

Раздел 4

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 4

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 631.4

ЖЕЛЕЗО, КОБАЛЬТ И НИКЕЛЬ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

И.А. Трошкова, С.Н. Балыкин, А.В. Пузанов, А.В. Салтыков

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: egorka_iren@mail.ru, snbalykin@yandex.ru, puzanov@iwer.ru, saltykovav@yandex.ru

Статья посвящена исследованию внутрипрофильного распределения микроэлементов, входящих в состав триады железа (железо, кобальт и никель) в бурых лесных, дерново-подзолистых и серых лесных почвах Северо-Восточного Алтая. Исследуемые микроэлементы имеют большое значение в жизнедеятельности всех живых организмов, т. к. принимают участие в важных физиологических процессах (фотосинтез, дыхание, азотфиксация и др.). В ходе многочисленных экспедиционных работ были отобраны образцы с каждого генетического почвенного горизонта в границах водосборных бассейнов рек Лебедь, Тондошка, Пыжа, Иогач, Майма и Иша. Для описания основных почвенных свойств в лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН определены общее содержание гумуса, гранулометрический состав, рН и емкость поглощения. Анализ проб на содержание исследуемых микроэлементов проводили в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН, используя количественный плазменно-спектральный метод. В результате выяснилось, что несмотря на сходство химических свойств исследуемых микроэлементов, их внутрипрофильное распределение значительно отличается. Железо выщелачивается из профиля дерново-подзолистых почв, но аккумулируется в бурых лесных. Обеднение кобальтом профиля происходит как в бурых лесных почвах, так и в серых лесных. В отличие от него, содержание никеля снижается только в серых лесных почвах. Во всех остальных случаях почвенные процессы не оказывают существенного влияния на распределение рассматриваемых микроэлементов.

Ключевые слова: железо; кобальт; никель; лесные почвы; Северо-Восточный Алтай; оподзоливание; выщелачивание.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-16804

Дата поступления: 23.01.2023. Принята к печати: 7.02.2023

Основным звеном в миграции многих микроэлементов, в том числе железа, кобальта и никеля, является почвенный покров. В лесных ландшафтах это особенно заметно, поскольку почвообразование в них связано с кислотным гидролизом первичных минералов. В результате этого процесса происходит выщелачивание многих микроэлементов из почвенного профиля и их поступление с латеральным стоком в поверхностные воды. Последние, в свою очередь, используются для хозяйственных и питьевых нужд местного населения.

Основная площадь Северо-Восточного Алтая занята лесными почвами, среди которых выделяют бурые лесные, дерново-подзолистые и серые лесные. Их формирование протекает в уникальных климатических, орографических и геологических условиях [Обручев, 1927; Архангельский, 1947; Кузнецов, 1952, 1963; Нехорошев, 1958, 1966; Щукина, 1960; Лунгерсгаузен, Раковец, 1961; Наливкин, 1962; История..., 1969; Агроклиматический..., 1970; Разрез..., 1978; Мальгин, 1978].

В периодической системе Д.И. Менделеева железо, кобальт и никель принадлежат VIII группе триаде железа [Пятницкий, 1965; Угай, 1989; Иванов, 1996]. Для этих химических элементов наиболее типична степень окисления +2 и +3. У исследуемых металлов ярко

проявляется способность к образованию комплексных соединений, т. к. они имеют относительно малые размеры атомного и ионных радиусов, в силу чего увеличивается поляризующее действие, и образуются более прочные связи с лигандами. По устойчивости комплексов с органическими лигандами никель занимает одно из первых мест среди d-элементов [Угай, 1989].

В земной коре содержание железа, кобальта и никеля в среднем около 46500, 20 и 200 мг/кг соответственно, где они накапливаются в ультраосновных породах, кислые породы ими обеднены. Кобальт чаще всего образует сульфиды и арсениды (кобальтин, скутеррудит, саффлорит и другие) [Угай, 1989; Иванов, 1996; Алексеенко, 2000], никель – силикаты, карбонаты, оксиды, сульфиды и арсениды [Перельман, Касимов, 2000].

