосферных кларков свидетельствуют, что в органогенных горизонтах темногумусовых метаморфизованных почв резко возрастает концентрация B ($KK = 36.46$), Mn ($KK = 8.00$) и Ba ($KK = 6.53$). Коэффициенты концентрации Zn, Sr, Pb, Cu и Mo изменяются от 1.36 до 2.86. В незначительном количестве накапливается V и Cr. Коэффициенты концентрации меняются от 0.45 до 0.62 для Ni, Zr и Co и свидетельствуют о среднем рассеянии этих элементов.

В горизонте Cm относительно высокими коэффициентами концентрации отличаются Cr ($KK = 1.68$), Zn ($KK = 1.35$), Ni ($KK = 1.25$) и B ($KK = 1.14$). Наблюдается незначительное накопление здесь Mo, Cu, Zr, Pb и слабое рассеяние Sr, Cr, V, Ba и Mn.

Геохимические формулы почвенных горизонтов темногумусовых метаморфизованных почв имеют вид:

O	$\frac{B_{36.46}, Mn_{8.00}, Ba_{6.53}, Zn_{2.86}, Sr_{2.72}, Pb_{2.03}, Cu_{2.02}, Mo_{1.36}, V_{1.03}, Cr_{1.02}}{Co_{0.72}, Zr_{0.65}, Ni_{0.45}}$
AU	$\frac{Mn_{3.75}, Ba_{3.46}, B_{2.29}, Sr_{1.83}, Mo_{1.54}, Zr_{1.32}}{Zn_{0.96}, Cu_{0.90}, V_{0.78}, Cr_{0.75}, Pb_{0.70}, Co_{0.67}, Ni_{0.26}}$
Cm	$\frac{Cr_{1.68}, Zn_{1.35}, Ni_{1.25}, B_{1.14}, Mo_{1.09}, Cu_{1.06}, Zr_{1.03}, Pb_{1.01}}{Sr_{0.96}, Co_{0.90}, V_{0.89}, Ba_{0.65}, Mn_{0.60}}$
C	$\frac{Cr_{2.41}, Ni_{1.55}, B_{1.46}, Zn_{1.14}, V_{1.00}, Mo_{1.00}}{Pb_{0.97}, Cu_{0.90}, Zr_{0.79}, Co_{0.69}, Sr_{0.59}, Ba_{0.50}, Mn_{0.45}}$

