

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

МОНИТОРИНГ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ (ОБЗОР)

А.Е. Побилат^{1*}, Е.И. Волошин²¹ Клиника современной трихологии,
660123, г. Красноярск, проспект Газеты Красноярский Рабочий, 172² Красноярский государственный аграрный университет,
660049, г. Красноярск, пр. Мира 90

РЕЗЮМЕ. В результате анализа литературных источников установлены закономерности пространственного и профильного распределения микроэлементов в естественных и техногенно загрязненных почвах. Рассмотрены особенности содержания мышьяка, кадмия, ртути, свинца, цинка, кобальта, никеля, меди, хрома, марганца в естественных и загрязненных почвах. Показано, что концентрация и распределение микроэлементов в почвах зависит от их свойств, условий почвообразования, климата, растительности и хозяйственной деятельности человека. В связи с усилением техногенной нагрузки на экосистему возникает необходимость в проведении регулярного мониторинга за содержанием микроэлементов (тяжелых металлов) в почвах и осуществление мероприятий по улучшению экологического состояния земель.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: почва, микроэлементы, экосистема, загрязнение, мониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Микроэлементы являются составной частью биосферы. Они участвуют во многих физиологических и биохимических процессах в организме растений, животных и человека. Эти элементы входят в состав ферментов, витаминов, ростовых веществ и обеспечивают нормальное протекание реакций синтеза, распада и обмена органических соединений.

В группу микроэлементов входят и тяжелые металлы. К ним относятся химические элементы с атомной массой больше 40 (Алексеев, 2008). При низкой и нормальной концентрации в природной среде их определяют как микроэлементы и при избыточной – как тяжелые металлы. Термины (микроэлементы и тяжелые металлы) категории не сколько качественные, сколько количественные, привязанные к крайним вариантам экологической обстановки (Ильин, Сысо, 2001).

В соответствии с ГОСТ 17.4.1.02–83 по степени опасности химические элементы подразделяются на три класса: п е р в ы й – вещества высокоопасные, к ним относятся мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, титан; в т о р о й – вещества умеренно опасные, это кобальт, никель, молибден, медь, хром, бор, сурьма; т р е т ь и й – вещества малоопасные,

включают в себя барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций.

Среди тяжелых металлов приоритетными загрязнителями экосистемы являются ртуть, свинец, мышьяк, кадмий, цинк, медь, хром, никель, марганец, кобальт и др. (Ильин, 2012). Накопление этих металлов в окружающей среде происходит высокими темпами, и они являются наиболее частыми компонентами элементохимических ассоциаций. Основными загрязнителями окружающей природной среды тяжелыми металлами считаются промышленные предприятия, теплоэнергетики, добыча полезных ископаемых, автотранспорт, ненормированное применение в сельском хозяйстве удобрений, химических мелиорантов и пестицидов (Алексеев, 2008; Ильин, 2012; Скипин и др., 2014; Карпова, Минеев, 2015; Государственный доклад о состоянии окружающей среды..., 2016). Загрязненная атмосфера – главный источник поступления токсикантов в почву. При загрязнении почв тяжелыми металлами происходит снижение их экологической, экономической и эстетической ценности. Накапливаясь в больших количествах в почвах, тяжелые металлы снижают общую численность микроорганизмов, их видовое разнообразие, интенсивность микробиологических процессов и

* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна

E-mail: pobilat-anna@mail.ru

активность ферментов. Под их влиянием ухудшаются агрохимические, агрофизические и биологические свойства почв (Cabata- Pendas, 2010).

В незагрязненных почвах содержание различных микроэлементов определяется направленностью и интенсивностью почвообразовательного процесса. Концентрация микроэлементов в почвах зависит от климатических условий, потенциального и эффективного плодородия почв, биологического круговорота элементов, процессов миграции в почвенном профиле и неоднородности видового состава растительности (Бурлакова и др., 2001; Ильин, Сысо, 2001, 2007; Убугунов, Кашин, 2004; Пузанов, 2005; Иванов, 2007; Алексеев, 2008; Водяницкий, 2009; Ильин, 2012; Карпова, Минеев, 2015; Toth et al., 2016). Под воздействием почвенно-климатических факторов и рельефа в ландшафтах могут формироваться зоны с пониженным и повышенным содержанием микроэлементов и тяжелых металлов. Формирование биогеохимических провинций обусловлено особенностями почвообразующих пород, почвообразовательного процесса и рудных аномалий (Водяницкий, 2013).

В региональных условиях биогеохимические особенности поведения микроэлементов в почвах могут существенно изменяться в зависимости от условий почвообразования, водного режима территории, вида растительности и хозяйственной деятельности человека. В связи с усилением техногенной нагрузки на экосистему возникает необходимость в проведении постоянного мониторинга за содержанием и накоплением микроэлементов в почвах, разработке и внедрении мероприятий по улучшению экологического состояния загрязненных почв.

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ

Мышьяк является металлоидом с переменной кислотностью. Этот элемент входит в группу загрязняющих веществ и в повышенных концентрациях оказывает токсическое действие на живые организмы. Мышьяк в окружающей среде образует различные органические и неорганические соединения. В настоящее время идентифицировано более 300 арсенатов и минералов, закрепляющих мышьяк.

Природное загрязнение представлено литогенным мышьяком в зонах сильных положительных аномалий и гидrogenным – благодаря ороше-

нию природными водами, обогащенными мышьяком (Водяницкий, 2013). Техногенное загрязнение почв мышьяком происходит в результате добычи и переработки полиметаллических руд, при сжигании угля и нефти, использовании в сельском хозяйстве содержащих мышьяк пестицидов.

Фоновое содержание валового мышьяка в почвах по Виноградову составляет 5 мг/кг. В незагрязненных почвах содержание мышьяка не превышает 10 мг/кг. В почвах геохимических провинций содержание мышьяка колеблется от 15 до 25 мг/кг и выше (Ильин, Конарбаева, 1995; Пузанов, Бабошкина, 2009). Содержание мышьяка в почвах определяется исходной концентрацией в почвообразующей породе, условиями почвообразования, а степень подвижности и внутрипрофильное распределение – интенсивностью вовлечения в биологический круговорот (Toth et al., 2016). При облегчении гранулометрического состава почв концентрация в них мышьяка уменьшается (Сергеев и др., 2017а; Лукин, Селюкова, 2018). Предельно допустимая концентрация валового мышьяка в почвах составляет 2 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06). Ориентировочно допустимая концентрация в зависимости от гранулометрического состава и кислотности почв колеблется от 2 до 10 мг/кг (ГН 2.1.7.2042 – 06).