Среднее содержание железа, кобальта и никеля в почвенном покрове Земли составляет около 38000, 8 и 40 мг/кг соответственно, где последние два хорошо сорбируются гидроксилами железа и особенно марганца, а также глинистыми минералами [Виноградов, 1957; Перельман, Касимов, 2000].

В организме человека кобальт обнаруживается в печени и поджелудочной железе, никель – в поджелудочной железе, печени, почках и головном мозге [Абдурахманов, Зайцев, 2004]. В

растениях кобальт и никель участвуют в фиксации молекулярного азота [Школьник, 1968], кроме этого, кобальт активирует нуклеиновый обмен в клубеньках семейства бобовых [Пейве, Айзупиет, 1972]. Железо входит в состав геминных (каталаза, пероксидаза, цитохромоксидаза, различные цитохромы) и негеминных (ферредоксин, флавопротеиды) железопротеидов, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза, дыхания, восстановления нитратов и нитритов, в нескольких этапах биосинтеза хлорофилла и образования хлоропластов [Школьник, Макарова, 1957; Школьник, 1968].

Поэтому целью работы стало выяснить происходит ли их выщелачивание из почвенного покрова под лесными биоценозами, где происходит интенсивное разрушение первичных минералов и синтез вторичных.

Материал и методы

В Северо-Восточном Алтае распространены, преимущественно, лесные почвы и представлены тремя типами: серые лесные, дерново-подзолистые и бурые лесные. Свойства этих почв, влияющие на внутрипрофильное распределение исследуемых микроэлементов, напрямую зависят от процессов, протекающих в них. В серых лесных почвах преобладает гумусообразование фуль-

ватно-гуматного типа, в результате формируется мощный серый с буроватым оттенком гумусовый горизонт (А) мощностью до 60 см, при этом содержание гумуса может достигать 9% (табл. 1), с комковатой структурой и легкосуглинистым гранулометрическим составом. Бурые лесные почвы отличаются гуматно-фульватным типом гумусообразования, интенсивность которого немного ниже (содержание гумуса в верхнем горизонте около 7%) и более низкой емкостью поглощения. В дерново-подзолистых почвах за счет процесса оподзоливания ниже гумусового появляется мощный (до 70 см) подзолистый горизонт (А2). Он отличается белесоватой окраской, более легким гранулометрическим составом и комковато-плитчатой структурой. Все рассматриваемые почвы имеют схожий очень мощный иллювиальный горизонт (В), который выделяется среди остальных бурой или жёлто-бурой окраской, комковато-ореховатой, ореховатой или призматической структурой, среднесуглинистым или тяжелосуглинистым гранулометрическим составом и большой плотностью. Также он богат гумусовыми, железистыми и илистыми плёнками и затёками по граням почвенных агрегатов, образующихся в процессе иллювиирования гумуса, оксидов железа и илистых частиц соответственно.

Таблица 1

Основные свойства исследуемых почв

Table 1

The main properties of the studied soils

Горизонты	Свойства исследуемых почв			
	Гумус, %	Ил, %	pH	Емкость поглощения, мг-экв./100 г
Бурые лесные почвы				
A	7.2 ±2.8	5.2 ±2.5	5.3 ±0.3	21.1 ±6.3
AB	2.7 ±1.9	8.9 ±2.6	5.4 ±0.2	14.9 ±2.4
B1	1.1 ±0.7	7.7 ±3.9	5.6 ±0.2	15.4 ±3.5
B2	0.5 ±0.1	7.2 ±3.8	5.7 ±0.2	16.2 ±4.7
B3	0.3 ±0.1	12.3 ±2.1	5.8 ±0.1	19.8 ±0.9
BC	0.6 ±0.3	5.7 ±4.0	5.9 ±0.4	21.2 ±3.1
Дерново-подзолистые почвы				
A1	7.6 ±4.1	8.5 ±1.4	5.5 ±0.3	22.9 ±4.3
A1A2	3.9 ±2.0	8.9 ±1.8	5.4 ±0.2	19.5 ±4.3
A2	2.0 ±1.2	10.2 ±2.0	5.2 ±0.4	13.9 ±5.7
A2B1	0.9 ±0.4	19.3 ±7.4	5.5 ±0.3	21.4 ±3.9
B1	0.7 ±0.3	27.9 ±8.0	5.6 ±0.2	27.6 ±6.2
B2	0.6 ±0.3	32.5 ±7.0	5.9 ±0.2	28.3 ±4.0
B3	0.4 ±0.2	36.7 ±4.2	6.4 ±0.4	27.0 ±5.9
BC	0.3 ±0.1	27.3 ±9.0	7.2 ±0.8	29.6 ±6.3
Серые лесные почвы				
A	8.9 ±3.3	9.7 ±4.3	5.6 ±0.4	31.1 ±8.7
AB	3.9 ±0.9	19.7 ±5.6	5.5 ±0.0	37.0 ±0.0
B1	1.2 ±0.5	24.2 ±6.4	5.5 ±0.3	24.8 ±7.0
B2	0.8 ±0.3	30.8 ±4.2	5.7 ±0.3	28.6 ±7.1
B3	0.6 ±0.2	31.6 ±6.6	6.1 ±0.2	33.2 ±6.5
BC	0.5 ±0.3	32.8 ±5.6	6.5 ±0.7	33.7 ±8.4

