

УДК 631.47

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРЫ В МЕРЗЛОТНО-ТАЕЖНЫХ ПОЧВАХ ПЛАТО ПУТОРАНА

Т.В. Пономарева

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок, 50; e-mail: institute@forest.akadem.ru

В статье приведен анализ содержания и распределения различных форм серы в криомезоморфных почвах на северо-западе Среднесибирского плоскогорья (район исследования охватывает западный макросклон плато Путорана). На Западном макросклоне плато Путорана повсеместно развиты криомезоморфные почвы – подбуры, которые формируются на хорошо дренированных участках (нагорных и надпойменных террасах), на каменисто-мелкоземистых породах. Установлено, что средняя концентрация валовой серы в криомезоморфных почвах плато Путорана выше кларка в 1,5-2 раза и составляет в подбурах 1290 мг/кг. Максимальное количество валовой серы характерно главным образом для минеральных горизонтов. Высокие концентрации серы отмечаются в надмерзлотных горизонтах. Для исследованных почв свойственно высокое содержание минеральной и подвижной форм серы, что обусловлено как, экзогенным поступлением соединений серы, так и спецификой образования данных почв на сульфидосодержащих породах.

Ключевые слова: мерзлотные почвы, сера, лесные экосистемы

This report reviews analysis of the content and the distribution of various forms of sulphur in cryomesomorphic soils on the north-west of Middlesiberia plateau (area of investigation place on the west mountainside of plateau Putorana). Cryomesomorphic soils (“podburs”) are developed on the west mountainside of plateau Putorana everywhere. This soil type form on the good drain plots (mountainous and underflood-lands terraces), on the granitic rocks. It is established that average concentration of gross sulphur in cryomesomorphic soils higher than klark on 50-100 % and come to 1290 mg/kg. Maximum of gross sulphur is typical for mineral levels. High concentration of sulphur are significant in level above frozen earth. It is typical for this soils high content of mineral and mobil forms of sulphur. This fact are caused of exogenous entrance compounds of sulphur and specificity forming of this soil types on sulphide rocks.

Key words: soils, sulfur, forest ecosystems

ВВЕДЕНИЕ

Глобальный биогеохимический круговорот серы представляет собой сложную систему химических и биохимических процессов, в которых принимают участие соединения серы. Биогеохимические циклы природной серы связаны с ее содержанием в породах, почвах, живых организмах (Рябошапко, 1983; Лукина, 1996). В настоящее время особую актуальность приобретает изучение круговорота серы. В литературе широко обсуждается проблема поступления в атмосферу оксида серы (IV) и сероводорода, которые в больших концентрациях тормозят процессы анаэробного восстановления сульфатов и аэробного окисления сульфидов (Иванов 1983).

Сера в почвах представлена органическими и неорганическими соединениями, соотношение которых зависит от типа почвы и глубины залегания генетического горизонта (Kilmer 1960; Little, 1957). Наиболее доступная растениям сульфатная форма составляет не более 10-25 % общего содержания. Общеизвестно, что помимо серы органических соединений, попадающих в почву с опадом, значительные поступления серы происходят с пылью и кислотными дождями, причем с пылевой фракцией серы поступает в десятки раз больше, чем с атмосферными осадками (Иванов 1983; Израэль, 1989; Маслова, 2004).

Знание потенциальных возможностей почвы в

нейтрализации, аккумуляции и трансформации соединений серы необходимо для своевременного выявления и оценки тенденций изменения почвенных свойств (Иванов 1983; Коротков, 1991).

Цель работы – определить содержание и выявить распределение валовой серы в мерзлотно-таежных почвах плато Путорана.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория исследования расположена на северо-западе Среднесибирского плоскогорья (67 – 70° с.ш., 89 – 90° в.д.). Она охватывает горы западного макросклона плато Путорана. Климат континентальный, гумидный с продолжительной холодной зимой и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха -9,7 °С, за год в среднем выпадает около 440 мм осадков. Продолжительность периода с температурой выше 5 °С составляет 80-90 дней, а период с температурой >10 °С – около 60 дней. Безморозный период длится 50-80 дней (Средняя Сибирь, 1964).

