

ВАЛОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ В ДОМИНАНТНЫХ ВИДАХ РАСТЕНИЙ ПОЙМЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ ИРТЫША

Токарева А.Ю.¹, Алимова Г.С.¹, Земцова Е.С.¹

¹ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция» Уральского отделения Российской академии наук, Тобольск, e-mail: aytokareva@list.ru

На 5 биотопах, расположенных в правобережной прирусловой пойме нижнего течения реки Иртыш, произведен видовой анализ растительности. Выявлены доминантные повсеместно распространенные виды. Проведен химический анализ валового содержания металлов (железа, марганца, свинца, стронция, хрома, цинка, никеля, меди, кобальта, мышьяка, молибдена) в почве и в 11 видах дикорастущих растений (*Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L.). Приведены данные по содержанию металлов в образцах пойменных почв в сравнении с величиной кларка, рассчитаны коэффициенты биологического поглощения в биомассе и корнях растений. Определены металлы, имеющие наибольшую кумулятивную способность.

Ключевые слова: прирусловая пойма Нижнего Иртыша, аллювиальные почвы, растения, металлы, коэффициент биологического поглощения

TOTAL CONTENT OF METALS IN DOMINANT SPECIES OF PLANTS OF THE LOWER IRTYSH

Tokareva A.J.¹, Alimova G.S.¹, Zemtsova E.S.¹

¹Federal State Budget Institution of Science «Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», Tobolsk, e-mail: aytokareva@list.ru

On 5 habitats located on the right bank riverbed flood plain of the lower reaches of the Irtysh River produced the species of vegetation analysis . Revealed dominant ubiquitous species. Carry out the chemical analysis of the total content of metals (iron, manganese, lead, strontium, chromium, zinc, nickel, copper, cobalt, arsenic, molybdenum) in soil and 11 kinds of wild plants (*Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L). The data on the content of elements in samples of floodplain soils in comparison with the magnitude of Clark and biological absorption coefficients of biomass and roots of the plants examined patterns of metal accumulation in plants . Identified metals having the highest cumulative capacity.

Keywords: riverine floodplain of the Lower Irtysh, alluvial soils, plants, metals, biological absorption coefficient

Пойма р. Иртыш относится к категории очень крупных пойм меридионального простираения, тянется сплошной полосой от 0,5-1 до 15-20 км ширины, пересекая на протяжении более 3000 км всю степную область и южную половину лесной области Западной Сибири. На водосборной территории реки во всех сопутствующих государствах расположено множество городов с развитой инфраструктурой, таких как Кёктокай (Фуюнь), Бурчун (Китай), Серебрянск, Усть-Каменогорск, Семей, Курчатов, Аксу, Павлодар (Казахстан), Омск, Тара, Тобольск, Ханты-Мансийск (Россия), оказывающих влияние на экологию реки [8; 9].

Особое значение в экологических исследованиях занимают основные взаимосвязанные компоненты поймы – аллювиальные (пойменные) почвы и растительные сообщества. Аллювиальные почвы обладают наибольшей информативностью об

экологическом состоянии всего бассейна реки; так, отличительной их особенностью является периодическое затопление паводковыми водами (пойменный процесс). В результате чего происходит накопление речного аллювия на поверхности почвы и оседание твердых частиц из паводковых вод. Эти почвы растут не вниз, как другие, а вверх, получая каждый год все новые порции почвообразующей породы и органических веществ [7].

Почва – это весьма специфический компонент, поскольку она не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный барьер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество. Микроэлементы, поступающие из различных источников, попадают в конечном итоге на поверхность почвы, и их дальнейшая судьба зависит от её химических и физических свойств. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почвах гораздо больше, чем в других частях биосферы, и загрязнение почв, особенно тяжелыми металлами, по-видимому, практически вечно. Металлы, накапливающиеся в почвах, медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции [6].

