

УДК 631.438

А.В. Пузанов

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В ПОЧВАХ ТУВИНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Марганец - физиологически важный для живых организмов микроэлемент. Он участвует в процессах азотного обмена, фотосинтеза и дыхания, входит в состав многих ферментов, влияет почти на все основные процессы и функции организма. Почва является важнейшим компонентом ландшафтов, определяющим биогеохимическую судьбу марганца в такой сложнейшей и контрастной по природным условиям горной области, как Тувинская.

Задачи исследований: 1) изучить закономерности пространственного и внутрипрофильного распределения марганца в почвах; 2) исследовать роль ила, гумуса и карбонатов в почвенной химии марганца.

Валовой марганец в почвах и в их илистой фракции определяли методом количественного спектрального анализа. Физико-химические свойства почв исследовали об-

щепринятыми методами, марганец в составе гумуса - путем его трехкратного разрушения 0,1н NaOH с последующим определением методом атомной абсорбции.

В работе приняты следующие обозначения вариационно-статистических параметров: n - объем выборки; lim - пределы колебания параметров;  $\bar{X} \pm x$  - средняя арифметическая и ее ошибка, V - коэффициент вариации. Объектами исследований являются основные типы почв Тувинской горной области: горно-тундровые, горно-луговые, горно-лесные бурые, горно-лесные черноземовидные, черноземные, каштановые, лугово-каштановые. Формирование почвенного покрова в системе вертикальной поясности обусловило его значительное разнообразие и контрастность (табл. 1).

Таблица 1

Распределение марганца и физико-химических свойств по профилю почв  
Тувинской горной области

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	CaCO <sub>3</sub>	рН водный	Марганец, мг/кг	
		%			валовой	в иле
1	2	3	4	5	6	7
Горно-тундровая дерновая. Хребет Кантегирский						
Адер	0-10	11,2	Нет	5,5	1479	2455
В	15-23	4,5	"-	5,0	923	1175
ВС	25-35	3,4	"-	5,7	822	741
Горно-луговая. Плато Алаш						
Адер	0-6	12,6	Нет	5,3	1799	2239
А	10-20	9,5	"-	5,2	1585	2239
В	25-35	2,1	"-	5,0	871	977
ВС	50-60	2,1	"-	5,2	1429	1072
Горно-лесная бурая. Хребет Бура						
А	0-10	10,8	Нет	6,3	4677	2755
В	11-21	4,0	"-	5,9	1906	2570
ВСк	30-40	4,2	30,5	7,2	832	1412
Ск	50-60	1,6	16,0	7,2	603	1259
Горно-лесная черноземовидная. Хребет Восточный Танну-Ола						
А	10-20	10,3	Нет	6,7	1778	1995
АВ	23-33	1,9	"-	6,7	871	724
В	40-50	1,0	"-	6,9	861	562
ВСк	70-80	0,8	13,4	8,3	794	708