Содержание подвижного мышьяка в почвах определяется их плодородием, интенсивностью применения средств химизации в сельском хозяйстве и техногенными выбросами предприятий. В пахотных почвах России среднее содержание подвижного мышьяка составляет 3,66 мг/кг при колебаниях от 0,01 до 17,7 мг/кг (Аристархов и др., 2016). В отдельных регионах страны отмечается локальное загрязнение почв этим элементом.

Кадмий среди тяжелых металлов является одним из самых токсичных загрязнителей окружающей природной среды. Источники техногенного загрязнения почв кадмием – предприятия цветной и черной металлургии, стройиндустрии, выбросы тепловых электростанций, автотранспорт, нерациональное использование в сельском хозяйстве агрохимикатов (Северьянова, 2015; Елизарьева и др., 2017; Конарбаева, Якименко, 2017; Королев, Боев, 2017; Михайлова и др., 2017; Сюняев и др., 2017; Рязанов и др., 2017; Тацкий и др., 2017; Горлушкина, 2018).

Среднее содержание кадмия в почвах мира колеблется от 0,07 до 1,1 мг/кг (Cabata-Pendas, 2010), в почвах России – от 0,01 до 1,0 мг/кг

(Ягодин и др., 1996), в Новосибирской области – от 0,15 до 0,21 мг/кг (Ильин, Сысо, 2001). Фоновое содержание кадмия в почвах по Виноградову равно 0,5 мг/кг. На содержание и распределение кадмия в почвах оказывают влияние многие факторы почвообразования, среди которых химический состав материнских пород играет основную роль. В региональных условиях на содержание кадмия оказывает влияние тип почв, их агрофизическая и агрохимическая характеристики (Лукин, 2012; Ефремов и др., 2015; Красницкий, Шмидт, 2016). При облегчении гранулометрического состава почв содержание в них кадмия уменьшается (Сергеев и др., 2017а). Ориентировочно допустимая концентрация валового кадмия в почвах в зависимости от их гранулометрического состава и реакции среды колеблется от 0,5 до 2,0 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06).

Кадмий является химическим аналогом цинка. В результате биогенной аккумуляции и поступления из глобального атмосферного пула этот элемент накапливается в гумусовом горизонте. В почвах кадмий характеризуется высокой подвижностью и кумулятивным эффектом. Содержание подвижного кадмия изменяется в агроценозах в зависимости от уровня плодородия почв и погодных условий. В почвах России среднее содержание подвижного кадмия составляет 0,08 мг/кг при колебаниях от 0,01 до 0,80 мг/кг (Аристархов и др., 2016).

Ртуть в экосистеме обладает способностью восстанавливаться до металла из различных ее соединений. Это обуславливает летучесть и высокую токсичность элемента для всех живых организмов.

Основными источниками поступления ртути в биосферу являются газопылевые выбросы предприятий цветной и черной металлургии, машиностроения, строительных материалов, сжигание органического топлива, использование в качестве удобрений осадков сточных вод (Бушуев, Шуравин, 2014; Ozkul, 2016; Бутаков и др., 2017; Васбиева, Косолапова, 2018). Соединения ртути, попадая на земную поверхность, подвергаются различным изменениям, характер которых определяется физическими, химическими и биологическими свойствами почв (Cabata-Pendias, 2010).

Фоновое содержание ртути по Виноградову ориентировочно равно 0,01 мг/кг при колебаниях от 0,001 до 1,0 мг/кг. Содержание ртути в почвах характеризуется большим разнообразием. На кон-

центрацию ртути значительное влияние оказывают неоднородность и пестрота почвенного покрова. Содержание ртути в пределах одного почвенного типа обладает высокой природной вариабельностью, обусловленной геохимическими и географическими условиями формирования почв. Пространственное и профильное распределение ртути в почвах определяется биогенной аккумуляцией металла в верхних горизонтах и разными условиями почвообразования (Иванов, Кашин, 2010; Безносиков и др., 2013; Лукин, Селюкова, 2018). В региональных условиях на содержание ртути в почвах большое влияние оказывает их гранулометрический состав. В почвах легкого гранулометрического состава, в сравнении с тяжелыми, содержание ртути низкое (Байдина, 2001; Сергеев и др., 2017а). Среднее содержание ртути в разных типах почв Новосибирской области колеблется от 0,057 до 0,085 мг/кг (Ильин, Сысо, 2001) и Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – от 0,017 до 0,025 мг/кг. Предельно допустимая концентрация валовой ртути в почвах равна 2,1 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

Содержание подвижной ртути в почвах изменяется в зависимости от типа, подтипа почв, их агрофизической и агрохимической характеристики. Среднее содержание подвижной ртути в почвах агроценозов России составляет 0,02 мг/кг при колебаниях от 0,00 до 0,16 мг/кг (Аристархов и др., 2016). В отдельных регионах страны вблизи предприятий цветной металлургии отмечается локальное загрязнение почв ртутью.

Свинец относится к числу опасных загрязнителей окружающей природной среды. Высокие концентрации этого элемента в экосистеме неблагоприятно сказываются на функционировании живых организмов.

Основными источниками поступления свинца в почву являются автотранспорт, тепловые электростанции, предприятия цветной и черной металлургии, машиностроения и металлообработки, использование в сельском хозяйстве осадков сточных вод (Водяницкий и др., 2011; Kashulina et al., 2014; Просяников, 2015; Кашулина, 2017; Тацкий и др., 2017; Васбиева, Косолапова, 2018).

Кларк свинца в земной коре равен 16 мг/кг (Виноградов, 1957) и в почвах мира – 10 мг/кг. Уровень содержания свинца в разных почвах изменяется в зависимости от условий их почвообразования, близости промышленных предприятий и естественных геохимических аномалий.