Лесные почвы западного макросклона плато Путорана изучены недостаточно. Почвенный покров района специфичен (Ершов, 1992, 2004; Фотиев, 1974; Соколов, 1975). Согласно (Ершов, 1999), территория отнесена к Западно-Путоранской горной провинции вертикально- и экспозиционно-дифференцированной мезокомбинации подбуров, грануземов и таежных торфяно-перегнойных высо-

когумусных неоглеенных почв (криоземов). Рельеф низкогорный, абсолютные высоты колеблются в пределах 80-600 м. Поверхность расчленена долинами рек и озерными котловинами.

Почвообразующими породами служат продукты выветривания пород трапповой формации (долеритов, базальтов и др.), имеющие разный генезис и гранулометрический состав. Особенностью химико-минералогического состава траппов является обогащение их железомagneзиальными силикатами и основными плагиоклазами и очень незначительное содержание кварца, высокое содержание кальция, магния и низкое – щелочных элементов и кремнезема (Ершов, 1992). Почвы, развитые на дериватах траппов, не имеют морфологически осветленного (подзолистого) горизонта (даже при наличии всех других факторов почвообразования, способствующих его формированию) (Ершов, 2004).

Криогенные процессы оказывают существенное влияние на состав и свойства почв. В результате воздействия мерзлотных процессов, обусловленных чередованием промерзания-протаивания, в профиле почв возникает целый комплекс механических деформаций почвенной массы, связанных с пучением, криотурбацией, морозобойным растрескиванием, криосолифлюкционными деформациями. Мерзлотные нарушения хорошо наблюдаются в морфологическом строении почв: гумусовые и минеральные клинья (языки-затеки), мерзлотные трещины и полигональная поверхность почв, криогенная структура (сланцеватая, плитчатая) (Фотиев, 1974; Соко-

лов 1975; Ершов, 1999).

По лесорастительному районированию район исследования относится к Путоранской горной лесорастительной провинции северо-таежных лесов и горных тундр (Коротков, 1991). Главная лесообразующая порода – лиственница сибирская (*Larix sibirica*), сменяющаяся на востоке лиственницей даурской (*Larix daurica*). Преобладают разновозрастные насаждения с преобладанием перестойных, характеризующихся низкой полнотой (0,4). Около 25 % лесопокрытой площади приходится на редины с полнотой 0,2 и менее. Кроме основного древесного эдификатора добавляется ель (*Picea obovata*), береза (*Betula pubescens*) с характерным для них травяно-кустарничковым напочвенным покровом (Водопьянова, 1976).

Для изучения почвенного покрова использовался катенный метод исследования, который позволяет рассматривать цепочку сменяющих друг друга от водораздела к подножию склона геохимически сопряженных ландшафтов и приуроченных к ним почв. Объектом исследования послужили криоморфные почвы (рис.1). Катены в виде почвенно-экологических профилей закладывались с учетом охвата всего разнообразия почв и растительных сообществ от пойм рек до водораздельных поверхностей. На профилях выбирались участки для закладки постоянных пробных площадей с целью детального изучения компонентов лесных биогеоценозов (древостоя, травяно-кустарничкового яруса, напочвенного покрова и почв).