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В ПОЧВАХ ТУВИНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Ск	90-100	0,7	8,3	8,5	841	832
1	2	3	4	5	6	7
Горно-лесная черноземовидная. Плато Алаш						
А	0-10	17,5	Нет	5,6	1479	1862
В	20-30	8,0	"-	6,7	923	1096
Ск	40-50	1,8	3,8	8,0	624	631
Горно-лесная черноземовидная. Тоджинская котловина						
Ат	2-5	12,6	Нет	-	2661	-
Адер	5-11	5,6	"-	5,0	794	1318
А	11-22	5,0	"-	5,2	484	661
АВ	23-33	3,3	"-	5,8	543	398
В1	40-50	0,8	"-	6,2	496	331
В2	55-65	0,4	"-	7,0	501	479
В	66-76	0,6	1,8	7,0	661	977
ВСк	77-87	0,4	19,2	7,2	912	891
Ск	90-100	0,4	12,3	7,3	785	794
Чернозем обыкновенный. Турано-Уюкская котловина						
Апах	0-10	6,2	Нет	6,9	841	1096
А	15-20	5,2	"-	7,0	708	955
АВк	20-27	3,5	7,2	7,4	537	589
В1к	30-40	1,8	13,2	7,6	582	513
В2к	50-60	0,7	10,0	7,8	617	513
ВСк	90-100	0,5	12,2	7,7	785	575
Ск	140-150	0,4	14,3	7,7	609	617
Чернозем обыкновенный. Улуг-Хемская котловина						
А	5-15	10,1	Нет	6,8	794	1738
АВ	20-30	2,9	"-	6,9	603	1175
Вк	42-52	2,8	10,8	7,5	661	1000
Вк	60-70	0,9	14,9	8,1	624	813
ВСк	110-120	0,5	9,6	8,2	556	661
Ск	150-160	0,4	8,3	7,9	617	407
Чернозем южный. Улуг-Хемская котловина						
Апах	0-10	1,5	Нет	6,9	363	2512
А	10-20	1,6	"-	6,9	380	1778
Вк	30-40	0,7	11,8	7,4	361	631
Вк	50-60	0,2	7,8	7,3	355	575
ВСк	70-80	0,1	4,6	7,3	355	501
Ск	110-120	0,1	3,4	7,4	372	-
Светло-каштановая. Убсунурская котловина						
А	10-20	2,0	Нет	7,1	507	708
Вк	30-40	1,7	19,2	8,3	380	316
ВСк	50-60	1,1	17,3	8,5	398	339
Ск	80-90	0,6	17,1	8,7	417	417
Лугово-каштановая. Хемчикская котловина						
Апах.к	0-10	1,5	5,6	7,9	661	-
А	23-33	0,7	5,3	8,0	596	1349
В	37-47	0,2	Нет	8,0	394	813
ВС	60-70	0,3	"-	8,4	1071	1318

С	90-100	0,2	-"	8,4	741	1413
---	--------	-----	----	-----	-----	------

Примечание: прочерк – не определяли.

Почвенная химия марганца, закономерности его пространственного распределения в почвенном покрове горных и равнинных ландшафтов изучены достаточно хорошо [1-6]. Для марганца свойственна высокая пестрота содержания в педосфере. Колебания концентрации элемента в почвах бывшего СССР составляют от 20 до 7200 мг/кг [1, с. 9], в почвах юга Западной Сибири – от 200 до 7413 мг/кг [2, с. 7].

Существенная переменчивость содержания микроэлемента характерна и для педосферы Тувы (табл. 1-3), что обусловлено сложнейшей структурой почвенного покрова исследуемой горной области, большим многообразием горных и почвообразующих по-

род, их исходной литохимической контрастностью, целой гаммой ландшафтно-геохимических систем (от горных тундр до полупустынь) с контрастными физико-химическими свойствами, определяющими процессы геохимического поведения и биогеохимического круговорота марганца. На сравнительно большее варьирование концентраций марганца в горных почвах по сравнению с их равнинными аналогами указывает Н.Г. Зырин [7]. Коэффициент варьирования содержания валового марганца в гумусовом горизонте убывает от почв высокогорий и среднегорий к почвам степных котловин Тувы (см. табл. 3).

Таблица 2

Распределение марганца в почвообразующих породах и почвах Тувинской горной области и других регионов

Составные части Тувинской горной области и другие регионы	n	lim	X ± x	V, %
		мг/кг		
Почвообразующие породы				
Убсунурская котловина	35	190-631	405±20	29
Улуг-Хемская котловина	127	214-1259	531±18	39
Хемчикская котловина	62	214-1531	598±40	53
Турано-Уюкская котловина	58	221-901	584±20	27
Тоджинская котловина	41	209-912	512±26	33
Горные окаймления	35	292-1429	715±53	44
Тувинская горная область	358	190-1531	557±19	43
Кларк в литосфере:			830	
	[8]		1000	
	[9]		700	
Почвы				
Убсунурская котловина	78	190- 822	437±28	28
Улуг-Хемская котловина	356	204-1259	560±11	37
Хемчикская котловина	150	214-1778	668±27	49
Турано-Уюкская котловина	169	221-1244	641±13	29
Тоджинская котловина	130	182-1622	636±29	52
Горные окаймления	108	237-4677	988±72	76
Тувинская горная область	1052	169-4677	645±23	40
Юг Западной Сибири [2]	1039	237-7413	720±15	67
Горный Алтай [3]	1270	200-2692	825±9	40

