УДК 631.4

ВАЛОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПОЙМЫ И РАСТЕНИЯХ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ИРТЫШ

Токарева А.Ю.[1], Алимова Г.С.[1], Дударева И.А. [1], Земцова Е.С.[1], Кайгородов Р.В.[1, 2]

[1]*ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция» Уральского отделения Российской академии наук,, Тобольск, e-mail: aytokareva@list.ru;*
[2]*ФГБУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru*

Данная работа проведена в нижнем течении реки Иртыш. На 7 станциях, расположенных в прирусловой правобережной пойме, выполнен видовой анализ растительности. Для исследования были отобраны доминантные повсеместно распространенные виды. Проведен атомно-эмиссионный анализ валового содержания металлов (железа, марганца, свинца, стронция, хрома, цинка, никеля, меди, кобальта, мышьяка, молибдена) в почве и в наземной и подземной биомассе 10 видов дикорастущих растений (*Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Vicia villosa Roth.*, *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L). Определен гранулометрический состав, а также содержание общего углерода и pH почв. Полученные результаты были сопоставлены с ранними исследованиями других авторов, результаты анализа почв сравнены с фоновыми концентрациями в регионе и с кларками в земной коре.

Ключевые слова: прирусловая пойма нижнего течения р. Иртыш, аллювиальные почвы, растения, металлы, гранулометрический состав.

THE TOTAL CONTENTS OF METALS IN FLOODPLAIN SOILS AND PLANTS IN THE LOWER REACHES OF THE IRTYSH RIVER

Tokareva A.J.[1], Alimova G.S.[1], Dudareva I.A.[1], Zemtsova E.S.[1], Kaygorodov R.V. [1, 2]

[1]*Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk, e-mail: aytokareva@list.ru;*
[2]*Perm State National Research University, Perm, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru*

This work is carried out in the lower reaches of the Irtysh River. On 7 stations located in the riverbed right bank floodplain, made the species of vegetation analysis. For the study were selected dominant ubiquitous species. Spend atomic emission analysis of the total content of metals (iron, manganese, lead, strontium, chromium, zinc, nickel, copper, cobalt, arsenic, molybdenum) in soil and surface and underground biomass of 10 species of wild plants (*Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Vicia villosa Roth.*, *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L). Defined particle size distribution, and the content of total carbon and soil pH. The results were compared with earlier studies by other authors, soil analysis results are compared with the background concentrations in the region, and to Clark in the earth's crust.

Keywords: riverine floodplain of the lower reaches of the Irtysh River, alluvial soils, plants, metals, grain size distribution.

Поймы по характеру миграции и аккумуляции веществ относятся к супераквальным аккумулятивным ландшафтам, где основными путями поступления веществ являются сток с водоразделов и периодическое затопление [7]. В таежно-лесной зоне в аккумулятивных ландшафтах активно образуются железные и марганцевые конкреции, ортштейны, торф. Химический состав почв и растительности пойменных участков позволяет оценить характер геохимической и техногенно-химической миграции веществ, прежде всего микроэлементов и тяжелых металлов, на водосборной территории.

Пойма р. Иртыш относится к категории очень крупных пойм, имеет множество притоков. На водосборной территории реки расположено множество городов, таких как Кёктокай (Фуюнь), Бурчун (Китай), Серебрянск, Усть-Каменогорск, Семей, Курчатов, Аксу, Павлодар (Казахстан), Омск, Тара, Тобольск, Ханты-Мансийск (Россия), оказывающих антропогенное влияние на экологию реки [8; 10]. Микроэлементный состав в почвах поймы р. Иртыш изучен недостаточно [7; 11].

Пойменные участки имеют большое ресурсное значение в качестве кормовой базы животноводства и сбора лекарственного сырья. Мониторинговые исследования эколого-геохимического состояния поймы р. Иртыш и ее отдельных участков важны для оценки санитарно-гигиенического состояния почв и растительности.

Цель исследования – определение валового содержания микроэлементов и тяжелых металлов (Fe, Mn, Pb, Sr, Zn, Cr, Ni, Cu, Co, As, Mo) в образцах проб почв и растительности поймы нижнего течения р. Иртыш.