Для исследования лесных почв Северо-Восточного Алтая с 2000 по 2012 гг. были проведены экспедиционные работы в бассейнах рек Лебедь, Тондошка, Пыжа, Иогач, Майма и Иша. В результате были заложены 48 полнопрофильных почвенных разреза, охватывающих все разнообразие почвенного покрова под лесной растительностью.

Отбор почвенных образцов проводили из срединной части каждого генетического горизонта и подготавливали для аналитических работ, которые

проводили в лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН: определение общего содержания гумуса – по методу Тюринга [ГОСТ 23740-79] в модификации Никитина, гранулометрического состава – пипеточным методом по Качинскому [ГОСТ 12536-79], актуальной кислотности – потенциометрическим методом [ГОСТ 26483-85], емкости поглощения – по методу Бобко-Аскинази в модификации Грабарова с окончанием по Айдиняну. Валовое содержание железа,

кобальта и никеля в почвенных образцах определяли в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН количественным плазменно-спектральным методом.

Результаты и их обсуждение

Содержание железа в исследуемых почвах находится в пределах от 12600 ± 1900 (на границе с почвообразующей породой в бурых лесных почвах) до 45000 ± 5000 (в нижней части текстурного горизонта дерново-подзолистых почв) мг/кг, что вполне соответствует среднему содержанию этого элемента в земной коре и педосфере в целом. Среднеарифметическая ошибка изменяется от 12 до 28%, что указывает на сходство пределов колебаний абсолютных значений в каждом почвенном горизонте (табл. 2).

Биофильность железа способствует его аккумуляции в гумусовом горизонте бурых лесных почв, а миграция в нижние горизонты и закрепление там в виде гумусово-железистых плёнок приводит к накоплению в иллювиальном горизонте. Кроме того, бурые бескарбонатные глины сами по себе очень богаты этим элементом, а, следовательно, и близлежащий горизонт. В почвах с ярко выраженным проявлением подзолистого процесса не наблюдается аккумуляции железа в гумусовом горизонте, и с

глубиной его содержание скачкообразно увеличивается. Основной скачок происходит в верхней части иллювиального горизонта. В целом следует отметить повышенное содержание железа в дерново-подзолистых почвах по сравнению с бурыми лесными. В серых лесных почвах внутрипрофильное распределение железа становится более равномерным и его содержание в мелкозёме приближается к бурым лесным почвам. Остаточным признаком от дерново-подзолистых почв остаётся отсутствие выраженного накопления железа в гумусовом горизонте, несмотря на большое поступление органического материала.

Минимальные и максимальные значения концентрации кобальта в мелкозёме серых лесных почв наблюдаются на границе гумусового и иллювиального горизонтов (АВ) и в нижней части иллювиального горизонта (ВЗ) соответственно. Такие величины вполне соответствуют его содержанию в земной коре, но почти в 2 раза больше, чем в целом в почвенном покрове Земли. Распространение кобальта в толще бурых лесных почв связано в большей степени с распределением гумусовых соединений и тонкодисперсных частиц. В результате его накопление происходит в гумусовом и иллювиальном горизонтах.