Содержание свинца в зональных почвах определяется его концентрацией в почвообразующих породах. В региональных условиях на содержание свинца в почвах оказывает большое влияние рельеф местности, климат, растительность и хозяйственная деятельность человека. Различные почвы характеризуются неодинаковым содержанием свинца. Пространственное и профильное распределение свинца в почвенном покрове определяется их гранулометрическим составом, свойствами почв и концентрацией в почвообразующих породах (Чимитдоржиева и др., 2012; Красницкий и др., 2015, 2018; Лукин, 2015; Самонова и др., 2015; Дубовик Д., Дубовик Е., 2016). Среднее валовое содержание свинца в почвах Новосибирской области колеблется от 2,0 до 47,0 мг/кг (Сысо, 2007), в Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – в пределах от 2,9 до 10,2 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). Предельно допустимая концентрация валового свинца в почве равна 32 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06). Ориентировочно-допустимая концентрация в зависимости от гранулометрического состава и реакции среды колеблется от 32 до 130 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06).

Содержание подвижного свинца в почвах зависит от их агрофизических и агрохимических свойств, растительности, процессов миграции металла в почвенном покрове. Среднее содержание подвижного свинца в пахотных почвах России составляет 0,87 мг/кг при колебаниях от 0,02 до 6,15 мг/кг (Аристархов и др., 2016). Предельно допустимая концентрация подвижного свинца в почвах равняется 6,0 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

Цинк – необходимый элемент для живых организмов; при повышенной концентрации в природной среде является опасным токсикантом. Причинами повышенного количества цинка в почвах могут быть как естественные геохимические аномалии, так и техногенное загрязнение. Основными антропогенными источниками его поступления в почву являются предприятия цветной металлургии, тепловые электростанции, автотранспорт, использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений осадков сточных вод (Степанова и др., 2016; Васбиева, Косолапова, 2018; Кашулина, 2018).

Кларк цинка в земной коре равен 50 мг/кг (Виноградов, 1957). Среднее содержание цинка в верхних горизонтах почв разных стран колеблется в пределах от 17 до 125 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). Колебания цинка в почвах обусловлены различиями в плодородии почв, гранулометриче-

ском и минералогическом составе почвообразующих пород (Сычев и др., 2015). В региональных условиях на содержание и распределение цинка в почвах оказывают большое влияние неодинаковые условия их почвообразования, различия в агрофизических и агрохимических свойствах и уровне применения удобрений (Красницкий и др., 2014; Лукин, Хижняк, 2015; Панасин, Рымаренко, 2015; Красницкий, Азаренко, 2017; Горбунова, Куликова, 2018; Подколзин и др., 2018). Общей закономерностью для всех типов почв является повышенное содержание цинка в верхнем горизонте в сравнении с почвообразующими породами. Его недостаток проявляется на легких и малогумусных почвах, при высоком содержании карбонатов и щелочной реакции почвенного раствора. Среднее содержание цинка в почвах Центрального Черноземья равно 66 мг/кг (Протасова, Щербаков, 2003), Западной Сибири – 73 мг/кг (Сысо, 2007) и в агроценозах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края – 43 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). Ориентировочно допустимая концентрация цинка в почвах в зависимости от их гранулометрического состава и реакции среды колеблется от 55 до 220 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06).

Содержание подвижного цинка зависит от плодородия пахотных почв и системы применения минеральных и органических удобрений. Среднее содержание подвижного цинка в почвах России составляет 1,03 мг/кг при колебаниях от 0,03 до 9,4 мг/кг (Аристархов и др., 2016). В большинстве регионов страны пахотные почвы характеризуются пониженным содержанием подвижного цинка, его концентрация не превышает предельно допустимую концентрацию (23 мг/кг) (ГН 2.1.7.2041-06).

Кобальт – физиологически важный химический элемент. Среди тяжелых металлов он является опасным загрязнителем окружающей природной среды. Техногенное загрязнение почв кобальтом происходит под влиянием предприятий черной и цветной металлургии и приборостроения (Cabata-Pendias, 2010; Кашулина, 2018). Локальное загрязнение почв кобальтом может также происходить вокруг отвалов горнодобывающих предприятий.

Кларк кобальта в литосфере составляет 18 мг/кг и почвах – 8 мг/кг (Виноградов, 1957). В незагрязненных почвах содержание кобальта в верхнем горизонте колеблется от 1 до 40 мг/кг. Наибольшее количество этого элемента обнаруживается в почвах, сформированных на основных

породах и глинистых отложениях. Среднее валовое содержание кобальта в почвах Центрального Черноземья равно 12 мг/кг (Протасова, Щербаков, 2003), в Западной Сибири – 13 мг/кг (Сысо, 2007), в Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – 7,7 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). На распределение кобальта по почвенному профилю большое влияние оказывают биоклиматические условия и направленность почвообразовательных процессов. Кобальт относится к подвижным мигрантам. Его миграция определяется окислительно-восстановительным потенциалом, способностью металла образовывать в растворе устойчивые комплексы с органическими соединениями и биогеохимической функцией этого элемента. Ведущая роль в миграции кобальта принадлежит биологическому фактору. Предельно допустимая концентрация валового кобальта в почвах равна 50 мг/кг (Предельно допустимые концентрации..., 2001), подвижного кобальта – 5 мг/кг (ГН 2.1.72041-06).

Почвы характеризуются неодинаковым содержанием кобальта. На пространственное и профильное распределение кобальта в почвах оказывают влияние неодинаковые условия их почвообразования, рельеф и экспозиция склонов, различия в агрофизических и агрохимических свойствах, вид сельскохозяйственных угодий (Пузанов, 2005; Самонова и др., 2015; Дубовик Д., Дубовик Е., 2016; Лукин, Хижняк, 2016; Красницкий, Азаренко, 2017; Панасин и др., 2017; Чимитдоржиева и др., 2018).

Основная часть подвижного кобальта приурочена к гумусовому горизонту почв. Этот элемент имеет переменную валентность, его состояние в почве находится в зависимости от окислительно-восстановительного режима, который определяется уровнем их увлажнения. Содержания подвижного кобальта в почвах подвержено большим колебаниям. Эти изменения связаны с генетическими условиями формирования почв, их плодородием и применением удобрений. Среднее содержание подвижного кобальта в пахотных почвах России колеблется от 0,09 до 0,27 мг/кг (Аристархов и др., 2016).

Никель является одним из приоритетных загрязнителей окружающей среды.

Загрязнение почвенного покрова никелем происходит в результате выбросов предприятий цветной и черной металлургии, приборо- и машиностроения, ненормированного применения в качестве удобрений осадков сточных вод (Бушуев, Шурavin, 2014; Онучин и др., 2014;

George et al., 2015; Замотаев и др., 2017; Кашулина, 2017, 2018).