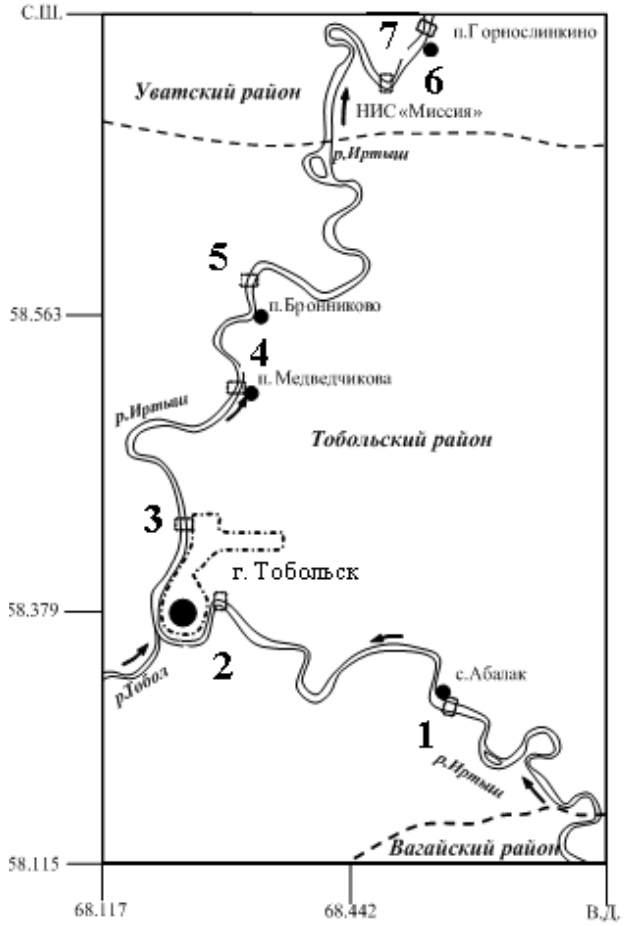
Изучены важнейшие факторы миграции металлов в почве: гранулометрический состав, количество органического вещества и реакция почвенного раствора. Результаты анализов сопоставлены с фоновыми концентрациями металлов и их кларками.

Материалы и методы исследования

В полевых исследованиях выделено 7 станций, расположенных на правом берегу нижнего течения реки Иртыш (рис. 1). Ключевые участки включают характерный пойменный массив, заключенный в меандр, и прилегающие к нему участки надпойменной террасы. На пробных площадках выбранных станций была проведена инвентаризация флоры с выявлением доминантных видов. Площадь пробных площадей составила 10 х 10 м^2 для травяной растительности.

Образцы проб почв на пробных площадках станций отобраны в двух повторностях в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. С каждой пробной площадки отобрано не менее одной объединенной пробы почвы. Объединенная проба получена путем смешения пяти точечных проб, отобранных методом конверта с глубины от 0 до 30 см почвы на одной пробной площадке. Точечные пробы отобраны лопатой (ГОСТ 19596-74).

Также проведен отбор проб надземной части растений и корней десяти наиболее распространенных видов растений: *Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Vicia villosa Roth.*, *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L. У видов *Vicia villosa* Roth*., Lathyrus tuberosus* L*, Lathyrus spratensis* L. содержание металлов анализировали в надземной и подземной фитомассе.



– – – границы муниципальных районов; – · – · границы г. Тобольска; ● населенные пункты; ⟵ направление течения реки; ⬚ (1-7) – станции вблизи населенных пунктов: 1 – село Абалак, Тобольский район, 2 – деревня Бизино, Тобольский район, 3 – г. Тобольск, речной порт, 4 – деревня Медведчикова, Тобольский район, 5 – деревня Бронниково, Тобольский район, 6 – Научно-исследовательский стационар «Миссия» ТКНС УрО РАН, Уватский район, 7 – село Горнослинкино, Уватский район

Рис. 1. Карта-схема района исследований (масштаб 1:500000)

Количественный химический анализ образцов почв и растений выполнен в лаборатории экотоксикологии ТКНС УрО РАН с применением аттестованных методик и поверенных средств измерений. Анализ валового содержания металлов (As, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn, Fe) в образцах проб проведен на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 7000DV (PerkinElmer, США). Элементный состав определен в 47 пробах растений и в 14 объединенных пробах почв. Образцы почв и растений для атомно-эмиссионного анализа обработаны с использованием системы микроволнового разложения speedwave MWS-2 (BERGHOF Products + Instruments GmbH, Германия) в соответствии с режимом, предлагаемым в инструкции по эксплуатации прибора.