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В ПОЧВАХ ТУВИНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Советский Союз [1]	1629	5-21800	828	-
Почвы мира [10]	-	10-9000	545	-

Аналогичная тенденция наблюдается и для почв Алтайской горной области [3]. Это обстоятельство во многом связано с более разнообразным минералогическим, гранулометрическим составом и генезисом почвообразующих пород положительных геоморфологических структур по сравнению с хорошо сортированными и выдержанными по гранулометрии четвертичными отложениями депрессионных территорий, так и с

многообразием почвообразовательных макропроцессов и их направленностью в пределах высокогорных поясов. Большая вариативность концентраций марганца характерна не только для педосферы исследуемого региона в целом (см. табл. 3), но и для почвенного покрова составных частей Тувинской горной области, а также разнотипных почв в системе вертикальной поясности (см. табл. 1-3).

Таблица 3  
Вариационно-статистические показатели содержания марганца в почвах Тувинской горной области

Генетический горизонт	n	lim	X ± x	V, %
		мг/кг		
Горно-тундровые				
A	4	269 - 1500	647±560	37
B	4	389 - 923	653±124	38
BC	2	822 - 955	889± 67	11
Горно-луговые				
A	4	1109 - 2427	1730±273	32
B	2		871	
BC	2	1259 - 1429	1359±100	10
Горно-лесные бурые				
A	9	661 - 4677	1371±271	59
B	7	447 - 1906	741±212	76
C	6	385 - 881	615± 83	33
Горно-лесные черноземовидные				
A	64	422 - 4365	1176 ± 96	66
B <sub>к</sub>	60	237 - 2213	553 ± 641	58
BC <sub>к</sub>	19	292 - 1334	594 ± 60	45
C <sub>к</sub>	33	339 - 1585	613 ± 50	47
Черноземы обыкновенные				
A	38	631 - 955	785 ± 16	13
AB	15	385 - 966	676 ± 42	24
B <sub>к</sub>	29	417 - 922	622 ± 24	21
BC <sub>к</sub>	17	484 - 871	651 ± 26	16
C <sub>к</sub>	23	363 - 871	610 ± 30	24
Черноземы южные				
A	20	363 - 912	565 ± 29	23
B <sub>к</sub>	19	309 - 646	474 ± 23	21
BC <sub>к</sub>	8	282 - 661	476 ± 45	27
C <sub>к</sub>	15	234 - 692	471 ± 32	27
Светло-каштановые				

Ак	37	169 - 588	437 ± 19	27
Вк	27	219 - 708	390 ± 25	33
ВСк	21	214 - 933	433 ± 38	41
Ск	33	190 - 646	370 ± 23	37

Освоение черноземных почв и ярко выраженные дефляционные процессы в Улут-Хемской котловине привели к нивелированию исходного естественного разнообразия концентраций микроэлемента в гумусовом горизонте, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты варьирования (см. табл. 3). География марганца в педосфере Тувы характеризуется убыванием концентрации элемента от почв горных окаймлений к почвам сухостепных котловин (см. табл. 2, 3), в целом повторяя пространственные закономерности распределения марганца в почвообразующих породах соответствующих геоморфологических структур. Среди котловин Тувы самый низкий уровень концентрации микроэлемента отмечен в почвенном покрове Убсунурской депрессии, представленном преимущественно светло-каштановыми песчаными и супесчаными почвами, сформированными на бедных марганцем эоловых и аллювиальных песчаных отложениях. В целом в педосфере Тувы содержится марганца меньше, чем в почвах других регионов, и несколько выше, чем в почвах мира (см. табл. 2).