Таблица 2

Внутрипрофильное распределение железа, кобальта и никеля в исследуемых почвах

Table 2

Intra-profile distribution of iron, cobalt and nickel in the studied soils

Горизонты	Железо		Кобальт		Никель	
	С	КР	С	КР	С	КР
Бурые лесные почвы						
A	19300 ± 5257	1.53	19.5 ± 6.4	0.86	34.6 ± 9.1	0.77
AB	18975 ± 2237	1.51	12.8 ± 3.8	0.57	33.3 ± 6.2	0.74
B1	16833 ± 3222	1.34	23.0 ± 8.0	1.02	37.0 ± 6.3	0.82
B2	32100 ± 7900	2.55	20.4 ± 4.0	0.91	37.6 ± 4.2	0.83
B3	19950 ± 5450	1.58	23.0 ± 3.7	1.02	42.5 ± 2.5	0.94
BC	12600 ± 1900	1.00	22.6 ± 3.9	1.00	45.0 ± 9.2	1.00
Дерново-подзолистые почвы						
A1	24675 ± 5325	0.61	16.3 ± 5.0	0.79	32.4 ± 6.6	0.76
A1A2	23175 ± 3413	0.57	14.9 ± 5.1	0.72	32.4 ± 5.6	0.76
A2	25250 ± 4750	0.62	19.8 ± 6.6	0.96	37.4 ± 8.4	0.87
A2B1	28433 ± 8233	0.70	18.8 ± 9.6	0.91	40.2 ± 7.8	0.94
B1	33100 ± 6900	0.82	22.7 ± 7.7	1.10	43.0 ± 4.9	1.00
B2	29067 ± 7289	0.72	21.2 ± 7.6	1.03	43.7 ± 5.8	1.02
B3	45000 ± 5000	1.11	26.1 ± 3.1	1.27	42.7 ± 4.3	1.00
BC	40533 ± 7978	1.00	20.7 ± 7.2	1.00	43.0 ± 8.9	1.00
Серые лесные почвы						
A	25018 ± 6350	0.96	18.1 ± 6.3	0.81	37.5 ± 6.2	0.73
AB	28400 ± 3733	1.09	11.8 ± 1.5	0.53	41.5 ± 7.8	0.80
B1	28567 ± 7967	1.10	19.3 ± 6.7	0.86	41.0 ± 8.3	0.79
B2	32875 ± 6275	1.26	22.4 ± 8.4	1.00	46.8 ± 7.5	0.91
B3	22600 ± 5600	0.87	29.0 ± 3.6	1.29	51.1 ± 5.3	0.99
BC	26080 ± 7136	1.00	22.5 ± 7.7	1.00	51.8 ± 8.3	1.00

Примечание: С – содержание (мг/кг), КР – коэффициент распределения.

Тем не менее низкое содержание кобальта на границе гумусового и иллювиального горизонтов указывает на интенсивное его выщелачивание из почвенного профиля, которое компенсируется биогенным и литогенным накоплением.

Впрочем, такое распределение может быть связано с процессами, происходившими на предыдущих этапах педогенеза (оподзоливание), то есть иметь реликтовый характер. В дерново-подзолистых почвах ситуация несколько меняется.

Здесь аккумуляция кобальта в гумусовом горизонте незначительна, так как снижается поступление мортмассы, но заметна в иллювиальном (по увеличивая значений коэффициента распределения). Также, следует отметить более низкую интенсивность его выщелачивания по сравнению с предыдущими почвами. В серых лесных почвах за счёт увеличения мортмассы растений, снова происходит аккумуляция кобальта в гумусовом горизонте, сопоставимая с бурыми лесными почвами. Его содержание в иллювиальном горизонте серых лесных почв отличается большими значениями, по сравнению с бурыми лесными и дерново-подзолистыми почвами.