Кларк никеля в литосфере равняется 58 мг/кг и в почвах мира – 40 мг/кг (Виноградов, 1957). Содержание никеля в почвенном покрове определяется многими факторами природной среды, среди которых важнейшим является минералогический состав почвообразующих пород. Различия в содержании никеля в верхних горизонтах почв связаны с биоклиматическими условиями их почвообразования. Максимальное количество никеля обнаруживается в верхнем горизонте почв. Накопление никеля в гумусовом горизонте свидетельствует о его биогенной аккумуляции. Среднее содержание валового никеля в почвах Центрального Черноземья равно 38 мг/кг (Протасова, Щербаков, 2003), Западной Сибири – 42 мг/кг (Сысо, 2007), Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – 26,3 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). Ориентировочно допустимая концентрация валового никеля в почвах в зависимости от их гранулометрического состава реакции среды колеблется от 20 до 80 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06). Предельно допустимая концентрация подвижного никеля в почвах равна 4 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

В региональных условиях на пространственное и профильное содержание никеля в почвах оказывают влияние неодинаковые условия их почвообразования, деградационные процессы, различия в агрофизических и агрохимических свойствах (Бугаев, 2015; Дубовик Д., Дубовик Е., 2015; Самонова и др., 2015; Белек и др., 2016; Лукин, Хижняк, 2016; Красницкий и др., 2018).

На содержание подвижного никеля в почвах оказывает влияние реакция почвенного раствора, гумусированность, гранулометрический состав, растительность и процессы миграции металла в почвенном покрове. На высокогумусированных почвах аккумуляция никеля происходит более интенсивно. При облегчении гранулометрического состава почв концентрация в них никеля уменьшается. Среднее содержание подвижного никеля в пахотных почвах России колеблется от 0,56 до 0,80 мг/кг (Аристархов и др., 2016).

Медь в зависимости от концентрации в экосистеме может быть биофильным или токсичным элементом. Основными источниками техногенного загрязнения почв медью являются предприятия цветной и черной металлургии машино- и приборостроения, химическая промышленность и автотранспорт (Гигиеническая оценка..., 1999; Замотаев и др., 2017; Кашулина, 2017, 2018). Аг-

ротехногенное загрязнение почв медью происходит в садовых агроценозах при многолетнем использовании медьсодержащих фунгицидов.

Кларк меди в земной коре равен 47 мг/кг и почвах мира – 20 мг/кг (Виноградов, 1957). Среднее содержание меди в незагрязненных почвах колеблется от 6 до 60 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). Наибольшее количество меди обнаруживается в почвах, сформированных на основных породах, наименьшее – на карбонатных. Медь является элементом биогенной аккумуляции. Высокое содержание органического вещества и наличие значительного количества глинистых минералов способствует повышению концентрации меди в почвах. В региональных условиях на содержание меди в почвах оказывают влияние микропестрота почвенного покрова и геохимические условия формирования почв.

Почвы характеризуются неодинаковым содержанием меди. На концентрацию меди в почвах сельскохозяйственных угодий оказывают большое влияние неодинаковые условия их почвообразования, различия в агрофизических и агрохимических свойствах и уровне применения удобрений (Лукин, Хижняк, 2015; Панасин и др., 2015; Самонова и др., 2015; Дубовик Д., Дубовик Е., 2016; Алхименко, 2017; Белек и др., 2017; Красницкий, Азаренко, 2017; Панасин и др., 2017; Красницкий и др., 2018). Среднее валовое содержание меди в почвах Центрального Черноземья составляет 24 мг/кг (Протасова, Щербаков, 2003), Западной Сибири – 31 мг/кг (Сысо, 2007), в Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – 15,2 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). Ориентировочно допустимая концентрация валовой меди в почвах колеблется от 33 до 132 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06). Предельно допустимая концентрация подвижной меди равна 3 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

На содержание подвижной меди в почвах оказывает влияние плодородие почв, климатические условия и уровень применения удобрений. Максимальное количество подвижной меди, как правило, приурочено к верхним горизонтам почв. Среднее содержание подвижной меди в пахотных почвах России колеблется от 0,19 до 0,41 мг/кг (Аристархов и др., 2016).

Хром является распространенным химическим элементом в природе. Благодаря высокой устойчивости и твердости широко используется в металлургической и химической промышленности. Источниками поступления хрома в почву являются предприятия черной и цветной метал-

лургии, приборо- и машиностроения, стройматериалов (Гигиеническая оценка..., 1999; Замотаев и др., 2017; Кашулина, 2017; Королев, Боев, 2017; Горлушкина, 2018; Rovira et al., 2018). На землях сельскохозяйственного назначения ненормированное использование в качестве удобрений осадков сточных вод приводит к загрязнению почв хромом (Бушуев, Шуравлихин, 2014).

Содержание хрома в почвах колеблется от 5 до 700 мг/кг. Наиболее высокие концентрации элемента встречаются в почвах геохимических аномалий. Кларк хрома в литосфере составляет 83 мг/кг и в почвах мира – 70 мг/кг (Виноградов, 1957). Концентрация хрома в почвах определяется многими факторами почвообразования, среди которых минералогический состав почвообразующих пород играет основную роль. В процессе биологической аккумуляции происходит накопление хрома в верхних горизонтах почв.

Почвы характеризуются неодинаковым содержанием хрома. Поведение хрома в почвах в значительной степени зависит от его валентного состояния. В природных условиях хром находится в трехвалентной и шестивалентной формах. В зависимости от почвенных условий возможен переход от шестивалентных соединений хрома к трехвалентным и обратно. Основная масса хрома в почвах прочно связана с ее минеральной частью. В региональных условиях на содержание и распределение хрома в почвах большое влияние оказывают неодинаковые условия их почвообразования, концентрация в почвообразующих породах, различия в агрофизических и агрохимических свойствах (Бугаев, 2015; Самонова и др., 2015; Лукин, Хижняк, 2016; Красницкий и др., 2018; Чимитдоржиева и др., 2018). Среднее содержание хрома в почвах Центрального Черноземья равно 87 мг/кг (Протасова, Щербаков, 2003), Западной Сибири – 84 мг/кг (Сысо, 2007), Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – 12,8 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). В России отсутствует санитарная норма на валовое содержание хрома в почвах. В Германии предельно допустимая концентрация хрома в почвах равна 100 мг/кг (Ильин, 2012).