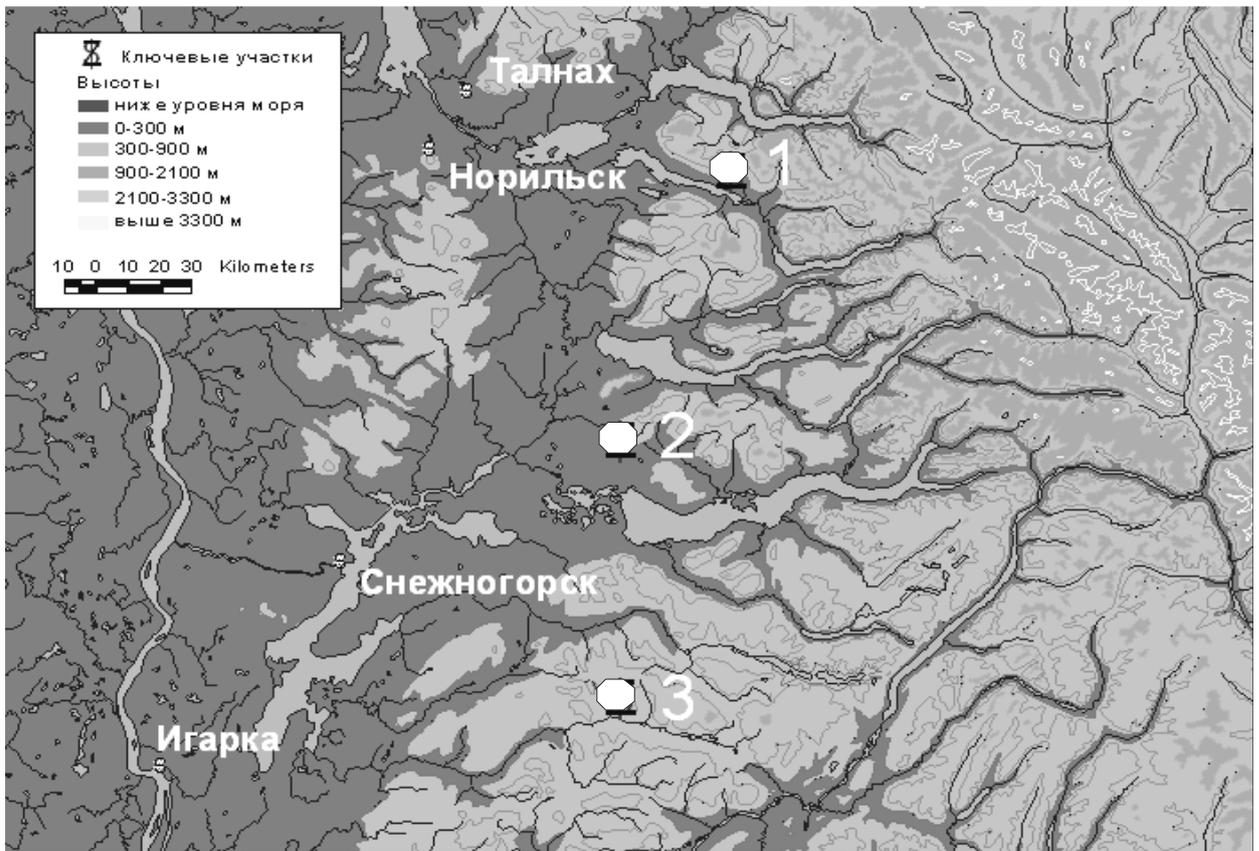


Рисунок 1 – Схема размещения почвенно-экологических профилей в районе исследования на западном макросклоне плато Путорана (1 – оз. Глубокое, 2 – р. Ирбэ, 3 – р. Горбиачин)

Химические анализы почвенных образцов выполнялись по стандартным методикам (Аринушкина, 1970). Содержание валовой серы определялось объемным методом солями бария в присутствии металлоиндикатора нитхромазо. Содержания минеральной формы серы определяли в 0,2н солянокислой вытяжке. Подвижную форму серу определяли в 0,2н растворе KCl, титрование в солевой вытяжке проводили тем же методом в присутствии свидетеля, для установки конца титрования (Айдинян, 1964).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В регионе повсеместно развиты криomezоморфные почвы – подбуры, формирующиеся на хорошо

дренированных участках (нагорные и надпойменные террасы) и каменисто-мелкоземистых породах. Гранулометрический состав почв варьирует от супеси до среднего суглинка с преобладанием фракций песка и крупной пыли (табл. 1). Реакция органических и органоминеральных горизонтов кислая и слабокислая (pH_{H_2O} 4,0 – 6,5), материнских пород нейтральная или слабощелочная. Почвы характеризуются высокой гидролитической кислотностью (33,5 – 61,6 ммоль/100 г) и низкой степенью насыщенности обменными основаниями в верхних горизонтах. Вниз по профилю почв гидролитическая кислотность снижается до 13,9 – 1,06 ммоль/100 г, а степень насыщенности основаниями возрастает до 68 - 97 % (табл. 2).

