

УДК 631.416.8

Е. К. ВУЛЬФСОН, Т. А. ГОРЯЧЕНКОВА, В. И. ДВОРКИН, Ф. И. ПАВЛОЦКАЯ,
Г. Ю. СОЛОВЬЕВА

СОДЕРЖАНИЕ Cu, Co, Cd и Ni В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПОДМОСКОВЬЯ

Впервые применен метод атомно-абсорбционного анализа с лазерным атомизатором, позволяющий определять содержание микроэлементов в почвах и растениях без предварительного озоления. Показано, что последнее может приводить к неконтролируемым потерям микроэлементов при анализе растительных проб. Современный уровень содержания исследованных микроэлементов в почвах и опаде древесных растений на территории Малинского лесничества Московской области обусловлен их естественным происхождением.

В последние годы определению содержания и распределения микроэлементов в биогеоценозах уделяют большое внимание. Несмотря на большое количество работ, посвященных определению содержания подвижных и валовых форм микроэлементов в почвах и растениях, главным образом культурных и луговых, имеющиеся данные очень разрознены и не всегда сопоставимы. Последнее связано как с различиями в физико-химических и биологических свойствах исследуемых образцов, так и с методами анализа. Как правило, микроэлементы определяются эмиссионным методом спектрального анализа после предварительного озоления проб [1, 7—11, 13, 15, 16]. Между тем и сами авторы цитируемых работ и другие исследователи указывают на возможность значительных неконтролируемых потерь микроэлементов вследствие их улетучивания в процессе озоления образцов при температуре 400—450° [1, 4, 7, 17].

Кроме того, в ряде работ, посвященных определению содержания микроэлементов в окружающей среде, исследователи анализируют только собственно почвенную фракцию, отбрасывая находящиеся в почве корни и остатки растений, каменные и другие включения [13]. На основании данных Павлоцкой с соавт. [14], которые определяли пофракционное содержание и распределение радиоактивных продуктов глобальных выпадений, можно предположить, что получаемые в этом случае результаты будут заниженными и не отразят существующего уровня загрязнения земной поверхности. Особенно это относится к поверхностным горизонтам почвенного покрова вследствие поступления в них тяжелых и других металлов из атмосферы.

В настоящей статье рассматриваются результаты определения содержания и распределения некоторых тяжелых металлов в верхней части профиля дерново-подзолистых лесных и пахотных почв Московской обл., а также распределения их между фракциями верхних горизонтов почвы (подстилок), для которых характерно высокое содержание органических остатков. Большое внимание в работе уделено методике приготовления образцов и оценке возможных потерь микроэлементов при озолении образцов и анализе только почвенной фракции. Измерения выполнялись методом атомно-абсорбционного анализа с лазерным атомизатором [5], который позволяет производить анализ практически любых

веществ органического и неорганического происхождения по единому градуировочному графику.

Приготовление пробы к анализу состоит из измельчения образца в стаканах шариковой вибромельницы, смешивания его с графитовым порошком и кристаллической серой в пропорции 1 : 3, 5 : 0,5 и последующего брикетирования в таблетки диаметром 13 и толщиной 2 мм в пресс-форме под давлением 150—200 кг/см². Стандартные образцы готовят путем введения в графитовый порошок особой чистоты (марки 7-4ЦМТУ 01-58-69) окислов или солей металлов. Испарение и атомизация пробы осуществляются под воздействием излучения неодимового лазера, работающего в режиме свободной генерации. Энергия излучения в импульсе 8—10 Дж, длительность интервалов между импульсами 30 с. В качестве источника просвечивающего излучения используют лампы с полым катодом типа ЛСП-1 и лампы фирмы Перкин-Эльмер, которые работают в режиме одиночных коротких импульсов, что позволяет увеличить интенсивность излучения резонансных линий в десятки раз. Длительность рабочих импульсов ламп составляет 20—30 мкс. Просвечивание факела производится на расстоянии ~20 мм от таблетки в области оптимальных условий регистрации аналитического сигнала [6]. Величина поглощения измеряется в единицах оптической плотности. Пределы обнаружения элементов, рассчитанные по 3σ-критерию, составляют 2·10⁻⁶% для Со и Ni, 4·10⁻⁶% для Си и 5·10⁻⁷% для Cd (при расходе пробы на одно определение ~1 мг). Стандартное отклонение на уровне $S=10C_{\text{мин}}$ порядка 0,10—0,12 для Cd, Ni и Си и 0,17— для Со.