Содержание подвижного хрома в почвах подвержено сильным колебаниям. На концентрации подвижного хрома влияет климат, плодородие почв и растительность. Среднее содержание подвижного хрома в пахотных почвах России равно 0,58 мг/кг при колебаниях от 0,02 до 4,03 мг/кг (Аристархов и др., 2016) и при пре-

дельно допустимой концентрации элемента – 6 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

Марганец является одним из наиболее распространенных химических элементов в природной среде. Основными источниками загрязнения почв марганцем являются предприятия цветной и черной металлургии, выбросы тепловых электростанций, работающих на каменном угле (Горлушкина, 2018; Кашулина, 2018).

Кларк марганца в литосфере равняется 1000 мг/кг и в почвах мира – 850 мг/кг (Виноградов, 1957). Содержание марганца в почвах характеризуется большим разнообразием. Различия в содержании марганца в почвах обусловлены физико-географическим положением регионов, континентальностью климата, условиями почвообразования и минералогического состава почвообразующих пород.

Одной из особенностей распределения марганца в почвенном покрове является большая пестрота в его содержании. В агроландшафтах марганец является подвижным элементом. В условиях лесной зоны подвижность марганца выше, чем в лесостепной. В степях, где в почвах преобладает слабощелочная среда с высоким окислительным потенциалом, марганец переходит в форму, труднодоступную растениям.

В региональных условиях почвы характеризуется неодинаковым содержанием марганца. На пространственное и профильное распределение марганца большое влияние оказывают неодинаковые условия почвообразования, различия в составе почвообразующих пород и свойствах почв (Зубкова, 2015; Лукин, 2015; Самонова и др.,

2015; Дубовик Д., Дубовик Е., 2016; Белек и др., 2017; Градобоева и др., 2017; Красницкий, Азаренко, 2017; Панасин и др., 2017; Сергеев и др., 2017б). Среднее валовое содержание марганца в почвах Центрального Черноземья равно 700 мг/кг (Протасова, Щербаков, 2003), Западной Сибири – 797 мг/кг (Сысо, 2007), Минусинской лесостепной зоне Красноярского края – 282,9 мг/кг (Сергеев и др., 2017а). Предельно допустимая концентрация валового марганца в почвах равняется 1500 мг/кг, подвижного по методу Пейве–Ринькиса – от 300 до 700 мг/кг, Крупскому–Александровой – от 60 до 140 мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06).

Содержание подвижного марганца в почвах определяется характером почвообразующих пород, свойствами почв, растительностью и применением удобрений. Среднее содержание подвижного марганца в почвах составляет 10–15% от валового количества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа литературных источников установлены закономерности пространственного и профильного распределения микроэлементов в естественных и техногенно загрязненных почвах.

Количественные параметры содержания микроэлементов в почвах являются основой для проведения периодического почвенно-экологического мониторинга, могут использоваться при рациональном землепользовании и охране почв от деградации, информационном обеспечении земельного кадастра, оценке и прогнозе экологического состояния земель.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафтах. СПб: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
- Алхименко Р.В. Мониторинг состояния пахотных почв в Западном и Центральном территориальных округах Красноярского края. Достижения науки и техники АПК. 2017; 31(6): С. 11–14.
- Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов. Международный сельскохозяйственный журнал. 2016; 6: 42–47.
- Байдина Н.Л. Статус ртути в фоновых и техногенных почвах Обь–Иртышского междуречья. Сибирский экологический журнал. 2001; 2: 175–179.
- Безносиков В.А., Ладынин Е.Д., Низовцев А.Н. Пространственное и профильное распределение ртути в почвах естественных ландшафтов. Вестник Санкт-Петербургского университета. 2013; 3(1): 94–101.
- Белек А.Н., Соловьева В.М., Ондар Д.С. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах пашни республики Тыва. Агрохимический вестник. 2016; 5: 20–22.
- Бугаев С.В. Геохимическое районирование пахотных почв республики Мордовия по содержанию тяжелых металлов. Достижения науки и техники АПК. 2015; 29(3): 28–32.
- Бурлакова Л.М., Антонова О.И., Деев Н.Г., Морковкин Г.Г. и др. Экотоксиканты в системе «почва – растение» (на примере отдельных зон Алтайского края): монография. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. 236 с.

- Бутаков Е.В., Кузнецов П.В., Холодова М.С., Гребенщикова В.И. Ртуть в почвах агропромышленной зоны г. Зима (Иркутская область). Почвоведение. 2017; 11: 1401–1408.
- Бушуев Н.Н., Шуравин. А.В. Влияние внесения сточных вод на загрязнение почв тяжелыми металлами. Плодородие. 2014; 4: 40–41.
- Васбиева М.Т., Косолапова А.И. Тяжелые металлы в системе почва – растение при утилизации осадков сточных вод в качестве удобрения. Агрохимия. 2018; 3: 83–89.
- Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд – во АН СССР, 1957. 259 с.
- Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах М: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. 184 с.
- Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами, фосфором и серой предприятиями цветной металлургии (Среднеуральский медеплавильный завод и Норильский горнометаллургический комбинат). Почвоведение. 2011; 2: 238–250.
- Водяницкий Ю.Н. Превращение мышьяка в загрязненных почвах. Почвоведение. 2013; 4: 87–96.
- Гигиеническая оценка качества населенных мест: Методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.
- ГН 2.1.7.2041 – 06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
- ГН 2.1.7.2042 – 06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.
- Горбунова Н.С., Куликова Е.В. Цинк в системе «почва – растение» при длительном применении удобрений и мелиорантов. Плодородие. 2018; 4: 53–55.
- Горлушкина К.С. Мониторинг техногенного загрязнения земель территории алюминиевого завода г. Красноярск. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 242 – 247.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды в Красноярском крае. Красноярск, 2017. 150 с.
- Градобоева Н.А., Елизарьева В.В., Сиренева Н.В. Мониторинг почвенного плодородия пахотных земель республики Хакасия. Достижения науки и техники АПК. 2016; 30(7): 44–47.
- Дубовик Д.В., Дубовик Е.В. Влияние степени эродированности на содержание тяжелых металлов в черноземных почвах. Достижения науки и техники АПК. 2015; 29(8): 24–27.
- Дубовик Д.В., Дубовик Е.В. Тяжелые металлы в черноземах типичных на склонах различной крутизны и экспозиции. Почвоведение. 2016; 1: 39–51.
- Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Редькина Н.Н., Кудашкина Н.В. и др. Оценка загрязнения почв в зоне влияния металлургической отрасли. Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. 2017; 9: 8–13.
- Ефремов И.В., Горшенина Е.Л., Рахимова Н.Н., Хасматулин Ш.Ш. Миграция подвижных форм тяжелых металлов в почвах Оренбургской области. Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. 2015; 10: 388–390.
- Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Белобров В.П. Трансформация и загрязнение почв в районах добычи железных руд (обзор литературы). Почвоведение. 2017; 3: 374–384.
- Зубкова О.А. Динамика кислоторастворимых соединений марганца в подзолистых почвах. Аграрная наука Северо-Востока. 2015; 1: С. 46–52.
- Иванов Г.М. Микроэлементы – биофилы в ландшафтах Забайкалья: монография. Улан-Удэ: Изд-во БНЦСОРАН, 2007. 239 с.
- Иванов Г.М., Кашин В.К. Ртуть в гумусовых горизонтах почв Забайкалья. Почвоведение. 2010; 1: 30–36.
- Ильин В.Б., Конарбаева Г.А. Мышьяк в почвах Западной Сибири в связи с региональным мониторингом окружающей среды. Почвоведение. 1995. С. 634–635.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд – во СО РАН, 2001. 229 с.
- Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
- Карпова Е.А., Минеев В.Г. Тяжелые металлы в агроэкосистеме. М: КДУ, 2015. 251 с.
- Кашулина Г.М. Экстремальное загрязнение почв выбросами медно-никелевого предприятия на Кольском Полуострове. Почвоведение. 2017; 7: 860–873.
- Кашулина Г.М. Мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами в окрестностях медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове. Почвоведение. 2018; 4: 493–505.