Внутрипрофильному распределению марганца свойственно высокодостоверное биогенное накопление в гумусо-аккумулятивных горизонтах почв в системе вертикальной почвенной поясности Тувинской горной области. Биогенная аккумуляция микроэлемента установлена для большинства почв и в других регионах [1-6]. В ряду горных почв Тувы наиболее высокий уровень содержания марганца отмечен в гумусовом горизонте горно-лесных почв (см. табл. 1, 3), в которых имеет место ярко выраженное проявление дернового процесса, наиболее низкий – в светло-каштановых почвах сухостепных котловин, где и без того слабое биогенное накопление марганца нивелируется интенсивно протекающими дефляционными процессами.

Главным источником поступления марганца в гумусовые горизонты горно-лесных

почв являются подстилки, отличающиеся значительным уровнем концентрации рассматриваемого элемента. Сравнительно высокие количества микроэлемента накапливает хвоя лесообразующих пород лесных экосистем: лиственницы, ели, кедра, а в тундре и лесотундре: листья карликовой березки и ряда кустарников. Факт аккумуляции марганца лесным разнотравьем, подстилками и гумусовыми горизонтами лесных почв отмечен многими исследователями [1-6]. Положительная корреляция между содержанием марганца и гумуса выявлена в гумусовом горизонте почв Тувы с разной степенью выраженности дернового макропроцесса.

Обращает на себя внимание тесная положительная корреляционная связь между концентрацией марганца и содержанием гумуса, а также биогенная аккумуляция элемента в гумусовом горизонте каштановых почв, несмотря на весьма слабое проявление дернового процесса и сравнительно невысокое накопление марганца сухостепной растительностью, характеризующейся низкой биомассой. Вероятно, это обусловлено относительно замкнутым биогеохимическим циклом химических элементов в каштановых почвах, ограничивающимся в основном маломощной сферой гумусового горизонта. Нисходящая миграция марганца при концентрированном характере выпадения летних осадков в степных котловинах Тувы, по видимому, лимитируется мощными карбонатными системами. Запасы ризомассы степных и сухостепных формаций существенно преобладают над надземной биомассой, которая в основном удаляется в результате дефляции за пределы фитоценоза, и поэтому именно корневые остатки являются основным источником биогенного накопления химических элементов в каштановых почвах.

Результат естественного процесса биогенной аккумуляции марганца и других микроэлементов в почвах агроценозов котловин нивелируется в течение весьма непродолжительного времени.

должительного периода, безусловно, не сопоставимого с временными рамками почвообразования в котловинах.

Тесная корреляционная зависимость между содержанием гумуса и марганца свойственна почвам юга Западной Сибири -  $r = 0,53 \pm 0,04$  [2]. Ряд исследователей считает, что марганец не образует достаточно прочных связей с гумусом [1, 11, 12]. По мнению М.Д. Степановой [13], органическое вещество фульватного типа практически не закрепляет марганец. Гумус разнотипных почв является важнейшим депо микроэлементов [2, 13-16]. Степень депонирования марганца

гумусом почв высокогорного пояса существенно выше, чем степных (табл. 4). В условиях горно-тундровых, горно-луговых и горно-лесных транзитных ландшафтов при кислом диапазоне реакции среды и периодически возникающих восстановительных обстановках соединения марганца наиболее миграционноспособны, депонирование марганца гумусом можно квалифицировать как важнейший биогеохимический механизм, предотвращающий удаление за пределы ландшафта доступных соединений такого физиологически важного для растений элемента, как марганец.