Объектами исследования служили образцы свежего опада и почв, отобранные в октябре 1975 г. на территории Малинского лесничества Краснопахорского лесхоза Московской обл., расположенного в 50—60 км к югу от Москвы [2, 12]. Разрезы 1 и 2 были заложены на расстоянии 15 м друг от друга на участке дубо-липо-снытево-волосисто-осоковой парцеллы с примесью клена и лещины. Почва среднедерново-слабоподзолистая. Верхний гор. А₀ представляет собой рыхлую лесную подстилку, густо переплетенную корнями, в нижней части сильно разложившуюся и почти неотделимую от гор. А₁. Гор. А₁/А₂ серо-бурого цвета, уплотненный, влажный, при высыхании пылевато-комковатый содержал небольшое количество корней и довольно много мицеллия. Разрезы 3, 4 и 6 были заложены на расстоянии 250—300 м от разрезов 1 и 2 на участке березово-еловой мертвопокровной парцеллы с единичными экземплярами кустарников и травянистых растений; пятна мхов занимают до 10—15% площади. Почва среднедерново-среднеподзолистая. Подстилка разрезов 3 и 4 (в 10—15 м от разр. 3) представлена остатками неразложившегося прошлогоднего опада (в большей степени елового, что обусловлено более медленным его разложением), трухой и аморфной смесью; в подстилке разр. 4 содержатся также неразложившиеся остатки мха (кукушкин лен) и его корни. Разр. 6 расположен в 2 м от разр. 4 под большим пятном мха (около 50 см). В подстилке помимо полуразложившегося мха много мицеллий грибов, опада ели и березы, трухи, в нижней части очень тонкий слой серой зернистой скрепленной многочисленными корнями почвы. Подзолистый гор. А₂ во всех разрезах белесо-палевого цвета, влажноватый, бесструктурный. Содержание гумуса в горизонтах А₀ и А₀/А₁ колебалось в интервале 2,04—2,77%, в гор. А₂— в интервале 0,44—0,59%; емкость поглощения— 20,4—23,5 и 12,2—15,3 мг·экв/100 г почвы соответственно; рН водной суспензии для тех же горизонтов— 5,5—5,9 и 5,1—5,3 (разрезы 1—3), 5,2 и 4,7—4,8 (разрезы 4 и 6).

Разрезы 7, 8 и 9 заложены на пахотных дерново-среднеподзолистых почвах: первые 2— на вспаханном поле (черный пар), окруженном елово-березовым лесом на расстоянии 100—150 м друг от друга в нижней и верхней трети полого склона соответственно. Разр. 9 заложен под

озимыми зерновыми в 300 м от первых двух. Пахотный горизонт светлого бурого цвета, влажноватый, комковато-пылеватый, встречаются корни зерновых и мелкие осколки кварца (1—3 мм); гор. В — бурого цвета, более плотный, крупно-комковатый при высыхании, встречаются мелкие осколки кварца. Емкость поглощения пахотного горизонта близка к таковой в подзолистом горизонте почв под лесом (14,5 мг. экв/100 г почвы); рН водной суспензии 6,3—6,5.

Образцы опада, озимых, мха, подстилок и почв высушивали до воздушно-сухого состояния в помещении при комнатной температуре. Для оценки возможных ошибок определения содержания элементов, обусловленных анализом только почвенной части пробы, образцы отобранные из верхних горизонтов, разделяли вручную на «минеральную» и «растительную» фракции с последующим просеиванием первой через сито с отверстиями 1 мм и отбором мелких корешков пластмассовым пинцетом.

Сопоставление результатов анализа некоторых неозоленных и озоленных при 450° образцов минеральной фракции показало, что различие в содержании микроэлементов лежит в пределах, обусловленных ошибкой анализа. В то же время различие в содержании микроэлементов в неозоленных и озоленных образцах опада и растительной фракции превышает ошибку анализа, что свидетельствует о наличии потерь микроэлементов в процессе озоления образцов. Так, потери Cd при озолении растительной фракции, состоящей из опавших листьев дуба, липы, лещины, осоки волосистой (разрезы 1 и 2), а также листьев березы, хвой ели, земляники, копытели и осоки (разр. 3) составили 44 и 40% (озоление в муфеле при постепенном повышении температуры до 450° воздушно-сухого образца [1, 8] и после предварительного смачивания образца спиртом [7] соответственно); Ni—17 и 10%; Co—28 и 34% (потери кобальта при озолении тех же образцов, по данным нейтронно-активационного анализа, составляют 28%). Таким образом, озоление образцов может привести к неконтролируемым потерям, которые различны не только для разных элементов, но и для одного и того же элемента в разных образцах. Последнее обусловлено, по-видимому, различным составом образцов и различием форм вхождения определяемых элементов в их составные части (листья, хвою, травянистые растения и т. д.).