Таблица 4. Некоторые химические и физико-химические свойства темногумусовых почв

Горизонт	Глубина, см	Гранулометрический состав (фракция, мм), %		pH H ₂ O	Гумус	N	C/N	C _{тк} /C _{фк}	Обменные катионы		
		<0.001	<0.01						Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
							общ. %	смоль(экв)/кг			
<i>Темногумусовые метаморфизованные почвы:</i>											
Разрез 5. Лиственничник вейниково-осочково-разнотравный, III класса бонитета; абс. отм. 1600 м (Восточный Хэнтэй)											
O	0–1	–	–	6.2	82.0*	–	–	–	30.8	7.1	0.9
AU	1–10	15	31	6.0	13.6	0.65	10.3	2.29	24.0	6.3	0.5
ACm	20–30	22	47	6.2	3.6	0.13	13.7	0.54	15.7	3.2	0.4
Cm	35–45	25	49	6.4	2.2	0.08	13.8	–	13.5	4.2	0.5
C	50–60	23	42	6.6	0.9	–	–	–	13.0	4.0	0.5
Разрез 710. Лиственничник ирисово-разнотравный, III класса бонитета; абс. отм. 1170 м (хр. Джидинский, Восточное Прихубсугулье)											
O	0–1	–	–	5.8	71.1*	–	–	–	41.8	26.3	2.2
AU	1–8	11	36	6.2	13.8	0.68	10.0	2.88	26.1	12.7	1.7
AU	10–20	14	42	6.2	11.4	0.41	13.7	1.66	20.4	11.4	1.3
Cm	30–40	15	45	6.4	4.1	–	–	0.59	11.5	3.2	1.3
C	40–50	10	43	6.7	1.0	–	–	–	8.0	2.0	0.5
Разрез 406. Березняк ирисово-разнотравный, абс. отм. 1000 м (хр. Джидинский, Восточное Прихубсугулье)											
O	0–1	–	–	7.0	74.0*	–	–	–	37.0	16.0	–
AU	5–25	12	32	6.4	14.4	0.93	7.6	–	21.6	6.0	0.3
Cm	40–50	19	41	6.6	4.8	0.19	12.5	–	20.6	5.0	0.2
C	60–70	16	36	6.5	1.4	–	–	–	17.0	6.0	0.2
<i>Темногумусовые остаточно-карбонатные почвы:</i>											
Разрез 801. Лиственничник осочково-разнотравный, IV класса бонитета; абс. отм. 950 м (хр. Джидинский, Восточное Прихубсугулье)											
O	0–1	–	–	6.8	91.0*	–	–	–	45.0	8.0	–
AU	1–7	9	23	7.2	16.5	1.64	5.0	3.22	27.0	3.5	–
AU	7–17	9	22	7.4	5.6	0.72	3.9	1.10	23.5	4.0	–
AC	25–35	9	21	7.3	4.1	0.56	3.6	–	11.5	7.5	1.28**
C1ca	40–50	11	29	7.3	2.5	0.13	9.8	–	18.0	4.0	0.57**
C2ca	70–80	17	26	7.7	1.3	–	–	–	32.6	1.6	9.20**
Разрез 163. Березняк ирисово-разнотравный; абс.отм. 1060 м (хр. Джидинский, Восточное Прихубсугулье)											
O	0–1	–	–	6.3	83.0*	–	–	–	32.6	1.6	–
AU	1–9	10	18	6.6	10.9	0.76	8.3	2.06	30.0	6.0	–
AC	9–19	10	23	6.6	2.5	0.22	6.4	1.01	14.0	0.6	–
C	20–30	12	21	6.8	0.9	–	–	–	10.6	1.6	–
Cca	45–55	12	24	7.1	0.9	–	–	–	13.0	1.6	0.92**
Cca	65–75	9	17	8.2	–	–	–	–	18.0	3.0	5.76**
Разрез 350. Березняк ирисово-разнотравный; абс.отм. 1250 м (хр. Джидинский, Восточное Прихубсугулье)											
O	0–3	–	–	5.5	81.1*	–	–	–	28.7	20.1	–
AU	3–9	11	42	6.0	7.3	0.58	6.1	–	20.3	13.6	–
AC	10–20	16	49	6.8	4.2	0.11	18.5	–	20.6	11.8	–
C	20–30	14	46	7.7	1.0	–	–	–	22.8	12.6	0.11**
Cca	40–50	13	35	8.3	0.2	–	–	–	29.2	12.9	4.88**

* Потеря при прокаливании.