Минимальные значения содержания никеля наблюдаются в мелкозёме гумусового горизонта дерново-подзолистых (32.4 ± 6.6 мг/кг), а максимальные – в нижней части иллювиального горизонта серых лесных почв (51.1 ± 5.3). Это соответствует уровню содержания в педосфере в целом и в 4 раза меньше, чем в земной коре.

В бурых лесных почвах наблюдается выщелачивание никеля по всему профилю, на что указывает его более низкое содержание на границе гумусового и иллювиального горизонтов, чем в почвообразующей породе. Слабое биогенное и литогенное накопление не приводит к восстановлению его количества.

Максимальное содержание никеля в условиях действия подзолистого процесса приходится только на иллювиальный горизонт дерново-подзолистых почв, а отсутствие снижения этой величины в нижележащем горизонте ставит под сомнение накопление никеля в нём.

В серых лесных почвах никель распределяется так же, как и в дерново-подзолистых почвах. Кроме того, можно отметить повышенное его содержание в нижней части иллювиального горизонта по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, что объясняется более высоким содержанием этого элемента в почвообразующих породах.

Выводы

Несмотря на сходство химических свойств исследуемых микроэлементов их внутрипрофильное распределение значительно отличается. Железо выщелачивается из профиля дерново-подзолистых почв, но аккумулируется в бурых лесных. Обеднение кобальтом профиля происходит как в бурых лесных почвах, так и в серых лесных. В отличие от него, содержание никеля снижается только в серых лесных почвах. Во всех остальных случаях почвенные процессы не оказывают влияние на распределение рассматриваемых микроэлементов.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН РАН (проект «Оценка эколого-биогеохимической обстановки в речных бассейнах Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия»).

Список литературы

Абдурахманов Г.М., Зайцев И.В. Экологические особенности содержания микроэлементов в организме животных и человека. М.: Наука, 2004. 280 с.

Агроклиматический справочник по Алтайскому краю. Л., 1970. 168 с.

Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.

Архангельский А.Д. Геологическое строение СССР и его отношение к строению остальной поверхности Земли. М.: ГЛ МГ СССР, 1947. 415 с.

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 259 с.

ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Издательство стандартов, 1979. 16 с.

ГОСТ 23740-79. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. М.: Государственный строительный комитет СССР, 1979. 23 с.

ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011. 4 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. М.: Недра, 1996. Кн. 3. 352 с.

История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Алтае-Саянская горная область. М.: Наука, 1969. 415 с.

Кузнецов В.А. Основные этапы геотектонического развития юга Алтае-Саянской горной области // Труды ГГИ ЗСФ АН. 1952. Вып. 12. С. 9–41.

Кузнецов В.А. Тектоническое районирование и основные черты эндогенной металлогении Горного Алтая // Вопросы геологии и металлогении Горного Алтая. Новосибирск: СО АН СССР, 1963. С. 7–68.

Лунгерсгаузен Г.Ф., Раковец О.А. Новейшая тектоника Горного Алтая // Новейшая тектоника СССР. Рига, 1961. С. 205–211.

Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.

Наливкин Д.В. Геология СССР. М-Л.: АН СССР, 1962. 813 с.

Нехорошев В.П. Геология Алтая. М., 1958. 262 с.

Нехорошев В.П. Тектоника Алтая. М.: Недра, 1966. 306 с.

Обручев В.А. К вопросу о тектонике Алтая // Геологический вестник. 1927. Т. 5, № 4-5. С. 47–51.

Пейве Я.В., Айзупиет И.П. Основные итоги научных исследований по проблеме микроэлементов в растениеводстве и животноводстве за 1970 г. // Микроэлементы в СССР. Рига: Зинатне, 1972. 13. С. 3–47.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей, 2000. 647 с.

Пятницкий И.В. Аналитическая химия кобальта // Аналитическая химия элементов. М.: Наука, 1965. 132 с.

Разрез новейших отложений Алтая: Стратиграфия и палеогеография Приобского плато, Подгорной равнины и Горного Алтая / Ред. К.К. Маркова. М.: МГУ, 1978. 208 с.

Угай Я.А. Неорганическая химия. М.: Высшая школа, 1989. 463 с.

Школьник М.Я. Изучение физиологической роли микроэлементов // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: БКИ, 1968. С. 92–109.