В подстилке, по ботаническому составу аналогичной подстилке разр. 4, содержание листьев, хвой ели, мха и трухи, по данным Бязрова с соавт. [2] составляет 21,6, 5,8, 0,6, 23,7% соответственно.

Анализ «минеральной» и «растительной» фракций подстилок позволил получить данные о содержании и распределении микроэлементов в зависимости от типа леса и характера продуктов разложения опада. Так, содержание Cd, Cu, Co и Ni в минеральной фракции колеблется в пределах 0,05—0,14; 6,4—11,6; 3,1—7,2 и 5,0—8,0 мг/кг, в «растительной»—7,3—25; 7,0—14,6; 5,0—8,2 и 5,9—8,2 мг/кг, соответственно. При этом следует отметить более высокое содержание Cu и особенно Cd в «растительной» фракции подстилок смешанного леса с примесью мха. В среднем содержание Cd в этой фракции лиственного леса составляет $9,5 \cdot 10^{-2}$ мг/кг, смешанного леса— $23,0 \cdot 10^{-2}$ мг/кг, Cu—8,2 и 12,3 мг/кг соответственно. В минеральной фракции содержание кадмия в почвах под смешанным лесом меньше чем в почвах под лиственным ($11,9 \cdot 10^{-2}$ и $5 \cdot 10^{-2}$ мг/кг соответственно). Содержание меди в «минеральной» фракции, а также кобальта и никеля в обеих фракциях разных подстилок практически не отличается.

Заметно проявляется связь между относительным содержанием растительной фракции в горизонтах A_0 и A_0/A_1 и ее вкладом в общее содержание микроэлементов в данном горизонте. В смешанном лесу с травянистой растительностью, представленной мхом, копытелью и земляникой, доля «растительной» фракции не только в 1,5 раза выше, чем в

лиственном (в среднем 18,3 и 9,5), но и колеблется между разрезами в более широких пределах (в среднем 9,1—28,7% и 7,7—11,3% соответственно). Полученные данные свидетельствуют также о влиянии ботанического состава растительности. В подстилках из опада дуба, лины, мха, березы и ели (разрезы 1, 2, 6 и 3) зависимость между долей растительной фракции и ее вкладом в общее содержание микроэлементов в образце имеет линейный характер (за исключением Cd в разр. 3); при наличии мха (разр. 4) наблюдается большой разброс для всех исследованных элементов, хотя общий характер зависимости сохраняется. Вклад растительной фракции в общее содержание элемента в образце возрастает в ряду $Ni < Co < Cu < Cd$, составляя в среднем 12,8; 15,0; 16,9 и 29,5% соответственно.

Полученные нами результаты свидетельствуют о необходимости тщательного отбора и подготовки проб к анализу, а также о необходимости определения содержания микроэлементов во всех фракциях почвенно-растительных образцов. Иногда применяемое [13] исключение растительной фракции (корней, растительных остатков и т. п.) приводит к получению заниженных результатов. Так, для подстилок из всех исследованных разрезов исключение растительной фракции привело бы к уменьшению результатов по Cd, Cu, Co, Ni на 30, 23, 17 и 13%, при этом в лиственном лесу (разрезы 1 и 2) — на 8, 8, 13 и 15%, в смешанном лесу — на 50, 20, 23 и 17% соответственно.

В табл. 1 приведены средние содержания Cd, Cu, Co и Ni в подстилках, рассчитанные с учетом содержания этих элементов в «минеральной» и «растительной» фракциях, и доли последних в образцах. Разброс содержаний элементов в параллельных пробах меньше, чем в отдельных фракциях, и не превышает 10%. Исключение составляют результаты, полученные для разр. 4, подстилка которого отличается большой гетерогенностью ботанического состава и степенью разложения.