- Конарбаева Г.А., Якименко В.Н. Эколого-агрохимическая оценка содержания тяжелых металлов в почвах и растениях агроценоза. Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 1. С.16 – 21.
- Королев А.Н., Боев В.А. Тяжелые металлы в почвах и овощных культурах в зоне влияния цементного завода города Семей (Республика Казахстан). Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017; 3: 74–79.
- Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Цырк А.А. Содержание цинка в почвах Омской области. Плодородие. 2014; 4: 36–37.
- Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Цырк А.А. Содержание свинца в почвах Омской области. Плодородие. 2015; 3: 43–44.
- Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Цырк А.А. Эколого-агрохимические аспекты распространения кадмия в почвах Омской области. Плодородие. 2016; 4: 36–38.
- Красницкий В.М., Азаренко Ю.А. Содержание микроэлементов в системе почва – растение в агроценозах Омского Прииртышья. Плодородие. 2017. № 5. с. 28 – 31.
- Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А. Агроэкологическая характеристика почв Омской области. Плодородие. 2018; 5: 42–46.
- Лукин С.В. Мониторинг содержания микроэлементов Zn, Cu, Pb, Cd, Co, As, Hg в пахотных черноземах юго-запада Центрально-Черноземной зоны. Агрохимия. 2012; 11: 60–67.
- Лукин С.М. Микроэлементы в почвах Центрально-Черноземных областей. Земледелие. 2015. № 6. С. 26 – 28.
- Лукин С.М., Хижняк Р.М. Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземной области. Агрохимия. 2015; 8: 64–72.
- Лукин С.М., Хижняк Р.М. Экологическая оценка содержания кобальта, никеля и хрома в лесостепных агроценозах Центрально-Черноземных областей. Агрохимия. 2016; 4: 37–45.
- Лукин С.М., Селюкова С.В. Экологическая оценка содержания ртути и мышьяка в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземных областей. Агрохимия. 2018. № 8. С. 74 – 80.
- Михайлова Л.А., Солодухина М.А., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М. и др. Мониторинг содержания свинца, кадмия и ртути в почвах селитебной зоны с. Хапчеранга (Восточное Забайкалье). Забайкальский медицинский вестник. 2017; 1: 89–96.
- Онучин А.А., Буренина Т.А., Зубарева О.Н., Трефилова О.В. и др. Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района. Сибирский экологический журнал. 2014; 6: 1025–1037.
- Панасин В.И., Шатохин А.Ю., Рымаренко Д.А. Агрохимические аспекты распространения меди в почвах агроландшафтов Калининградской области. Агрохимический вестник. 2015; 2: 9–14.
- Панасин В.И., Шатохин А.Ю., Рымаренко Д.А. Цинк в почвах сельскохозяйственных угодий Калининградской области. Агрохимический вестник. 2015; 5: 45–48.
- Панасин В.И., Вихман М.И., Уютов Р.Г., Рымаренко Д.А. Эколого-агрохимические особенности распространения меди и цинка в почвах Калининградской области. Проблемы агрохимии и экологии. 2017; 1: 35–39.
- Панасин В.И., Шогенов Т.А., Вихман М.И., Рымаренко Д.А. Почвенно-агрохимические аспекты распространения марганца и кобальта в почвах сельскохозяйственных угодий Калининградской области. Проблемы агрохимии и экологии. 2017; 3: 3–8.
- Подколзин А.И., Олейников А.Ю., Сигида М.С., Воскобойников А.В. Динамика содержания цинка в почвах Ставропольского края. Агрохимический вестник. 2018; 4: 3–8.
- Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей природной среде. СПб: Мир и семья, 2001. 896 с.
- Просьянников В.И. Эколого-агрохимическая характеристика почв пашни юго-востока Западной Сибири по содержанию тяжелых металлов. Плодородие. 2015; 5: 41–43.
- Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Ga, Be, Ba, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: ВГУ, 2003. 368 с.
- Пузанов А.В. Приоритетные микроэлементы (I, Se, Mn, Co, Cu, Zn, Hg) в наземных экосистемах Тувинской горной области. Автореф. дис. д-ра биол. наук. Новосибирск, 2005. 43 с.
- Пузанов А.В., Бабошкина С.В. Мышьяк в системе почва – природные воды – растения Алтая. Почвоведение. 2009; 9: 1073–1082.
- Рязанов С.С., Иванов Д.В., Кулагина В.И., Сахабиев И.А. Содержание и подвижность кадмия, кобальта и цинка в верхних горизонтах почв республики Татарстан. Вестник Томского государственного университета. Серия: Биология. 2017; 40: 6–24.