Среди загрязнителей окружающей среды тяжелые металлы занимают особое место. Потребителем металлов из почвы являются растения. Несмотря на то что многие элементы не являются необходимыми для растений, они могут ими активно поглощаться, накапливаться и по пищевым цепям поступать в организм человека. Опасность металлов усугубляется еще и тем, что они обладают кумулятивным действием и сохраняют токсические свойства в течение длительного времени [10].

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве и в растениях является чрезвычайно сложным из-за невозможности полного учета всех факторов природной среды. Так, изменение только агрохимических свойств почвы может в несколько раз уменьшить или увеличить содержание тяжелых металлов в растениях. Имеются противоречивые данные даже о фоновом содержании некоторых металлов. Приводимые исследователями результаты различаются иногда в 5-10 раз [3]. Предложено множество шкал нормирования тяжелых металлов. В некоторых случаях за предельно допустимую концентрацию принято самое высокое содержание металлов, наблюдаемое в обычных антропогенных почвах, в других – содержание, являющееся предельным по фитотоксичности. В большинстве случаев для тяжелых металлов предложены ПДК, превосходящие верхнюю норму в несколько раз [1; 3; 6]. Одним из основных является сравнение полученных результатов с кларками в земной коре [1]. Целью исследований является определение валового содержания металлов (Fe, Mn, Pb, Sr, Cr, Zn, Ni, Cu, Co, As, Mo) в доминантных видах растений на биотопах правобережной прирусловой поймы Нижнего Иртыша. Работа выполнена в 2015 году при поддержке

программы УрО РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», проект № 15-12-4-20.

Материалы и методы исследования

В рамках данного исследования были выделено 5 биотопов, расположенных на правом берегу нижнего течения реки Иртыш. Была произведена инвентаризация флоры исследованных биотопов с выявлением доминантных видов. В июле 2015 г. после спада воды с затопляемой территории был проведен отбор образцов растений и почвы для количественного химического анализа. Расстояние между крайними точками составляет 161 км (рис. 1).

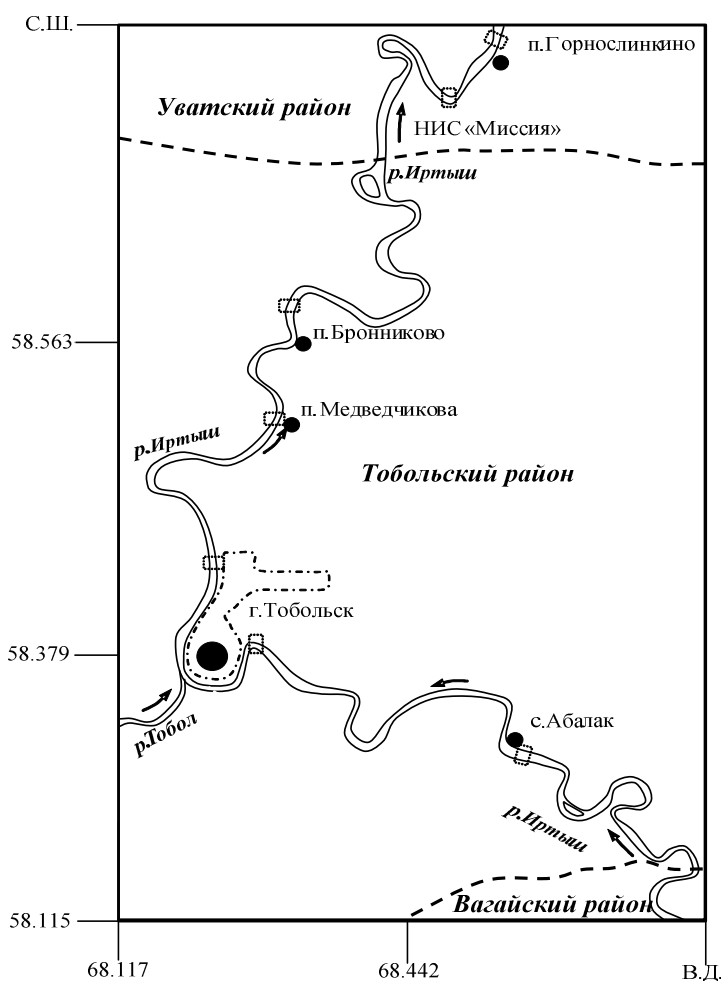


Рис. 1. Схема-карта района исследований (масштаб 1:500000)

- границы муниципальных районов; - · - · границы г. Тобольск;
← направление течения реки; ● населенные пункты.