Содержание микроэлементов в опаде и верхней части почвенных профилей, как видно из табл. 1, зависит от типа леса и вида травянистой растительности. В среднем содержание Cd, Cu, Co и Ni в подстилках составляет $9,2 \cdot 10^{-2}$; 9,5; 5,3 и 6,8 мг/кг; в подзолистом горизонте, расположенном чаще всего непосредственно под подстилками — $6,6 \cdot 10^{-2}$; 9,1; 5,4 и 6,6 мг/кг соответственно. Более высокое содержание микроэлементов в подстилке лиственного леса по сравнению с подстилкой смешанного обусловлено содержанием в ней гумусированных продуктов разложения опада, в то время как в подстилке смешанного леса вследствие более медленного разложения хвои по сравнению с листьями накапливается еловый опад. Известно, что гумусовые горизонты отличаются повышенным содержанием многих химических элементов, а также концентрируют поступающие на почвенный покров различные искусственные радионуклиды.

Содержание Cd, Cu, Co и Ni в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы мало отличается от содержания этих элементов в верхней части почв под лесом (табл. 1). Отношение содержания этих элементов в почвах под лесом к содержанию в пахотных колеблется в интервале 0,84—1.

Сравнение полученных результатов с данными более ранних исследований (табл. 2 и 3) показывает, что содержание определенных нами микроэлементов и их распределение в верхней части почвенных профилей почв Подмосковья практически не изменилось. Согласно работам [16] и [3], содержание кадмия в почвах других районов составляет $6,7 \cdot 10^{-2}$ и $6,5 \cdot 10^{-2}$ мг/кг соответственно и мало отличается от его содержания в почвах Подмосковья. Все это позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время в обследованном районе Подмосковья не наблюдается загрязнения почв под лесом и пахотных почв Ni, Co, Cd, Cu. Косвенным доказательством преобладающей роли естественных источников

Таблица 1

Содержание микроэлементов в почвенно-растительном покрове, мг/кг
воздушно-сухого веса

Номер разреза	Местоположение, почва	Горизонт, см	Cd · 10 ⁻²	Cu	Co	Ni	Co/Cu	Ni/Cu	Cd/Cu	Ni/Co
1.	Дубо-липняк, среднедерново-подзолистая	Опад	37,5	6,3	1,5	3,5	0,23	0,56	0,059	2,33
		A ₀ /A ₁ , 0—2	10,1	11,2	5,0	5,0	0,45	0,45	0,009	1,0
		A ₁ , 2—4	10,2	9,4	1,9	6,5	0,20	0,69	0,011	3,42
		A ₂ , 4—17	7,7	7,8	2,4	6,5	0,31	0,83	0,010	2,71
2.	То же	Опад	5,0	6,1	0,5	4,5	0,82	0,74	0,008	9,00
		A ₀ /A ₁ , 0—5	12,9	9,2	6,0	7,8	0,65	0,75	0,014	1,30
		A ₂ , 5—18	7,0	8,7	5,1	6,9	0,59	0,79	0,008	1,35
3.	Березово-еловый лес	Опад	13,7	4,0	0,5	1,9	0,13	0,48	0,034	3,8
		A ₀ , 0—3	8,2	8,6	3,6	7,0	0,42	0,83	0,010	1,94
		A ₂ , 3—15	5,2	8,2	8,2	7,1	1,0	0,87	0,063	0,87
4.	То же с примесью мха	Опад + мх	11,6	5,7	1,4	2,5	0,25	0,44	0,020	1,79
		A ₀ , 0—2	8,2	11,6	6,6	7,3	0,57	0,63	0,007	1,11
		A ₂ , 2—17	7,8	11,0	5,9	8,1	0,54	0,74	0,007	1,37
6.	Березово-еловый лес, пятно мха	Мох	11,1	12,8	2,1	2,9	0,16	0,23	0,009	1,38
		A ₀ , 0—2	6,8	7,1	5,3	6,7	0,75	0,94	0,01	1,26
		A ₂ , 2—17	5,4	9,8	5,5	5,1	0,56	0,52	0,006	0,93
7.	Пашня	A _{пах} , 0—30	7,8	10,3	4,3	8,1	0,42	0,79	0,008	1,88
		A _{подпах} , 30	8,5	19,2	5,8	8,4	0,30	0,44	0,004	1,62
8.	То же	A _{пах} , 0—20	9,5	9,0	4,1	7,2	0,46	0,80	0,011	1,76
9.	Поле озимых	Биомасса	7,9	3,9	1,5	2,2	0,38	0,56	0,020	1,47
		A _{пах} , 0—20	—	13,8	8,2	9,0	0,59	0,65	—	1,10
Среднее:										
	Лиственный лес	A ₀ /A ₁	11,5	10,2	5,5	6,4	0,54	0,63	0,011	1,16
		A ₂	7,4	8,3	3,8	6,7	0,46	0,81	0,009	1,76
	Смешанный лес	A ₀	7,7	9,1	5,2	7,0	0,57	0,77	0,006	1,35
		A ₂	6,1	9,7	6,5	6,8	0,67	0,70	0,006	1,05
	Пашня, разрезы 7,8	A _{пах}	8,7	9,7	4,2	7,7	0,43	0,79	0,009	1,83