** Содержание CO₂, %; прочерк – не определяли.

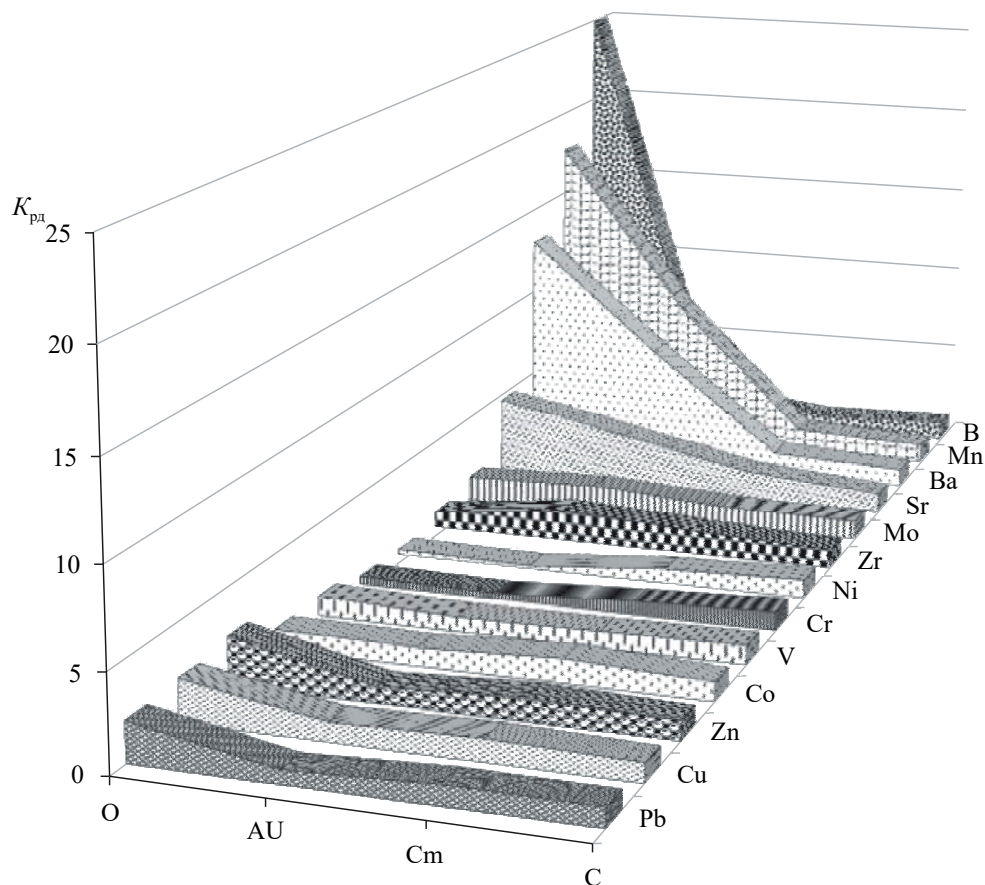


Рис. 4. Внутривертикальная миграция микроэлементов в темногумусовых метаморфизованных почвах.

Темногумусовые остаточно-карбонатные почвы формируются в условиях подтаежного высотного пояса, на продуктах выветривания карбонатных горных пород. Наиболее широко они распространены в средней и нижней частях подтаежного ВПК, а также в лесных массивах пояса контакта леса и степи, под разнотравными, остепненно-разнотравными сосновыми и лиственничными лесами и их производными. Почвы характеризуются наличием маломощной лесной подстилки (1–2 см); темногумусового горизонта AU, мощностью 10–20 см, постепенно переходящего в материнскую породу. Для профилей рассматриваемых почв характерно наличие переходного горизонта AC. Окраска может быть различной и зависит от литологии материнской и подстилающей породы. Характерной чертой этих почв является наличие легкорастворимых солей в нижних горизонтах Cca.

Гранулометрический состав почв легко-, тяжелоуглинистый. Наряду с большим содержанием крупных фракций отмечается высокое содержание ила и физической глины.

Почвы характеризуются высоким содержанием гумуса в горизонте AU – 7.3–16.5% и резким его

уменьшением с глубиной. Гумус по составу варьирует от чисто гуматного до фульватно-гуматного типа. Верхние горизонты почв обладают слабкокислой и нейтральной реакцией, нижние – щелочной. Почвенный поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием.

Темногумусовые остаточно-карбонатные почвы характеризуются высокой пространственной неоднородностью микроэлементного состава. Высокими коэффициентами вариации ($V = 42–55\%$) в органогенных горизонтах отличаются Ba и B. В темногумусовом горизонте AU – B ($V = 45\%$).

Относительно почвообразующей породы, в органогенных горизонтах рассматриваемых почв наблюдается резкая аккумуляция элементов биотитов: B ($K_{рд} = 12.97$), Mn ($K_{рд} = 11.67$) и Ba ($K_{рд} = 7.81$). Для Sr и Mo характерна относительно меньшая концентрация ($K_{рд} = 2.27–3.43$). Еще меньшей аккумуляцией в этом горизонте обладают Pb ($K_{рд} = 1.58$), Co ($K_{рд} = 1.40$), Cu ($K_{рд} = 1.38$), Zr ($K_{рд} = 1.33$) и Zn ($K_{рд} = 1.22$). Наблюдается обеднение органогенных горизонтов V, Cr и Ni (рис. 5).

Коэффициенты концентрации свидетельствуют о значительном накоплении микроэлементов в