Таблица 1 – Гранулометрический состав подбуров (разрез 4М-01)

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %; диаметр частиц, мм						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
B1h,f	15–30	11,1	42,1	29,9	4,8	6,2	5,9	16,3
B2f	30–51	5,6	22,9	40,6	10,3	14,8	5,8	30,9
BC	51–69	31,8	28,4	24,1	4,2	7,0	4,5	15,7

Таблица 2 – Физико-химические свойства подбуров (разрез 4М-01)

Горизонт	Глубина, см	pH_{H_2O}	Гумус, %	ППП*, %	Гидролитическая кислотность, ммоль / 100 г	Обменные катионы, ммоль/100 г		Обменная кислотность по Соколову, ммоль / 100 г		Железо по Тамму, %
						Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H^+	
Ov	0-8	4,5	He опр.	98,0	40,2	14,0	3,0	2,30	1,55	He опр.
O2	8-15	4,4	“	78,0	61,6	29,0	4,0	7,55	0,35	“
B1h,f	15–30	5,8	3,7	He опр.	11,2	13,7	2,8	2,13	0	3,1
B2f	30–51	6,2	2,6	“	5,73	26,0	5,2	0,95	0	2,9
BC	51–69	6,7	1,7	“	3,82	23,6	5,3	1,10	0	1,9

Примечание: * – потеря при прокаливании.

В составе почвенного поглощающего комплекса (ППК), как правило, доминируют кальций и магний. Однако в отдельных органоминеральных горизонтах таежно-мерзлотных почв (при pH 4,2 – 4,7) значительную долю в ППК составляет обменный алюминий (11,50 – 17,25 ммоль/100 г). Отмечено, что подкисление почвенной среды приводит к выносу катионов из верхних горизонтов и мобилизации алюминия в почвах (Иванов, 1983).

В составе обменных катионов присутствует водород, содержание которого в органических и органоминеральных горизонтах составляет 0,15 – 2,55, в минеральных – не превышает 0,1 ммоль/100 г. Аморфных соединений железа содержится 1,2 – 3,7 % с максимумом в горизонтах B_h,f, что обусловлено как иллювиально-альфегумусовым процессом, так и внутрпочвенным выветриванием (Ершов, 1992). Распределение органического вещества в профиле подбуров аккумулятивное с максимумами в органических горизонтах. Содержание гумуса в горизонтах B_h и B_h,f может достигать 14 %, что связано с миграцией гумусовых веществ совместно с полтораоксидами железа вниз по профилю.

Кларк серы (по Виноградову, 1957) – 0,085 %, или 850 мг/кг (Виноградов, 1957). Довольно высокий кларк серы в почвах и легкая растворимость ряда сульфатов определяют ее типоморфность (к типо-

морфным относятся элементы со сравнительно высокими кларками, образующие растворимые или газообразные соединения этого элемента в ландшафтах). Полагают, что многие почвы бедны серой при содержании ее в гумусовом горизонте менее 0,01 % (Айдинян, 1964), а в торфяных почвах количество ее достигает 1 % и реже - 2-5 % (Иванов, 1983). Распределение серы по профилю обычно коррелирует с содержанием органического вещества, монотонно убывая с глубиной. Однако в подзолистых почвах нередко отмечается элливиально-иллювиальное распределение серы с двумя максимумами – в поверхностных и иллювиальных горизонтах.

В большинстве случаев только 20 % поступающей серы находится в круговороте почвой – растением. В почвах с преобладанием восстановительных условий сульфат-ион быстро восстанавливается сульфатредуцирующими микроорганизмами до сероводорода, который может связываться с избытком железа и других катионов с образованием нерастворимых сульфидов (Лукина, 1996).

Проведен анализ распределения серы в почвенном профиле подбуров. Установлено, что средняя концентрация валовой серы в криomezоморфных почвах выше кларка в 1,5-2 раза, в подбурах составляет 1290 мг/кг (0,13 %). При этом отмечается уменьшение концентрации общей серы в органоминеральных горизонтах. Минеральная и подвиж-

ная формы распределяются достаточно равномерно (рис. 2). Количество резервной серы тесно связано с концентрацией валовой (коэффициент корреляции 0,99). Зависимость содержания минеральной формы

от количества общей серы несколько меньше (коэффициент корреляции 0,70), при этом распределение минеральной серы по генетическим горизонтам более равномерное.