Таблица 2

Содержание микроэлементов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг
воздушно-сухого веса

Пункт	Горизонт, глубина, см	Cd · 10 ⁻²	Cu	Co	Ni	Co/Cu	Ni/Cu	Cd/Cu	Ni/Co
Подмосковье	Подстилка	9,2	9,5	5,3	6,8	0,56	0,72	0,01	1,28
		6,8—12,9	7,1—11,6	3,6—6,6	5,0—7,8				
Почвы под лесом	A ₁ +A ₂ , 2(5)—15(18)	7,2	9,2	4,8	6,7	0,52	0,73	0,008	1,40
		5,2—10,2	7,8—11,0	1,9—8,2	5,1—8,1				
Там же. Пахотные почвы	A _{пах} , 0—20(30)	8,7	11,0	5,5	8,1	0,50	0,74	0,008	1,47
		7,8—9,5	9,0—13,8	4,1—8,2	7,2—9,0				
Из разных районов [11]	—	—	15	3,1	18	0,21	1,2	—	5,8
		—	0,1—47,9	0,45—14,0					
Московская обл. [10]	—	—	19,4	8,8	—	0,45	—	—	—
		—	4,4—106,3	0,6—20,8					

Примечание. Содержание Cu в гор. A₀ (0—5 см) дерново-сильноподзолистой почвы на тяжелом суглинке Московской обл. составляло 10 мг/кг; в гор. A₁ (5—7 см) — 5 мг/кг и в гор. A₂ (7—17 см) — 3 мг/кг [3]; Cu и Ni в дерново-подзолистой пахотной почве — 14 и 5 мг/кг [11]. В числителе — средние величины, в знаменателе — пределы колебаний.

Содержание микроэлементов в растениях и опаде, мг/кг воздушно-сухого веса

Образец	Cd·10 ⁻²	Cu	Co	Ni	Co/Cu	Ni/Cu	Cd/Cu	Ni/Co
Листья дуба и березы, осока волосянистая, сныть	19,0	6,2	1,0	4,0	0,16	0,65	0,031	4,0
	5—37,5	6,1—6,3	0,5—1,5	3,5—4,5				
Листья березы и хвоя ели	12,6	4,8	1,0	2,2	0,21	0,46	0,026	2,2
	11,6—13,7	4—5,7	0,5—1,4	1,9—2,5				
Мох	11,7	12,8	2,1	2,9	0,16	0,23	0,009	1,4
Биомасса озимых	7,9	3,9	1,5	2,2	0,38	0,56	0,020	1,8
Мхи и лишайники [11]	—	5,8	0,45	1,1	0,78	0,19	—	2,5
		4,8—6,8	0,05—1,9	0,17—1,7				
Хвоя [11]	—	1,5	2,5	2,3	1,7	1,5	—	0,9
Листья древесных пород [11]	—	—	0,32	4,5	—	—	—	14,1
			0,15—0,7	1,1—12,1				
Злаки [11]	—	6,0	0,18	1,0	0,03	0,17	—	5,6
		4,3—7,5	0,08—0,33	0,1—3,5				

поступления микроэлементов в почвенный покров, в частности биогенной аккумуляции, является линейная зависимость между относительным содержанием органической фракции, концентрацией в ней микроэлементов и ее вкладом в общее содержание последних в образце. При поступлении микроэлементов из антропогенных источников (например, радиоактивных продуктов экспериментальных ядерных взрывов) такая зависимость отсутствует [14].