Самонова О.А., Геннадиев А.Н., Кошовский Т.С., Жидкин А.П. Металлы в почвах малого водосбора лесостепной зоны (Среднерусская возвышенность). Почвоведение. 2015; 6: 675–684.

Северьянова Е.Н. Тяжелые металлы в почвах и растениях вблизи угледобывающего предприятия на примере шахты «Комсомольская» города Воркута республики Коми.

Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015; 8: 3–15.

Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края. Плодородие. 2017а; 3: 28–31.

Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Микроэлементы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края. Агрохимический вестник. 2017б; 2: 48–50.

Скитин Л.Н., Ваймер А.А., Захарова Е.И., Гаевая Е.В. Тяжелые металлы и радионуклиды в компонентах природной среды Тюменской области: монография. Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ». 2014. 253 с.

Степанова Л.П., Яковлева Е.В., Писарева А.В. Экологическая характеристика антропогенно – трансформированных почв, загрязненных тяжелыми металлами. Агрохимия. 2016. № 12. С. 60 – 67.

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

Сычев В.Г., Аристархов А.Н., Яковлева Т.Я. Цинк в агроэкосистемах России. Мониторинг и эффективность применения. М: ВНИИА, 2015. 204 с.

Сюняев Н.К., Филиппова А.В., Тютюнькова М.В. Мониторинг кадмия в агроэкосистеме в условиях длительного применения осадков сточных вод. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017; 1: 177–181.

Тацкий Ю.Г., Удачин В.Н., Аминов П.Г. Экогеохимия ртути в зоне действия выбросов медеплавильного комбината «Карабашмедь». Геохимия. 2017; 10: 942–953.

Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово – огородных почвах и растениях г. Улан – Удэ. Улан – Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. 128 с.

Чимитдоржиева Г.Д., Нимбуева А.З., Бодеева Е.А. Тяжелые металлы (медь, свинец, никель, кадмий) в органической части серых лесных почв Бурятии. Почвоведение. 2012; 2: 166–172.

Чимитдоржиева Г.Д., Нимбуева А.З., Бодеева Е.А. Кобальт и хром в системе: порода – почва – растение – гумус (на примере Западного Забайкалья). Агрохимия. 2018; 8: 81–85.

Ягодин Б.А., Кидин В.В., Цвирко Э.А., Маркелова В.Н. и др. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Агрохимический вестник. 1996; 5: 43–45.

Cabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crs Press, 2010. 548 p.

Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the “Severonikel” industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis. Atmospheris Environment. 2014; 89: 672–682.

George J., Mastro R. E., Ram L.C., Das T.B., Rout T.K., Mohan M. Human exposure risks for metals in soil near a coal – fired power – generating plant. Arch Environ Contam Toxicol. 2015; 68(3): 451–461.

Toth G., Hermann T., Sztatmari G., Pastor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. Science of the Total Environment. 2016; 565: 1054–1062.

Ozkul C. Heavy metal contamination in soils around the Tuncbilek Thermal Power Plant (Kutahya, Turkey). Environ Monit Assees. 2016; 188(5): 284.

Rovira J., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L. Concentrations of trasse elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste in cinerator in Girona (Catolonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood. Sci Total Environ. 2018; 630: 34–45.

MONITORING OF TRACE ELEMENTS IN SOILS (REVIEW)

A.E. Pobilat¹, E. I. Voloshin²

¹ Clinic of Modern Trichology (Krasnoyarsk)

² Krasnoyarsk State Agrarian University

ABSTRACT. The features of the content of arsenic, cadmium, mercury, lead, zinc, cobalt, nickel, copper, chrome and manganese in natural and polluted soils are considered. It is shown that the concentration and distribution of trace elements in soils depend on their properties, conditions of soil formation, climate, vegetation and economic activity of

the man. Due to the strengthening of technogenic load of the ecosystem there is a need for carrying out regular monitoring of trace elements (heavy metals) content in the soils and the implementation of actions for the improvement of ecological condition of lands.

KEYWORDS: soil, trace elements, ecosystem, pollution, monitoring.