Биотоп № 1 – село Абалак, Тобольский район; биотоп № 2 – деревня Бизино, деревня Татарские Медянки, Тобольский район; биотоп № 3 – Научно-исследовательский стационар «Миссия» ТКНС УрО РАН, Уватский район; биотоп № 4 – поселок Медведчиково, Тобольский район; биотоп № 5 – поселок Бронниково, Тобольский район

На каждом исследуемом биотопе были собраны объединенные пробы почвы по ГОСТ 17.4.4.02-84, а также фитомассы надземной части растений и корней одиннадцати наиболее распространенных видов растений — это *Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus pratensis* L.

У видов *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus spratensis* L. была проанализирована только надземная фитомасса. Анализ образцов выполнен в лаборатории экотоксикологии ТКНС УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516420 от 04.03.2011) с применением аттестованных методик и с использованием сертифицированных в РФ, поверенных средств измерения. Оценка валового содержания металлов (Fe, Mn, Pb, Sr, Cr, Zn, Ni, Cu, Co, As, Mo) проведена на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Optima 7000DV (PerkinElmer, USA). В ходе данного исследования было обработано 47 объединенных проб растений (фитомасса надземной части и корней) и 15 объединенных проб почвы по 11 химическим элементам. Растительный материал озоляли в муфельной печи при температуре 600 °С. Зола растений обрабатывали с использованием системы микроволнового разложения speedwave MWS-2 (BERGHOF Products + Instruments GmbH, Германия).

Результаты и их обсуждение

Авторами работы ранее был изучен гранулометрический состав. Установлено, что большую часть береговых грунтов составляют песчанистые суглинки (32%), пески (27%), суглинистые пески (21%), реже отмечались суглинки иловатые (14%) и суглинки (6%) [5].

Установлено, что микроэлементный состав почвы на всей исследуемой территории варьирует в больших пределах (табл. 1), что в свою очередь обусловлено неоднородностью гранулометрического состава [4] и иными элементами природной среды, а также антропогенной деятельностью. Среднее значение некоторых элементов, таких как мышьяк, кадмий, свинец, превышает значение кларка в земной коре.

Инвентаризация флоры исследованных биотопов зафиксировала 87 видов растений, принадлежащих к 26 семействам. Во всех биотопах встречаются древесные формы растительности, за исключением биотопа № 3 – он представляет собой травянистый луг. В биотопах № 1, 2, 5 отмечен подрост покрытосеменных, двудольных растений из семейств: *Betulaceae* – *Betula pendula* L.; *Salicaceae* – *Populus tremula* L. и *Salix alba* L.

Таблица 1

Среднее значение металлов (мг/кг) в почве и кларки в земной коре

Металлы в почве	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	Zn
Среднее	2,7	0,2	4,0	18,4	6,3	9242	200	0,27	9,1	41,4	26,9	19,1

значение												
Максимальное и минимальное значения	0,4-7,2	0-0,9	0,7-11,0	2,6-49,3	0,5-20,8	1847-32860	52-1159	0-0,42	1-23,9	7,3-137,7	3,6-64,7	2,9-58,5
Кларки по Виноградову А.П. [1]	1,7	0,13	18	83	47	46500	18700	1,1	58	16	340	83

В биотопе № 4 древесные формы представлены *Populus tremula* L., *Salix alba* L. из семейства *Salicaceae*, а также *Pinus sylvestris* L. – семейство *Pinaceae* образуют смешанный лес, который по протяженности берега реки прерывается и сменяется разнотравьем.