Гранулометрический состав образцов почв выполнен по методу Рутковского [6]. Содержание органического вещества определено по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Аллювиальные почвы нижнего течения р. Иртыш в основном представлены песчанистыми суглинками, песками и суглинками (табл. 1). Для аллювиальных почв характерно низкое содержание органического вещества Наибольшая концентрация его составляет (0.5…0.6) % в почвах с высоким содержанием илистых (от 33%) и глинистых (от 6,8%) гранулометрических фракций. Реакция образцов почв, характеризуемая величиной pH, меняется на исследуемом участке поймы р. Иртыш от нейтральной до слабощелочной (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав органического вещества ($C_{орг}$) и pH почв

Станция	Гранулометрическая фракция, %			Классификация почвы	$C_{орг}$, %	pH
	песчаная	глинистая	илистая			
1	60	6,8	33,2	Песчанистый суглинок	0,5	7,4
2	45	11,3	43,7	Суглинок	0,6	6,7
3	95	3,4	1,6	Песок	0,2	7,8
4	95	3,4	1,6	Песок	0,4	6,4
5	50	7,9	42,1	Песчанистый суглинок	0,5	8,0
6	60	6,8	33,2	Песчанистый суглинок	0,2	7,5
7	40	11,3	48,7	Суглинок	0,4	7,7

Почвы исследуемых участков поймы р. Иртыш проявляли типичные физико-химические и химические свойства, характерные для аллювиальных почв [1; 3].

В пределах станций содержание металлов в почве было относительно однородным, что подтверждается низкими значениями стандартного отклонения (табл. 2). Коэффициенты вариации также имели низкие значения, не более 1,5%.

Содержание металлов As, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn, Fe на исследуемом участке нижнего течения р. Иртыш не проявляло четкой зависимости от гранулометрического состава и величины pH почвы (табл. 2). Максимальное содержание большинства металлов характерно для почв станций 4, 5 и 7, имеющих разный механический состав и реакцию почвенного раствора (табл. 1). Накопление металлов в почвах этих участков, вероятно, связано с техногенными факторами.

Среднее валовое содержание выявленных металлов в аллювиальных почвах исследуемого участка р. Иртыш убывает в ряду Fe > Mn > Pb > Sr > Zn ≈ Cr > Ni > Cu > Co > As > Mo. Для донных отложений р. Иртыш характерно аналогичное распределение металлов

в ряду убывания [9]. Это объясняется тем, что донные отложения, аллювиальные породы и аллювиальные почвы формируются в однотипных биогеохимических условиях пойменного режима.

Таблица 2

Среднее валовое содержание металлов (мг/кг) в почвах поймы нижнего течения р. Иртыш

Металл	Станция							Кларк литосферы [2]
	1	2	3	4	5	6	7	
As	2,6±0	2,3±0	1,7±0	3,7±0,1	3,7±0,1	1,9±0	3,4±0	1,7
Co	3,7±0	4,3±0	2,4±0	5,3±0	5,4±0	1,8±0	5,3±0	12
Cr	14,2±0,1	14,8±0,2	7,3±0	23,6±0,2	24,9±0,1	11,0±0	30,3±0,2	70
Cu	5,1±0	5,9±0	3,5±0	8,4±0	8,4±0,1	3,0±0	8,9±0,1	30
Mn	211±1	261±1	116±0	280±1	282±1	122±0	250±1	690
Mo	0,34±0,01	0,30±0	0,19±0	0,33±0	0,32±0	0,19±0	0,42±0	1
Ni	7,3±0	8,0±0	5,2±0	11,3±0,1	11,2±0	5,1±0	11,1±0	44
Pb	35,3±0,2	37,4±0,3	17,7±0	56,0±0,3	58,0±0,2	19,9±0	64,1±0,2	15
Sr	22,5±1,5	19,4±0,1	11,2±0,1	35,4±0,2	36,9±0,2	16,9±0,1	64,7±0,3	290
Zn	16,4±0	17,3±0,1	8,7±0,1	24,8±0,2	23,6±0,1	10,0±0,1	21,9±0,1	60
Fe	8669±2	7810±52	4117±15	12190±35	12640±18	5377±4	12590 ±35	35400

Для соединений мышьяка характерно равномерное распределение в главных типах почв, его концентрации колеблются в пределах 0,5-2,5 мг/кг и лишь во фракции глинистых частиц достигают 13 мг/кг [4]. Валовые концентрации металлов Fe, Mn, Sr, Zn, Cr, Ni, Cu, Co, Mo не превышают значения их кларков на всех исследуемых стационарах. Минимальное содержание исследуемых металлов отмечено в почвах 3-го стационара. Валовое содержание кобальта на исследуемом участке поймы р. Иртыш колеблется от 1,8 до 5,4 мг/кг почвы. По данным других авторов, валовые концентрации кобальта в аллювиальных почвах находятся в интервале от 3 до 20 мг/кг [4].