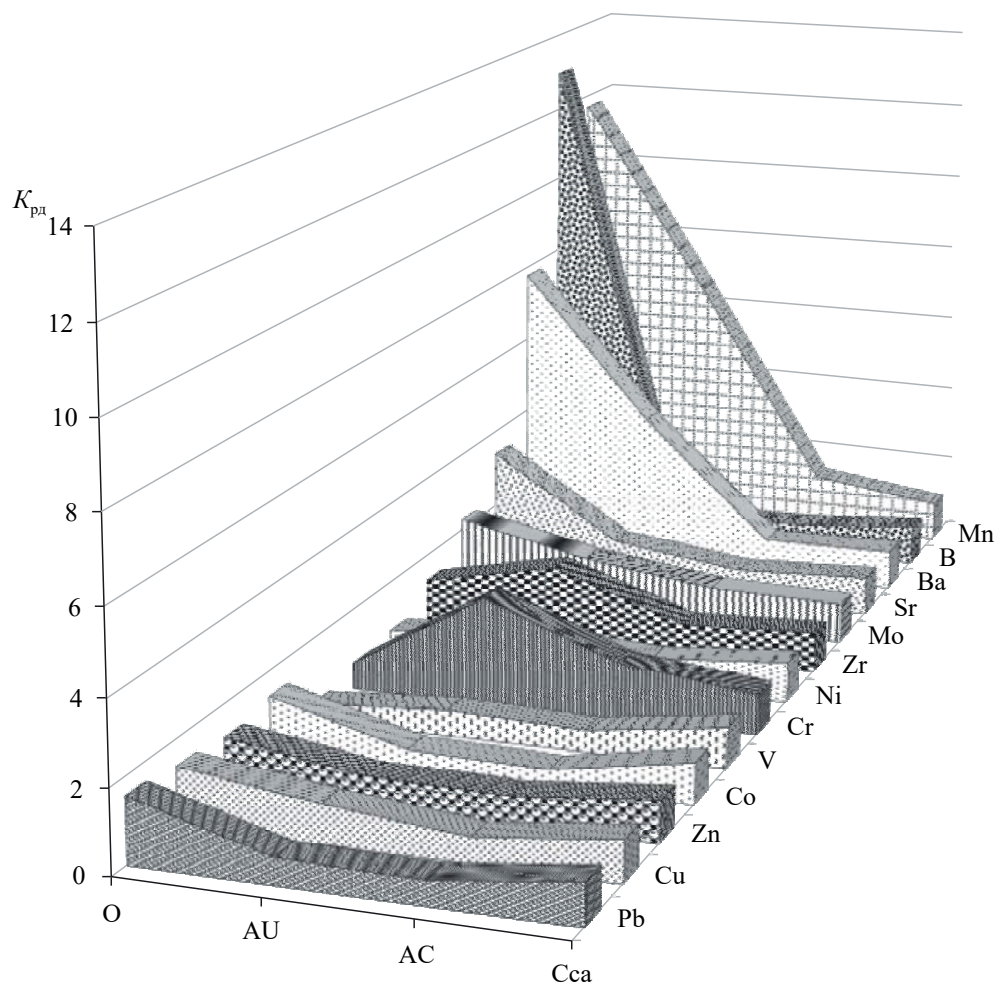


Рис. 5. Внутрипрофильная миграция микроэлементов в темногумусовых остаточно-карбонатных почвах.

органогенном и гумусово-аккумулятивном горизонтах рассматриваемых почв и значительном выносе их из горизонта AC. В то же время наблюдается заметное увеличение концентрации большинства элементов в карбонатном горизонте Cca. Геохимический карбонатный барьер в этих почвах выражен

более четко, чем в перегнойно-серогумусовых остаточно-карбонатных, формирующихся в условиях среднегорного рельефа Хангайского нагорья [23].

Геохимические формулы почвенных горизонтов темногумусовых остаточно-карбонатных почв имеют вид:

O	$\frac{B_{22.92}, Mn_{5.25}, Ba_{4.80}, Sr_{4.04}, Pb_{2.34}, Mo_{2.27}, Zn_{1.65}, Cu_{1.54}}{Co_{0.97}, Zr_{0.88}, Cr_{0.69}, V_{0.62}, Ni_{0.30}}$
AU	$\frac{Mn_{3.00}, Cr_{2.86}, Ba_{2.50}, Mo_{1.54}, Sr_{1.54}, Zr_{1.32}, B_{1.25}, Cu_{1.06}}{V_{0.97}, Zn_{0.96}, Pb_{0.94}, Ni_{0.39}, Co_{0.34}}$
AC	$\frac{Cr_{1.51}, B_{1.25}, Mo_{1.09}, Sr_{1.02}}{Zn_{0.90}, Pb_{0.86}, V_{0.83}, Cu_{0.69}, Mn_{0.67}, Ba_{0.61}, Zr_{0.57}, Ni_{0.30}, Co_{0.29}}$
Cca	$\frac{B_{1.77}, V_{1.53}, Pb_{1.48}, Zn_{1.35}, Sr_{1.17}, Cu_{1.11}, Cr_{1.08}, Mo_{1.00}}{Co_{0.59}, Zr_{0.66}, Ba_{0.61}, Mn_{0.45}, Ni_{0.41}}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные материалы по микроэлементному составу органо-аккумулятивных почв подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесов Северной Монголии свидетельствуют о преимущественном биогенном их накоплении в поверхностных органогенных и гумусовых горизонтах и аккумулятивном перераспределении по почвенным профилям. В органогенных горизонтах почв интенсивно накапливаются В, Мп и Ва. Наблюдается закономерное обеднение их элементами группы металлов Cr, Ni, V, Co, а в определенных условиях и Zr.