Школьник М.Я., Макарова Н.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. М.-Л.: АН СССР, 1957. 292 с.

Щукина Е.Н. Закономерности размещения четвертичных отложений и стратиграфия их на территории Алтая // Труды ГИНа АН СССР. 1960. Вып. 26. С. 127–164.

References

Abdurahmanov G.M., Zajcev I.V. Ekologicheskie osobennosti sodержaniya mikroelementov v organizme zhivotnyh i cheloveka [Ecological features of the content of trace elements in the body of animals and humans]. М.: Nauka, 2004. 280 p.

Agroklimaticheskij spravochnik po Altajskomu krayu [Agro-climatic guide to the Altai Territory]. L., 1970. 168 p.

Alekseenko V.A. Ekologicheskaya geohimiya [Ecological geochemistry]. М.: Logos, 2000. 627 p.

Arhangel'skij A.D. Geologicheskoe stroenie SSSR i ego otnoshenie k stroeniyu ostal'noj poverhnosti Zemli [The geological structure of the USSR and its relation to the structure of the rest of the Earth's surface]. М.: GL MG SSSR, 1947. 415 p.

Vinogradov A.P. Geohimiya redkih i rasseyannyh elementov v pochvah [Geochemistry of rare and scattered elements in soils]. М.: AN SSSR, 1957. 259 p.

GOST 12536-79. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava [Soils. Methods of laboratory determination of granulometric (grain) and microaggregate composition]. М.: Izdatel'stvo standartov, 1979. 16 p.

GOST 23740-79. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya sodержaniya organicheskikh veshchestv [Soils. Methods of laboratory determination of organic matter content]. M.: Gosudarstvennyj stroitel'nyj komitet SSSR, 1979. 23 p.

GOST 26423-85. Pochvy. Metody opredeleniya udel'noj elektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoj vytyazhki [Soil. Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and dense residue of water extract]. M.: Standartinform, 2011. 4 p.

Ivanov V.V. Ekologicheskaya geohimiya elementov [Ecological geochemistry of elements]. M.: Nedra, 1996. Kn. 3. 352 p.

Istoriya razvitiya rel'efa Sibiri i Dal'nego Vostoka. Altae-Sayanskaya gornaya oblast' [The history of the development of the relief of Siberia and the Far East. Altai-Sayan Mountain region]. M.: Nauka, 1969. 415 p.

Kuznecov V.A. Osnovnye etapy geotektonicheskogo razvitiya yuga Altae-Sayanskoj gornoj oblasti [The main stages of geotectonic development of the south of the Altai-Sayan mountain region] // Trudy GGI ZSF AN. 1952. Vyp. 12. P. 9–41.

Kuznecov V.A. Tektonicheskoe rajonirovanie i osnovnye cherty endogennoj metallogenii Gornogo Altaya [Tectonic zoning and the main features of the endogenous metallogeny of the Altai Mountains] // Voprosy geologii i metallogenii Gornogo Altaya. Novosibirsk: SO AN SSSR, 1963. P. 7–68.

Lungersgauzen G.F., Rakovec O.A. Novejshaya tektonika Gornogo Altaya [The latest tectonics of the Altai Mountains] // Novejshaya tektonika SSSR. Riga, 1961. P. 205–211.

Mal'gin M.A. Biogeohimiya mikroelementov v Gornom Altae [Biogeochemistry of trace elements in the Altai Mountains]. Novosibirsk: Nauka, 1978. 272 p.

Nalivkin D.V. Geologiya SSSR [Geology of the USSR]. M-L.: AN SSSR, 1962. 813 p.

Nekhoroshev V.P. Geologiya Altaya [Geology of Altai]. M., 1958. 262 p.

Nekhoroshev V.P. Tektonika Altaya [Altai Tectonics]. M.: Nedra, 1966. 306 p.

Obruchev V.A. K voprosu o tektonike Altaya [On the question of Altai tectonics] // Geologicheskij vestnik. 1927. T. 5, no 4–5. P. 47–51.