Таблица 4  
Содержание марганца в органическом веществе гумусовых горизонтов почв Тувинской горной области

Почва	Глубина образца, см	Марганец		Гумус общий, %	Долевое участие марганца гумуса в общем содержании, %
		почва	гумус		
		мг/кг			
Горно-тундровая	0-15	560	450	6,2	7,7
Горно-луговая	10-20	1585	340	9,5	4
Горно-лесная черноземовидная	10-20	708	316	9,2	4
Чернозем обыкновенный	0-15	758	100	4,9	0,7
Каштановая	0-10	556	75	2,2	0,3

Насыщенность марганцем гумуса черноземов юга Западной Сибири аналогична насыщенности черноземов Тувы, гумус же западно-сибирских равнинных лесных почв депонирует этого элемента существенно больше, чем горно-лесные почвы Тувы. Близкие к нашим значения концентрации марганца в составе гумуса дерново-подзолистой и подзолистой почв получены И.Н. Шибаровой [16]. Долевое участие марганца гумуса в общем содержании элемента уменьшается от горно-тундровых к каштановым почвам (см. табл. 4), что отражает роль органического вещества в биогеохимическом цикле марганца в почвах различных ландшафтно-геохимических систем. По свидетельству И.Н. Шибаровой [16], в составе органического вещества гумусовых горизонтов лесных почв находится 25-41% от общего содержания элемента; в лесных почвах Западной Сибири – 85-92% [17].

Итак, гумусовые горизонты разнотипных почв Тувинской горной области являются

биогеохимическим барьером, во многом определяющим судьбу активных соединений марганца в почвенном профиле и в ландшафтах в целом.

Влияние степени дисперсности минеральной основы почв на уровень содержания микроэлементов и, в частности, марганца, неоднозначно. По данным [3, 18-20], в разнотипных почвах концентрация марганца увеличивается с утяжелением механического состава, но, по свидетельству В.Б. Ильина [2, с. 22], – не всегда отвечает этой закономерности. Фиксация микроэлемента в виде пленок оксидов на поверхности грубодисперсных частиц обуславливает более высокий уровень концентрации марганца в почвах легкого механического состава. Илистая фракция не имеет решающей роли в обеспеченности марганцем почв юга Западной Сибири, что подтверждается отсутствием корреляционной связи между содержанием марганца и ила –  $r = 0,037 \pm 0,05$  [2]. Слабая корреляционная зависимость между концен-

трацией валового марганца и физической глиной установлена нами для разнотипных почв Тувы ( $r = 0,25+0,04$ ).

Микроэлементный состав илистой фракции, роль ила в почвенной химии микроэлементов, влияние этой фракции на биогеохимические циклы микроэлементов освещены в работах многих исследователей [19-26]. Илистая фракция наследуется почвами от материнских пород, на ее микроэлементный состав, по-видимому, оказывает влияние степень изменения в процессе почвообразования и гипергенеза, в свою очередь, последние обстоятельства определяют уровень насыщенности ила марганцем и другими микроэлементами различных генетических горизонтов почв.

Ил суглинистой почвообразующей породы, на которой осуществляется почвообразование курского чернозема, принятого некоторыми исследователями за эталон [22-24], концентрирует марганца 620 мг/кг; западно-сибирские суглинки – 630-670, аллювиальные отложения террас Оби – 540 [22]; покровные отложения Московской области [19]; суглинистые и глинистые отложения центрально-черноземной области – 524-636 [21]; делювиальная супесь Бурятии – 462 Мг/кг [24].

Концентрация марганца в илистой фракции разнообразных по петрографии и генезису почвообразующих субстратов Тувы варьирует в широком диапазоне (см. табл. 1 и 5): минимальные содержания свойственны песчаным эоловым, аллювиальным и элювио-делювиальным отложениям, максимальные – тонкодисперсным материнским породам различного генезиса. В целом можно отметить сравнительно невысокую степень депонирования марганца илистой фракцией почвообразующих пород исследуемого региона, что обусловлено генезисом отложений и специфическим характером гипергенных превращений илистого материала в условиях холодных гумидных областей высокогорий и криоаридного климата степных и сухостепных котловин. Преобладание хлоритов и гидрослюдов в составе ила почвообразующих пород группы делювия и аллювия свидетельствует о слабом гипергенном преобразовании илистой фракции. Практически полное отсутствие минералов группы монтмориллонита детерминирует низкую степень депонирования марганца илом почвообразующих субстратов.