Среди органо-аккумулятивных почв темногумусовые отличаются относительно более выраженным аккумулятивным типом распределения микроэлементов в профиле.

Для рассматриваемых почв характерна высокая вариабельность и неоднородность микроэлементного состава в почвенном профиле. Высокие коэффициенты вариации (более 40%) микроэлементов в органогенных и гумусовых горизонтах связаны с разной степенью минерализации и гумификации органического вещества, а в минеральных – наличием включений обломков горных пород разной степени выветрелости и разного минералогического и петрографического состава не связанные генетически с подстилающими коренными горными породами.

Повышенное содержание микроэлементов и слабый их вынос связаны также с гидротермическими условиями: малым количеством осадков, непродолжительным (коротким) вегетационным периодом, невысокими температурами воздуха летом и низкими – зимой. Гидротермические условия способствуют большому накоплению растительного опада под пологом леса и слабой его минерализации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. *Ахметова Г.В.* Особенности содержания микроэлементов в лесных почвах трех типов ландшафтов среднетаежной подзоны Карелии // *Лесной журнал.* 2009. № 4. С. 49–53.
3. *Батжаргал Б., Ивельский П.К., Мартынов В.П., Мартынова А.С.* Почвы // *Природные условия и ресурсы Прихубсугуля в МНР.* М.: Недра, 1976. С. 96–113.
4. *Белозерцева И.А., Энхтайван Д.* Почвы северного Прихубсугуля и их трансформация в процессе землепользования // *География и природные ресурсы.* 2011. № 2. С. 173–182.
5. *Берзина А.П., Гимон В.О., Николаева И.В., Полесских С.В., Травина А.В.* Базиты полихронного магматического центра с Cu-Mo-порфировым месторождением Эрдэнэтуин-Обо (Северная Монголия): петрохимия, геохронология, геодинамическая позиция, связь с рудообразованием // *Геология и геофизика.* 2009. Т. 50. № 10. С. 1077–1094.
6. *Беспалов Н.Д.* Почвы Монгольской Народной Республики. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 319 с.
7. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
8. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
9. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // *Геохимия.* 1962. № 7. С. 555–571.
10. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. Собр. тр. М.: Изд-во РАН, 2021. Т. 4. 298 с.
11. *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.
12. *Добровольский В.В.* Геохимия микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
13. *Добровольский В.В.* Геохимия почв и ландшафтов. М.: Научный мир, 2009. Т. 2. 752 с.
14. *Доржготов Д.* Почвы Монголии. Автореф. дис. ... докт. наук. М., 1992. 51 с.
15. *Ильин В.Б.* Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах – важный компонент экологического мониторинга // *Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде.* Докл. II междунар. науч.-практ. конф. Семипалатинск, 2002. Т. 1. С. 141–147.
16. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 436 с.
17. *Классификация и диагностика почв России.* Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
18. *Ковда В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
19. *Конищев В.Н.* Формирование состава дисперсных пород в криолитозоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 197 с.
20. *Кононова М.М., Бельчикова Н.П.* Ускоренные методы определения состава гумуса минеральных почв // *Почвоведение.* 1961. № 10. С. 75–87.