Pejve Ya.V., Ajzupiet I.P. Osnovnye itogi nauchnyh issledovanij po probleme mikroelementov v rastenievodstve i zhivotnovodstve za 1970 g. [The main results of scientific research on the problem of trace elements in plant and animal husbandry in 1970] // Mikroelementy v SSSR. Riga: Zinatne, 1972. 13. P. 3–47.

Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimiya landshafta [Geochemistry of the landscape]. M.: Astreya, 2000. 647 p.

Pyatnickij I.V. Analiticheskaya himiya kobal'ta [Analytical chemistry of cobalt] // Analiticheskaya himiya elementov. M.: Nauka, 1965. 132 p.

Razrez novejsih otlozhenij Altaya: Stratigrafiya i paleografiya Priobskogo plato, Podgornoj ravniny i Gornogo Altaya [Section of the newest deposits of Altai: Stratigraphy and paleogeography of the Priobsky Plateau, the Foothill Plain and the Altai Mountains] / Ed. K.K. Markova. M.: MGU, 1978. 208 p.

Ugaj Ya.A. Neorganicheskaya himiya [Inorganic chemistry]. M.: Vysshaya shkola, 1989. 463 p.

Shkol'nik M.Ya. Izuchenie fiziologicheskoy roli mikroelementov [Study of the physiological role of trace elements] // Mikroelementy v sel'skom hozyajstve i medicine. Ulan-Ude: BKI, 1968. P. 92–109.

Shkol'nik M.Ya., Makarova N.A. Mikroelementy v sel'skom hozyajstve [Trace elements in agriculture]. M.-L.: AN SSSR, 1957. 292 p.

Shchukina E.N. Zakonomernosti razmeshcheniya chetvertichnyh otlozhenij i stratigrafiya ih na territorii Altaya [Regularities of the placement of quaternary deposits and their stratigraphy on the territory of Altai] // Trudy GINa AN SSSR. 1960. Vyp. 26. P. 127–164.

IRON, COBALT AND NICKEL IN FOREST SOILS OF THE NORTH-EASTERN ALTAI

I.A. Troshkova, S.N. Balykin, A.V. Puzanov, A.V. Saltykov

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: egorka_iren@mail.ru, snbalykin@yandex.ru, puzanov@iwep.ru, saltykovav@yandex.ru

The article is devoted to the study of the intra-profile distribution of trace elements included in the iron triad (iron, cobalt and nickel) in brown forest, sod-podzolic and gray forest soils of the North-Eastern Altai. In the course of numerous expeditions, samples were taken from each genetic soil horizon within the boundaries of the catchment basins of the Lebed, Tondoshka, Pyzha, Iogach, Maima and Isha rivers. To describe the main soil properties, the total humus content, granulometric composition, pH and absorption capacity were determined in the Biogeochemistry Laboratory of the Institute of Water and Environmental Problems SB RAS. The analysis of samples for the content of the studied trace elements was carried out at the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS using a quantitative plasma-spectral method. As a result, it turned out that despite the similarity of the chemical properties of the studied trace elements, their intra-profile distribution varies significantly. Iron leaches from the profile of sod-podzolic soils, but accumulates in brown forest. Cobalt depletion of

the profile occurs both in brown forest soils and in gray forest soils. In contrast, the nickel content decreases only in gray forest soils. In all other cases, soil processes do not affect the microelements under consideration.

Keywords: iron; cobalt; nickel; forest soils; North-Eastern Altai; podzolization; leaching.

Received January 23, 2023. Accepted: February 7, 2023

Сведения об авторах

Трошкова Ирина Александровна – младший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0003-2809-8022. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

Балыкин Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0001-5598-0470. E-mail: balykins@rambler.ru.

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, директор Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Салтыков Алексей Владимирович – научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0003-1515-3061. E-mail: saltykov@iwep.ru.

Information about the authors

Troshkova Irina Alexandrovna – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-2809-8022. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

Balykin Sergey Nikolaevich – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-5598-0470. E-mail: balykins@rambler.ru.

Puzanov Alexander Vasil`evich - Dr Sc. in Biology, Professor, Director of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Saltykov Alexey Vladimirovich – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1515-3061. E-mail: saltykov@iwep.ru.