Кларки концентрации таких элементов, как As и Pb, варьируют в пределах значений от 1,2 до 2,2 и от 1,2 до 4,3 соответственно, за исключением 3-го стационара. Превышение кларков As и Pb может быть связано с активной техногенной миграцией этих металлов на

водосборной территории и с аккумулятивным геохимическим характером поймы р. Иртыш. Как правило, аллювиальные почвы характеризуются высоким содержанием мышьяка [4].

Для остальных металлов в почвах поймы установлено содержание ниже кларка литосферы, что свидетельствует об активном выносе металлов из исследуемых ландшафтов.

Растительность является важным звеном миграции металлов в экосистеме. Ведущую роль в биогеохимических процессах ландшафта играют доминирующие виды растений. Результаты анализа металлов в растениях представлены на рисунке 2, приведенные данные являются усредненными по всем исследуемым участкам. Как показали полученные данные, исследуемые виды растений проявляли определенные видовые особенности в накоплении металлов и в их перераспределении между надземной и подземной частью растений.

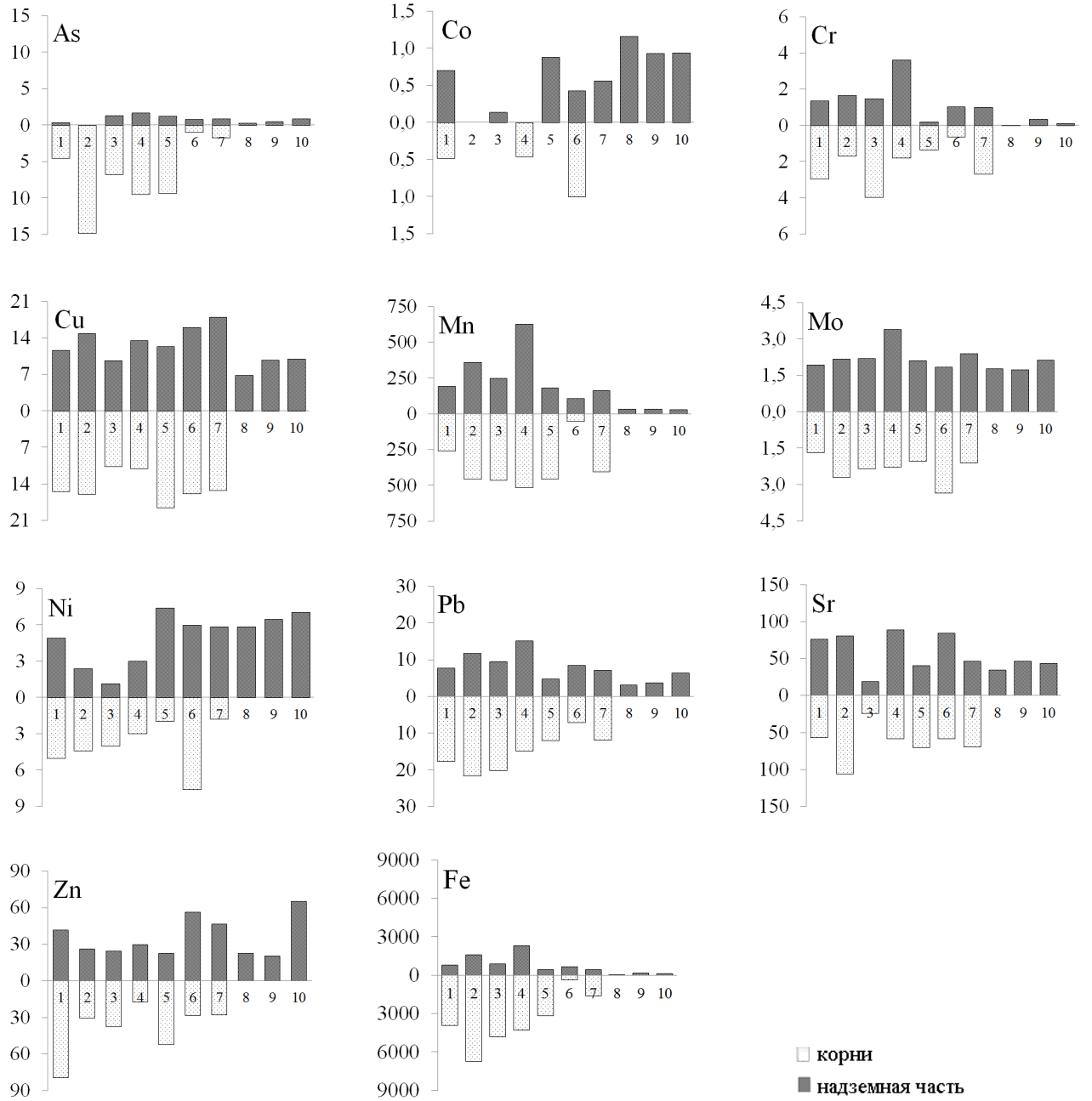


Рис. 2. Содержание металлов в сухой массе растений, мг/кг:

1 – *Plantago media*, 2 – *Ínula británnica*, 3 – *Carex vesicaria*, 4 – *Mentha arvensis*, 5 – *Equisetum arvense*, 6 – *Cirsium arvense*, 7 – *Artemisia absinthium*, 8 – *Vicia villosa*, 9 – *Lathyrus tuberosus*, 10 – *Lathyrus pratensis*.