Уровни концентрации марганца в почвообразующих породах Тувы легкого гранулометрического состава и их илистой фракции в большинстве случаев различаются незначительно, что связано с преобладанием процессов физической дезинтеграции над химическим выветриванием, вследствие чего мелкоземистый материал не испытывает глубоких химических преобразований.

Илистая фракция минеральных генетических горизонтов разнотипных почв наследует уровень концентрации марганца илов соответствующих почвообразующих пород (см. табл. 1). Это же характерно и для почв Западной Сибири [19, 20, 22, 24].

Биогенная аккумуляция марганца илистой фракцией гумусовых горизонтов наблюдается в большинстве типов почв в системе вертикальной почвенной поясности Тувы (см. табл. 1, 5). Эффект биогенного накопления в илистых фракциях как горно-лесных, так и степных почв проявляется ярче, чем в соответствующих гумусо-аккумулятивных горизонтах в целом. Это обусловлено тем, что микроэлементы после минерализации лесных подстилок и степного войлока концентрируются в основном в тонкодисперсной части почвы, адсорбируются на поверхности глинных минералов, входят в состав гумусовых веществ. Причем роль фактора дисперсности в биогенной аккумуляции марганца в илистой фракции, вероятно, уступает гумусированности. К тому же минералогический состав илистой фракции криоаридных почв котловин Тувы не претерпевает существенных изменений в процессе почвообразования, и минеральная составляющая ила гумусовых горизонтов вряд ли отличается от илистой фракции исходных почвообразующих пород. Биогенная аккумуляция марганца илистой фракцией отмечается рядом исследователей [19, 20, 22, 24].

Ил гумусовых горизонтов исследуемых почв более насыщен марганцем по сравнению с мелкоземом этих горизонтов, чего нельзя сказать о педосфере Тувы в целом. Из-за низкого содержания фракции ила в почвах Тувы, имеющих преимущественно легкий гранулометрический состав, доля марганца илистой фракции в общем содержании элемента невелика.

Таблица 5

Сравнительное содержание марганца в почвах и их илистой фракции

Генетический горизонт	Почва		V, %	Ил		V, %
	lim	X ± x		lim	X ± x	
	мг/кг			мг/кг		
<b>Горно-лесные черноземовидные</b>						
A	422-1778	989±143	48	460-2818	1383±230	53
AB	422-871	612±110	31	398-933	685±127	32
B	237-925	480±70	48	280-1096	555±74	44
BC	292-912	528±96	45	331-891	548±79	36
C	355-841	579±66	33	339-832	560±69	57
Профиль в целом (n=38)	237-1778	664±61	57	280-2818	738±91	71
<b>Черноземы</b>						
A	363-1122	686±48	20	457-2512	1376±194	37
AB	251- 933	534±105	41	489-1175	783±85	24
B	244-1188	476±47	28	145-1000	541±59	30
BC	243- 785	531±77	31	295-750	529±80	31
C	241- 881	479±50	26	407-646	509±32	15
Профиль в целом (n=88)	224-1188	541±65	29	145-2512	747±90	21
<b>Каштановые</b>						
A	507-1270	824±55	26	417-2188	1037±124	46
B	380-813	659±38	18	316-1949	793±177	71
BC	398-933	719±59	22	339-832	572±64	28
C	417-860	606±48	25	363-1585	715±30	27
Профиль в целом (n=40)	380-1270	715±30	27	316-2188	828±77	58

Отличительной чертой геохимии профиля горно-лесных черноземовидных и степных почв Тувы являются мощные карбонатные системы, которые играют в почвенной химии марганца, безусловно, выдающуюся роль наряду с гумусом, полуторными оксидами, илом. Концентрация марганца в карбонатах варьирует в широких пределах – от 70 до 2309 мг/кг, V равен 73% и, по-видимому, определяется генезисом отложений и их положением в рельефе.