Для первого биотопа характерны растения семейств: *Asteraceae* – *Ínula británnica* L.; *Plantaginaceae* – *Plantago media* L.; *Cyperaceae* – *Carex vesicaria* L.; *Lamiaceae* – *Méntha arvensis* L.; *Equisetaceae* – *Equisétum arvéense* L. То есть каждое семейство представлено одним видом, что свидетельствует об определенной флористической бедности в условиях длительного затопления при разливе реки.

В биотопе № 2 произрастают растения семейств: *Fabaceae* – *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus pratensis* L., *Trifolium pretense* L.; *Asteraceae* – *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L.; *Plantaginaceae* – *Plantago media* L.; *Lamiaceae* – *Méntha arvensis* L.; *Onagraceae* – *Epilobium angustifolium* L.; *Equisetaceae* – *Equisétum arvéense* L.

В биотопе № 3 определены доминантные виды следующих семейств: *Fabaceae* – *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus pratensis* L., *Trifolium repens* L., *Trifolium pretense* L., *Trifolium hybridum* L. /*Amoria hybrid* L.; *Asteraceae* – *Tussilago farfara* L., *Arctium lappa* L., *Achillea millefolium* L., *Matricaria perforate* Merat. /*M. inodora* L.; *Plantaginaceae* – *Plantago media* L., *Plantago májor* L.; *Equisetaceae* – *Equisétum arvéense* L.; *Rosaceae* – *Geum urbanum* L.; *Caryophyllaceae* – *Melandrium album* L.; *Labiatae* или *Lamiaceae* – *Prunella grandiflora* (L.) Scholl. Таким образом, для данной территории (как и для биотопа № 2) доминирующим является семейство *Fabaceae*, включающее в себя 5 видов.

Биотоп № 4 расположен вблизи д. Медведчиково. Территория биотопа характеризуется как березняк-осинник злаково-разнотравный. Проективное покрытие травостоя составляет 20-25%. Верхний ярус представлен породами-лесообразователями – это *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., сопутствующие породы - это *Salix lanata* L., *Salix caprea* L. *Prunus padus* Mill и *Rubus idaeus* L. образуют подлесок. Состав травянистой растительности обусловлен сомкнутостью крон и высокой влажностью почвы, затопляемой в половодье. В данном биотопе травянистый ярус образует *Carex macroura* Meinsh –

Семейство *Cyperaceae*, единично представлены *Lactuca sibirica* L., *Artemisia vulgaris* L. – Семейство *Asteraceae*.

Биотоп № 5 расположен вблизи д. Бронниково. Разреженный лес ивово-тополевый с проектным покрытием травостоя 30-40%. В нем отмечены 5 семейств с единственными видами-представителями. В семействе *Asteraceae* – это *Ínula británnica* L.; *Plantaginaceae* – *Plantago media* L.; *Equisetaceae* – *Equisetum arvense* L.; *Cyperaceae* – *Carex vesicaria* L.; *Lamiaceae* – *Mentha arvensis* L.

Выявлено, что основными травянистыми растениями, наиболее часто встречаемыми в условиях затопления исследованной территории являются: *Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus tuberosus* L., *Lathyrus spratensis* L. Именно эти виды были использованы в качестве объектов исследования.

Для растений одним из основных показателей накопления элементов является коэффициент биологического поглощения (КБП). Он представляет собой отношение концентрации элемента в золе растений к его концентрации в верхнем горизонте почв [7].

Рассчитанные коэффициенты биологического поглощения доминантных видов растений правобережной прирусловой поймы Нижнего Иртыша (рис. 2).