Мышьяк накапливался преимущественно в корнях растений и в меньшей степени в надземных органах. Максимальное содержание мышьяка в корнях обнаружено у *Ínula británnica.* В надземной части наибольшая концентрация мышьяка установлена у *Mentha arvensis.* Свинец также накапливался в основном в корнях растений, за исключением единичых видов (рис. 2). Кадмий не накапливается исследованными видами растений, за исключением корней *Equisetum arvense* в концентрации 0,95 мг/кг. Аккумуляция токсичных металлов в тканях корня растений является одним из механизмов устойчивости, обеспечивающих защиту надземных вегетативных и генеративных органов растений [10].

Остальные металлы относятся к микроэлементам, их накопление и дифференциация по органам растений носили видоспецифичный характер (рис. 2). Высокой аккумуляцией большинства металлов отличались виды *Ínula británnica* и *Mentha arvensis.* Наибольшая концентрация Ni установлена в надземных органах *Equisetum arvense* и корнях *Cirsium arvense.* Повышенным накоплением Zn характеризовались корни *Plantago media* и надземная биомасса *Cirsium arvense* и *Lathyrus pratensis.*

Интенсивность избирательного поглощения и перераспределение металлов между надземной биомассой и корнями существенно влияют на процессы массообмена в экосистеме и обусловливают формирование химического состава почвы наряду с другими геохимическими и биогеохимическими процессами.

Выводы

Исследованные почвы поймы р. Иртыш обладают характерными для аллювиальных почв свойствами (гранулометрический состав, содержание органического вещества и кислотность). Почвы имеют легкий гранулометрический состав, низкое содержание органики и реакцию почвенного раствора от нейтральной до слабощелочной.

Токсичные элементы As и Pb проявляют активную геохимическую аккумуляцию в почвах исследуемых участков. Остальные металлы испытывают активный геохимический вынос из исследуемых ландшафтов.

Доминирующими видами растений в условиях затопления правобережной прирусловой поймы Нижнего Иртыша являются: *Plantago media, Ínula británnica, Carex vesicaria, Mentha arvensis, Equisetum arvense, Cirsium arvense, Artemisia absinthium, Trifolium pratense, Vicia villosa, Lathyrus tuberosus, Lathyrus pratensis.*

Накопление и перераспределение металлов в органах исследуемых растений проявляют видовую специфику, имеющую важное физиологическое значение для растений и играющую определенную роль в биогеохимических процессах.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы по теме: «Миграционные процессы радионуклидов и химических поллютантов в экосистеме водоемов Обь-Иртышского бассейна» (№ государственной регистрации 116020510088).

Список литературы

1. Ванюшина А.Я. Органо-минеральные взаимодействия в почвах (обзор литературы) / А.Я. Ванюшина, Л.С. Травникова // Почвоведение. – 2003. - № 4. – С. 418-428.

2. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. - № 7. – С. 555-571.

3. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Экотоксикология и проблемы нормирования / Нижегородская гос. с.-х. академия. – Н. Новгород : Изд-во ВВАГС, 2005. - 165 с.

4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. – М. : Мир, 1989. - 439 с.

5. Общее почвоведение / В.Г. Мамонтов [и др.]. – М. : КолосС, 2006. - 456 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

6. Определение гранулометрического состава грунтов (методические указания) / сост. В.В. Фурсов, М.В. Балюра. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007. - 21 с.

7. Петров И.Б. Обь-Иртышская пойма. Типизация и качественная оценка земель. – Новосибирск : Наука, 1979. - 136 с.

8. Прокопьев Е.П. Итоги изучения растительного покрова поймы реки Иртыш // Сибирский ботанический журнал. – 1999. - № 1 (Ч. 1). – С. 78-91.

9. Сравнительный анализ содержания металлов в донных отложениях некоторых рек Тюменской области / Е.С. Земцова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. - № 26. – С. 5798–5802.

10. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов [и др.]. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. - 172 с.

11. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири / В.Б. Ильин [и др.] // Почвоведение. – 2003. - № 5. – С. 550-556.