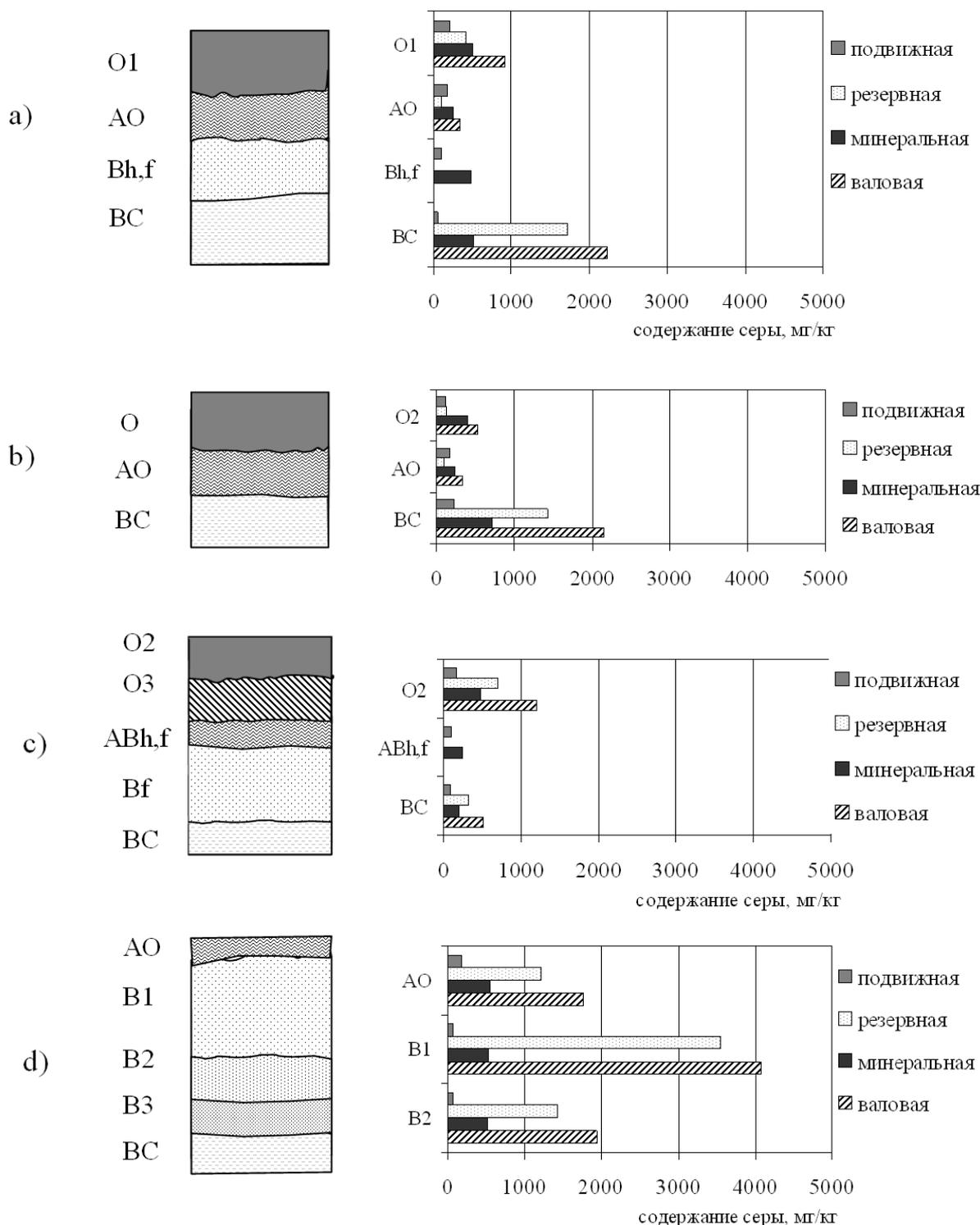


Рисунок 2 – Распределение различных форм серы (валовой, резервной, минеральной и подвижной) по генетическим горизонтам в почвенном профиле подбуров (разрез 2П2 (а), 3П2 (б) – ПЭП "Ирбэ"; разрез 5П1 (с) и 6П1 (д) – ПЭП "Глубокое")