Мышьяк в растениях распределялся неравномерно, его содержание в корневой системе у большинства исследованных видов в десятки раз превышало содержание в надземной фитомассе. Наибольшее значение A_s отмечено в корневой системе *Ínula británnica* L., при этом в надземной части мышьяка не обнаружено. КБП данного элемента варьировал от 0 до 5,40 (рис. 2). Мышьяк легко поглощается растениями из загрязненных почв и накапливается в вегетативной массе. Мышьяк является токсичным для растений элементом, однако его биохимическое воздействие на растительность изучено слабо [2].

Кадмий аккумулировался только в корневой системе *Equisetum arvense* L., при этом его содержание в почве в полтора раза превышало значение кларка, а максимальное значение было выше в 7 раз. Подвижность кадмия в почве и его доступность для растений зависит от уровня кислотности почвы. Активность кадмия возрастает по мере увеличения кислотности почвы и является максимальной при pH 4,5. Кадмий способен тормозить процессы фотосинтеза у растений [2].

Выявлено, что КБП кобальта во всех перечисленных видах растений меньше единицы или равен нулю, следовательно, кумулятивная способность кобальта не велика. Кобальт наряду с никелем, хромом, свинцом и мышьяком относится к элементам слабо подвижным в кислой среде, характерной для почв таежной зоны [2]. С равной интенсивностью кобальт

накапливали в надземной фитомассе представители семейства *Fabaceae* – *Vicia villosa* Roth., *Lathyrustu berosus* L., *Lathyrus pratensis* L. (рис. 2).