21. *Коротков И.А.* Типы леса Монгольской Народной Республики // Леса МНР. М.: Наука, 1978. С 47–121.
22. *Краснощечков Ю.Н.* Структура вертикальной почвенной поясности и почвы лесных ландшафтов Северной Монголии // Почвоведение. 1996. № 4. С. 401–410.
23. *Краснощечков Ю.Н.* Почвенный покров и почвы горных лесов Северной Монголии. Новосибирск: Наука, 2013. 196 с.
24. *Краснощечков Ю.Н.* Геохимические особенности криогенных и альфегумусовых почв горной тайги Северной Монголии // Почвоведение. 2021. № 1. С. 31–44.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X21010068>
25. *Кузнецова Л.Г., Спиридонов А.М., Дриль С.И., Куликова З.И.* Геохимия лепидолитовых гранитоидов проявления Мунгутийн Цагаан Дурулж (Центральная Монголия) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 10. С. 1401–1416.
26. *Кузьмин В.А.* Геохимия почв юга Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Соцавы СО РАН, 2005. 137 с.
27. *Макеев О.В.* Дерновые таежные почвы юга Средней Сибири. Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1959. 347 с.
28. *Мартынов В.П., Батжаргал Б., Мартынова А.С.* Карта почвенного покрова. М-б 1 : 1 000 000 // Атлас оз. Хубсугул. М.: ГУГК, 1989. 42 с.
29. *Михайленко М.М.* Почвы южной тайги Западного Забайкалья. М.: Наука, 1967. 157 с.
30. *Ногина Н.А.* Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
31. *Ногина Н.А., Доржготов Д.* Своеобразие почвенного покрова Монголии // Тр. Ин-та ботаники АН МНР. № 7. Улан-Батор, 1985. С. 160–168.
32. *Носин В.А.* Почвы Тувы. М.: Наука, 1963. 342 с.
33. *Огородников А.В.* Почвы горных лесов Монгольской Народной Республики. Новосибирск: Наука, 1981. 149 с.
34. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
35. *Полынов Б.Б.* Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.
36. Почвенный покров и почвы Монголии / Отв. ред. Герасимов И.П., Ногина Н.А. М.: Наука, 1984. 190 с.
37. *Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А., Савичев А.Т.* Геохимические особенности распределения макроэлементов в почвах ненарушенных ландшафтов Среднего Урала (на примере заповедника “Басеги”) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 56–76.
38. *Фридланд В.М.* Влияние степени выветрелости почвообразующих пород на процессы формирования почв в различных биоклиматических зонах // Почвоведение. 1970. № 12. С. 5–15.
39. Эколого-географический атлас-монография “Селенга–Байкал” / Отв. ред. Касимов Н.С. М.: Географический факультет МГУ, 2019. 288 с.
40. *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.
41. 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.
42. *Kabata-Pendias A., Szteke B.* Trace elements in abiotic and biotic environments. London: CRC Press, Taylor & Francis group, 2015. 458 p.
43. *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>
44. *Samofalova I.A.* Geochemical indices of weathering and elementary processes in mountain soils in the Middle Urals // Int. J. Appl. Exercise Physiology. 2020. V. 9(4). P. 198–214.
45. *Tyler G.* Rare earth elements in soil and plant systems – A review // Plant and Soil. 2004. V. 267. P. 191–206.

Geochemical Features of Organo-Accumulative Soils of Subtaiga and Subtaiga-Forest-Steppe Light Coniferous Forests of Northern Mongolia

Yu. N. Krasnoshchekov^{1, *}

¹*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 organo-accumulative (Eutric Regosols (Laomic, Ochric), Cambic Someric Phaeozems (Loamic)) soils widely distributed in the soil cover of the subtaiga and subtaiga-forest-steppe light coniferous forests forming the lower boundary of the forest belt in the mountain structures of Northern Mongolia are considered. Data on the microelement composition of soil-forming rocks are given. It was found that the paragenetic association of trace elements in them is represented by Pb, Cu, Zn, Co, V, Cr, Ni, Mn, Mo, Ba, Sr, Zr and B. It was found that, compared with the average content in the lithosphere within the subtaiga and subtaiga-forest-steppe forest-growing belt, the residual and re-deposited weathering crusts of igneous rocks are enriched with Zn, Cr, Mo, B, at the same time they contain less Pb, Co, Mn, Ba, Sr, Zr. The residual and re-deposited weathering crusts of carbonate rocks are enriched with Pb, Cu, Zn, V, Cr, Sr, B, they contain little Co, Ni, Mn, Mo, Ba, Zr. Data on the morphological structure of soils, their physico-chemical and chemical properties, as well as on the content of trace elements and their radial distribution in the soils under consideration are discussed. The data obtained indicate the accumulation of most trace elements in the surface organogenic and humus-accumulative horizons of soils, which is associated with both the heterogeneity of soil-forming rocks and the influence of soil processes that cause the accumulative redistribution of elements and their deposition on organo-sorption and carbonate geochemical barriers. It is shown that the studied soils differ not only in the absolute values of trace elements involved in the biological cycle, but also in the intensity of their involvement in biogenic migration.

Keywords: Northern Mongolia, regosols and phaeozems, physico-chemical properties, trace elements, radial differentiation coefficients, concentration coefficients.