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ содержания и распределения различных форм серы в мерзлотных почвах показал, что мак-

симальное количество общей серы характерно главным образом для минеральных горизонтов, что, по-видимому, связано с высоким содержанием элемента в почвообразующих породах, а также с ми-

грацией сульфатов из верхних горизонтов в нижние. Длительное пребывание исследуемых почв в мерзлом состоянии препятствует вымыванию соединений серы из почвенного профиля. Высокие концентрации серы отмечаются в надмерзлотных горизонтах, в которых легкорастворимые сульфаты переходят в нерастворимые сульфиды.

Естественные геохимические барьеры (высокогумусные органогенные и органоминеральные, оглеенные и мерзлые горизонты) почв обеспечивают перевод части легкорастворимых соединений серы в труднорастворимые (резервные). При смене анаэробных условий аэробными происходит окисление сульфидов с образованием растворимых и миграционноспособных сульфатов, при обратной ситуации начинается образование плохо растворимых сульфидов и иммобилизация металлов. Для криомезоморфных почв, характерно высокое содержание минеральной и подвижной форм, что обусловлено как экзогенным поступлением соединений серы, так и сульфидосодержащими материнскими породами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Айдинян, Р.Х. Содержание и формы соединений серы в различных почвах СССР и ее значение в обмене веществ между почвой и растением / Р.Х. Айдинян // *Агрохимия*. – 1964. - №10. – С. 98-102.
- Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Аринушкина Е.В. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487с.
- Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238с.
- Водопьянова, Н.С. Растительность Путорана / Н.С. Водопьянова // *Флора Путорана*. - Новосибирск: Наука, 1976. – С. 11-31.
- Ершов, Ю.И. Основы теории почвообразования. – Красноярск: РИО КГПУ, 1999. – 383 с.
- Ершов, Ю.И. Почвы предтундровых лесов Енисейского заполярья, подверженные аэропромышленным выбросам серы / Ю.И. Ершов // *География и природные ресурсы*. – 1992. – №1. – С. 33-39.
- Ершов, Ю.И. Почвы Среднесибирского плоскогорья / Ю.И. Ершов. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2004. – 86с.
- Иванов, М.В. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека / М.В. Иванов. – М.: Наука, 1983. – 420с.
- Израэль, Ю.А. Кислотные дожди / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 269с.
- Коротков, И.А. Лесорастительное районирование предтундровых лесов Сибири / И.А. Коротков // *Эколого-географические проблемы сохранения и восстановления лесов севера*. – Архангельск, 1991. – С. 303-307.
- Лукина, Н.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях агротехногенного загрязнения / Н.В. Лукина, В.В. Никонов // *В 2-х ч. Ч.1. Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН, 1996. – 213с.*
- Маслова, И.Я. Экологическое и агрохимическое значение атмосферной серы техногенного происхождения / И.Я. Маслова // *Сибирский Экологический журнал*. – 2004. – №3. – С. 377-390.
- Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Географ. издат., 1966. – 496с.
- Рябошапко, А.Г. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека / А.Г. Рябошапко. – М.: Наука, 1983. – С.170-253.
- Соколов, И.А. О почвах плато Путорана / И.А. Соколов, В.Д. Тонконогов // *Путоранская озерная провинция. Труды Лимнологич. ин-та СО АН СССР, т. 22 (40)*. Новосибирск: Наука, 1975. – С. 115-121.
- Средняя Сибирь. – М.: Наука, 1964. – 480с.
- Фотиев, С.М. Геокриологические условия Средней Сибири / С.М. Фотиев, Н.С. Данилова, Н.С. Шевелева. – М.: Наука, 1974. – 147с.
- Kilmer, V.J. The determination of available sulfur in soils / V.J. Kilmer, D.C. Nearpass // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1960, 24, – P.337-40.
- Little, R.C. Sulphur in soils. II. Determination of the total sulphur content of soil / R.C. Little // *J. Sci. Food Agric.* 1957, 8, – P.271-9.

Поступила в редакцию 15 мая 2007 г.
Принята к печати 27 августа 2008 г.