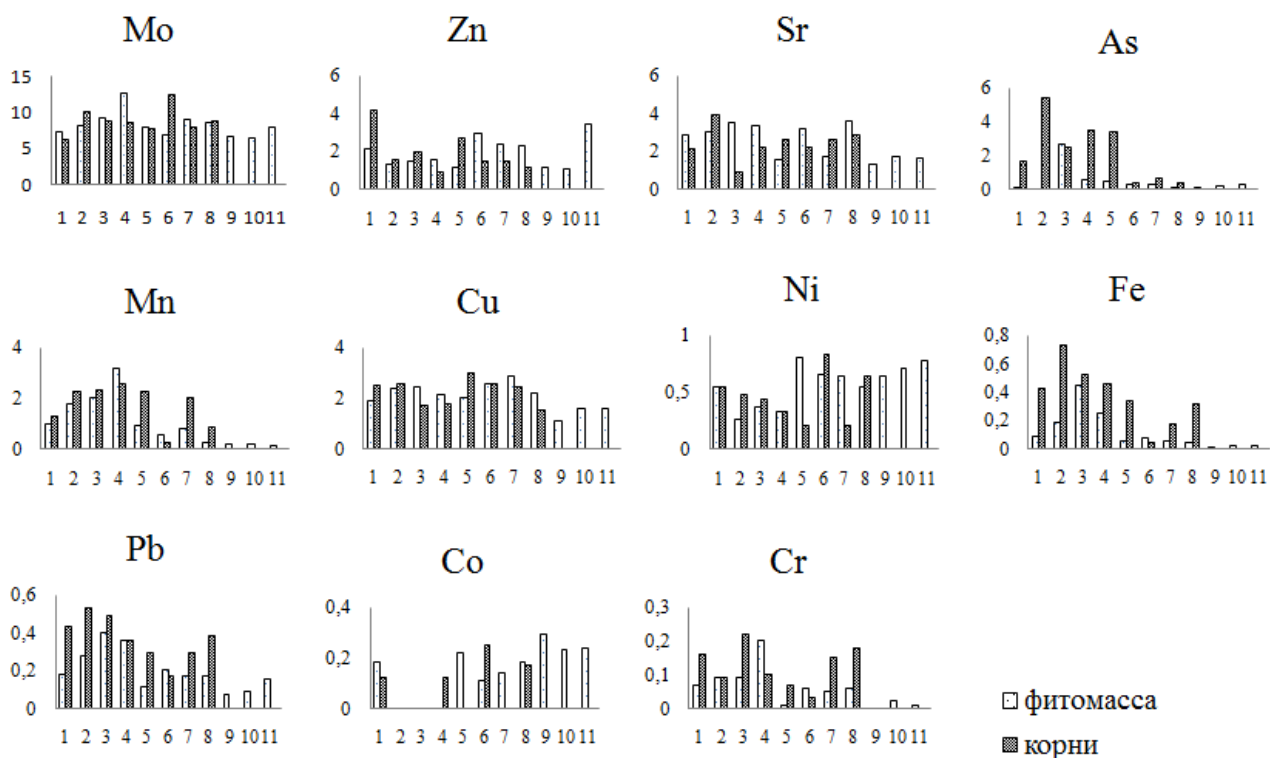


Рис. 2. Коэффициент биологического поглощения растениями химических элементов:

1 – *Plantago media* L., 2 – *Ínula británnica* L., 3 – *Carex vesicaria* L., 4 – *Mentha arvensis* L., 5 – *Equisetum arvense* L., 6 – *Cirsium arvense* L., 7 – *Artemisia absinthium* L., 8 – *Trifolium pratense* L., 9 – *Vicia villosa* Roth., 10 – *Lathyrus tuberosus* L, 11 – *Lathyrus spratensis* L.

Наибольший КПБ в растениях имеют медь, молибден, стронций, цинк, их содержание в надземной фитомассе и корнях во много раз превышает показатели таковых в почве. Хром, железо и свинец, напротив, обладают меньшей кумулятивной способностью, их показатели в растениях не превышают таковых в почвах, следовательно, КПБ менее единицы, что обусловлено кислой средой в почвах. КПБ марганца лежит в пределах от 0,16 до 3,15 и зависит от вида растений.

Заключение

1. Наиболее часто встречаемыми видами в условиях затопления правобережной прирусловой поймы Нижнего Иртыша являются: *Plantago media* L., *Ínula británnica* L., *Carex vesicaria* L., *Mentha arvensis* L., *Equisetum arvense* L., *Cirsium arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia villosa* Roth., *Lathyrus tuberosus* L, *Lathyrus spratensis* L.

2. Наибольшей кумулятивной способностью обладают медь, молибден, стронций и цинк, КПБ которых более единицы в исследованных видах растений.

3. Металлы – кобальт, хром, железо, никель, свинец - имеют наименьший КБП, ниже единицы, так как отношение концентрации элементов в растении не превышает его концентрации в почве.

4. Кадмий не накапливается исследованными видами растений, за исключением корней *Equisetum arvense* L. в концентрации 0,95 мг/кг.

5. Практически во всех доминантных видах растений наблюдается накопление металлов в корневой системе выше, чем в надземной фитомассе.

6. Почвы по валовому содержанию кобальта, хрома, железа, меди, никеля марганца, молибдена, стронция и цинка не превышают значений кларка.

Список литературы

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-571.
2. Ворончихина Е.А., Ларионова Е.А. Основы ландшафтной экологии. – Пермь, 2002. – 146 с.
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. Земцова Е.С., Алимова Г.С., Дударева И.А., Токарева А.Ю., Попова Е.И. Содержание металлов в донных отложениях реки Иртыш // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10 (77). – С. 54-56.
5. Земцова Е.С., Алимова Г.С., Дударева И.А., Токарева А.Ю. Сравнительный анализ содержания металлов в донных отложениях некоторых рек Тюменской области // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (часть 26). – С. 5798-5802.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
7. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учеб. пособие для хим., хим.-технолог. и биолог. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 2002. – 334 с.
8. Петров И.Б. Обь-Иртышская пойма. Типизация и качественная оценка земель. – Новосибирск : Наука, 1979. – 136 с.
9. Прокопьев Е.П. Итоги изучения растительного покрова поймы реки Иртыша // Сибирский ботанический журнал. – 1999. – № 1 (часть 1). – С. 78-91.

10. Титов А.Ф., Таланов В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.