Барьерная функция карбонатных горизонтов, очевидно, в большей степени проявляется в горно-лесных черноземовидных почвах Тувы, где специфика почвообразования и периодически промывной тип водного режима делают более миграционноспособными соединения марганца и других микроэлементов группы железа.

Оценивая педосферу Тувинской горной области по уровню содержания марганца (придерживаясь пороговых концентраций, разработанных В.В. Ковальским) [26], следует выделить Убсунурскую и Улуг-Хемскую котловины с каштановыми супесчаными и песчаными почвами, содержащими марганец за пределом нижнего порога обеспеченности. Здесь не исключены негативные реакции у живых организмов на дефицит этого элемента.

### ВЫВОДЫ

1) Концентрация марганца в педосфере Тувинской горной области варьирует в широком диапазоне, составляя в среднем 645 мг/кг;

2) почвы наследуют уровень содержания марганца почвообразующих субстратов;



- 3) большинству типов почв Тувы свойственно биогенное накопление элемента;
- 4) гумус почв в различной степени депонирует марганец;
- 5) илистая фракция гумусовых горизонтов в большей степени насыщена марганцем по сравнению с мелкоземом этих горизонтов;

- 6) илу гумусовых горизонтов свойственно биогенное накопление марганца;
- 7) карбонатные горизонты выполняют функцию физико-химического барьера и в значительной степени депонируют микроэлемент.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальский В.В., Андрианова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР. М., 1970.
2. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (марганец, медь, молибден, бор) в южной части Западной Сибири. Новосибирск, 1973.
3. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. Новосибирск, 1978.
4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957.
5. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н. Микроэлементы в почвах Советского Союза. М., 1959.
6. Макеев О.В. Микроэлементы в почвах Сибири и Дальнего Востока. М., 1973.
7. Зырин Н.Г. Распределение и варьирование содержания микроэлементов в почвах Русской равнины // Почвоведение. 1968. №7.
8. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7.
9. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М., 1976.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
11. Маданов В.П. Биологическая аккумуляция марганца в почвах Волжско-Камской лесостепи и его доступность сельскохозяйственным растениям. Казань, 1953.
12. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. М., 1980.
13. Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почвы. Новосибирск, 1976.
14. Журавлева Е.Г. К вопросу о содержании микроэлементов в органическом веществе почв // Почвоведение. 1965. №12.
15. Байдина Н.Л. Содержание макро- и микроэлементов в гумусовом веществе черноземов и дерново-подзолистых почв // Известия СО АН СССР. 1986. Вып. 3. Сер. биол.
16. Шибаета И.Н. Сравнение двух методов извлечения микроэлементов в составе органического вещества почв // Вестник МГУ. 1990. Серия 17.
17. Ильин В.Б., Маслова И.Я. Содержание макро- и микроэлементов в гумусе черноземов и дерново-подзолистых почв, разрушенном перекисью водорода // Известия СО АН СССР. 1986. Вып. 3. Сер. биол.
18. Бериня Д.Ж. Марганец и железо в почвах и растениях // Микроэлементы и урожай. Рига, 1961.
19. Добрицкая Ю.И. Содержание молибдена и марганца в илистой фракции некоторых почв // Агрохимия. 1967. №3.
20. Адрихин П.Г., Копаева М.Г. Марганец, цинк, медь и кобальт в илистой фракции ЦЧО // Агрохимия. 1979. №1.
21. Адрихин П.Г., Беляев А.Б. Химический состав механических фракций черноземов центральных областей // Почвоведение. 1974. №4.
22. Ильин В.Б., Маслова И.Я. Содержание элементов-биофилов в иле черноземов и дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1979. Т 9.
23. Изерская Л.А. Содержание и закономерности распределения микроэлементов в почвах Томского Приобья. Автореф. Дис. ...канд. геол. наук. Новосибирск, 1979.
24. Убугунов Л.Л. Содержание элементов-биофилов в илистой фракции каштановых почв Бурятской АССР // Почвоведение. 1984. №7.
25. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск, 1985.
26. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М., 1974.