Сделанное заключение об отсутствии загрязнения земной поверхности в районе Краснопахорского лесничества согласуется с данными работы Махонько с соавт. [13], в которой показано, что фоновые концентрации тяжелых металлов в почвах устанавливаются на расстоянии 60—80 км от центра промышленного города.

Выводы

1. Для определения содержания микроэлементов в почвах и растениях применен метод атомно-абсорбционного анализа с лазерным атомизатором, позволяющий производить анализ этих объектов без предварительного озоления по единому калибровочному графику.

2. Показано, что анализ только «минеральной» фракции образцов верхних горизонтов почвенного профиля приводит к существенным систематическим ошибкам определения содержания микроэлементов.

3. В настоящее время содержание Cu, Cd, Co и Ni в почвах под лесом и пахотных почвах на расстоянии 50—60 км от Москвы соответствует фоновым содержаниям.

4. Наблюдаемая корреляция между долей «растительной» фракции в верхнем горизонте почв (остатки опада и травянистой растительности разной степени разложения, корни) и ее вкладом в общее содержание микроэлементов указывает на преобладание естественных источников их поступления в почвенно-растительный покров, в частности биогенной миграции.

Литература

1. Боровик-Романова Т. Ф., Фарафонов М. М., Грибовская И. Ф. Спектральное определение микроэлементов в растениях и почвах. «Наука», 1973.
2. Бязров Л. Г., Дылис Н. В., Жукова В. М., Носова Л. М., Солнцева О. Н., Успенская И. М., Уткин А. И. Основные типы широколиственно-еловых лесов и их производных Малинского лесничества Краснопахорского лесхоза Московск. обл. В сб.: Биогеоэкологические исследования. «Наука», 1971.

3. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд. АН СССР, 1957.
4. *Вульфсон Е. К., Грибовская И. Ф., Карякин А. В., Янушкевич А. Ф.* Атомно-абсорбционный анализ биологических объектов с использованием лазерного атомизатора. ЖАХ, 1975, 30, вып. 10.
5. *Вульфсон Е. К., Карякин А. В., Шидловский А. И.* Атомно-абсорбционный анализ с лазерным атомизатором. Заводск. лаборатория, 1974, т. 40, № 8.
6. *Вульфсон Е. К., Карякин А. В., Янушкевич А. Ф.* О влиянии газофазных реакций на оптические характеристики лазерного факела. Ж. прикл. спектр., 1976, т. 24, вып. 1.
7. *Грибовская И. Ф., Ладан А. И.* Новый способ озонения биологических проб. Агрохимия, 1970, № 8.
8. *Гришина Л. А., Самойлова Е. М.* Учет биомассы и химический анализ растений. Изд. МГУ, 1971.
9. *Иванов Д. Н.* Спектральный анализ почв. «Колос», 1974.
10. *Ковальский В. В., Андрианова Г. А.* Микроэлементы в почвах СССР. «Наука», 1970.
11. *Ковда А. А., Якушевская И. В., Тюрюканов А. Н.* Микроэлементы в почвах. Изд. МГУ, 1959.
12. *Карпачевский Л. О., Киселева Н. К., Леонова Т. Г., Попова С. И.* Пестрота почвенного покрова и ее связь с парцеллярной структурой биогеоценоза. В сб.: Биогеоценологические исследования в широколиственно-еловых лесах. «Наука», 1971.
13. *Махонько Э. П., Первунина Р. И., Вертинская Г. К., Жигаловская Т. Н., Махалов С. Г.* Загрязнение почвы промышленных районов тяжелыми металлами. В сб.: Загрязнение природных сред. Тр. ИЭМ, 1976, вып. 4(56).
14. *Павлоцкая Ф. И., Тюрюканова Э. Б., Баранов В. И.* Глобальное распределение радиоактивного стронция по земной поверхности. «Наука», 1970.
15. *Тюрюканова Э. Б.* Радиогеохимия почв полесий Русской равнины. «Наука», 1974.
16. *Nadkarani R. A.* Elemental availability to plants from soil solutions studied by neutron activations analysis. Radiochem. and Radioanalyt. Letters, 1976, v. 20, № 2.
17. *Nishita H., Haug R. M.* Water and ammonium acetate-extractable Zn, Mn, Cu, Cr, Co and Fe in heated soils. Soil Sci., 1974, v. 118, № 6.

Институт геохимии и
аналитической химии АН СССР

Дата поступления
18.III.1977 г.