REFERENCES

- Alekseyev Yu.V. Tyazhelye metally v agrolandshaftakh. SPb: Izd – vo PIYaF RAN. 2008. 216 s [in Russ.].
- Alhimenko R.V. Monitoring sostoyaniya pahotnyh pochv v Zapadnom i Central'nom territorial'nyh okrugah Krasnoyarskogo kraja. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017; 31(6): 11–14 [in Russ.].
- Aristarhov A., Lunev M., Pavlihina A. Ekologo – agrohimicheskaya ocenka sostoyaniya pahotnyh pochv Rossii po sodержaniyu v nih podvizhnyh form tyazhelyh metallov. Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal. 2016; 6: 42–47 [in Russ.].
- Bajdina N.L. Status rtuti v fonovyh i tekhnogennyh pochvah Ob"– Irtyshskogo mezhdurech'ya. Sibirskij ehkologicheskij zhurnal. 2001; 2: 175–179 [in Russ.].
- Beznosikov V.A., Ladynin E.D., Nizovcev A.N. Prostranstvennoe i profil'noe raspredelenie rtuti v pochvah estestvennyh landshaftov. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. 2013; 3(1): 94–101 [in Russ.].
- Belek A.N., Solov'eva V.M., Ondar D.S. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvah pashni respubliki Tyva. Agrohimicheskij vestnik. 2016; 5: 20–22 [in Russ.].
- Bugaev S.V. Geohimicheskoe rajonirovanie pahotnyh pochv respubliki Mordoviya po sodержaniyu tyazhelyh metallov. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015; 29(3): 28–32 [in Russ.].
- Burlakova L.M., Antonova O.I., Deev N.G., Morkovkin G.G. i dr. Ekotoksikanty v sisteme «pochva – rastenie» (na primere otdel'nyh zon Altajskogo kraja): monografiya. Barnaul: Izd-vo AGAU, 2001. 236 s. [in Russ.].
- Butakov E.V., Kuznecov P.V., Holodova M.S., Grebenshchikova V.I. Rtut' v pochvah agropromyshlennoj zony g. Zima (Irkutskaya oblast'). Pochvovedenie. 2017; 11: 1401–1408 [in Russ.].
- Bushuev N.N., Shuravin. A.V. Vliyanie vneseniya stochnyh vod na zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Plodorodie. 2014; 4: 40–41 [in Russ.].
- Vasbieva M.T., Kosolapova A.I. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie pri utilizacii osadkov stochnyh vod v kachestve udobreniya. Agrohimiya. 2018; 3: 83–89 [in Russ.].
- Vinogradov A.P. Geohimiya redkih i rasseyanyh himicheskikh elementov v pochvah. M.: Izd–vo AN SSSR, 1957. 259 s. [in Russ.].
- Vodyanickij Yu.N. Tyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennyh pochvah M: GNU Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'hozokademii, 2009. 184 s. [in Russ.].
- Vodyanickij Yu.N., Plekhanova I.O., Prokopovich E.V., Savichev A.T. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami, fosforom i seroj predpriyatijami cvetnoj metallurgii (Sredneural'skij medeplavil'nyj zavod i Noril'skij gornometallurgicheskij kombinat). Pochvovedenie. 2011; 2: 238–250 [in Russ.].
- Vodyanickij YU.N. Prevrashchenie mysh'yaka v zagryaznennyh pochvah. Pochvovedenie. 2013; 4: 87–96 [in Russ.].
- Gigienicheskaya ocenka kachestva naselennyh mest: Metodicheskie ukazaniya. M.: Federal'nyj centr gossanehpindadzora Minzdrava Rossii, 1999. 38 s. [in Russ.].
- GN 2.1.7.2041 – 06. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve [in Russ.].
- GN 2.1.7.2042 – 06. Orientirovochno-dopustimye koncentracii (ODK) himicheskikh veshchestv v pochve [in Russ.].
- Gorbunova N.S., Kulikova E.V. Cink v sisteme «pochva – rastenie» pri dlitel'nom primenenii udobrenij i meliorantov. Plodorodie. 2018; 4: 53–55 [in Russ.].
- Gorlushkina K.S. Monitoring tekhnogenogo zagryazneniya zemel' territorii alyuminievogo zavoda g. Krasnoyarska. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 2. S. 242 – 247 [in Russ.].
- Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy v Krasnoyarskom krae. Krasnoyarsk, 2017. 150 s. [in Russ.].
- Gradoboeva N.A., Elizar'eva V.V., Sireneva N.V. Monitoring pochvennogo plodorodiya pahotnyh zemel' respubliki Hakasiya. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016; 30(7): 44–47 [in Russ.].
- Dubovik D.V., Dubovik E.V. Vliyanie stepeni erodirovannosti na sodержanie tyazhelyh metallov v chernozemnyh pochvah. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015; 29(8): 24–27 [in Russ.].
- Dubovik D.V., Dubovik E.V. Tyazhelye metally v chernozemah tipichnyh na sklonah razlichnoj krutizny i ehkspozicii. Pochvovedenie. 2016; 1: 39–51 [in Russ.].
- Elizar'eva E.N., Yanbaev YU.A., Red'kina N.N., Kudashkina N.V. i dr. Ocenka zagryazneniya pochv v zone vliyaniya metallurgicheskoy otrasli. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 9: 8–13 [in Russ.].
- Efremov I.V., Gorshenina E.L., Rahimova N.N., Hasmatulin SH.SH. Migraciya podvizhnyh form tyazhelyh metallov v pochvah Orenburgskoj oblasti. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 10: 388–390 [in Russ.].

Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Miheev P.V., Belobrov V.P. Transformaciya i zagryaznenie pochv v rajonah dobychi zheleznyh rud (obzor literatury). Pochvovedenie. 2017; 3: 374–384 [in Russ.].

Zubkova O.A. Dinamika kislotorastvorimyh soedinenij marganca v podzolistyh pochvah. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2015; 1: C. 46–52 [in Russ.].

Ivanov G.M. Mikroelementy – biofily v landshaftah Zabajkal'ya: monografiya. Ulan – Ude: Izd-vo BNCSORAN, 2007. 239 s. [in Russ.].

Ivanov G.M., Kashin V.K. Rtut' v gumusovyh gorizontah pochv Zabajkal'ya. Pochvovedenie. 2010; 1: 30–36 [in Russ.].

Il'in V.B., Konarbaeva G.A. Mysh'yak v pochvah Zapadnoj Sibiri v svyazi s regional'nym monitoringom okruzhayushchej sredy. Pochvovedenie. 1995. S. 634–635 [in Russ.].

Il'in V.B., Syso A.I. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah Novosibirskoj oblasti. Novosibirsk: Izd -vo SO RAN, 2001. 229 s. [in Russ.].

Il'in V.B. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva – rastenie. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012. 220 s. [in Russ.].

Karpova E.A., Mineev V.G. Tyazhelye metally v agroekosisteme. M: KDU, 2015. 251 s. [in Russ.].

Kashulina G.M. Ekstremal'noe zagryaznenie pochv vybrosami medno-nikelevogo predpriyatiya na Kol'skom Poluostrove. Pochvovedenie. 2017; 7: 860–873 [in Russ.].

Kashulina G.M. Monitoring zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami v okrestnostyah medno-nikelevogo predpriyatiya na Kol'skom poluostrove. Pochvovedenie. 2018; 4: 493–505 [in Russ.].

Konarbaeva G.A., Yakimenko V.N. Ekologo-agrohimijskaya ocenka sodержaniya tyazhelyh metallov v pochvah i rasteniyah agrocenoza. Problemy agrohimii i ehkologii. 2017; 1: 16–21 [in Russ.].

Korolev A.N., Boev V.A. Tyazhelye metally v pochvah i ovoshchnyh kul'turah v zone vliyaniya cementnogo zavoda goroda Semej (Respublika Kazahstan). Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 3: 74–79 [in Russ.].

Krasnickij V.M., Shmidt A.G., Cyrk A.A. Soderzhanie cinka v pochvah Omskoj oblasti. Plodorodie. 2014; 4: 36–37 [in Russ.].

Krasnickij V.M., Shmidt A.G., Cyrk A.A. Soderzhanie svinca v pochvah Omskoj oblasti. Plodorodie. 2015; 3: 43–44 [in Russ.].

Krasnickij V.M., Shmidt A.G., Cyrk A.A. Ekologo-agrohimijskie aspekty rasprostraneniya kadmiya v pochvah Omskoj oblasti. Plodorodie. 2016; 4: 36–38 [in Russ.].

Krasnickij V.M., Azarenko Yu.A. Soderzhanie mikroelementov v sisteme pochva – rastenie v agrocenozah Omskogo Priir-tysh'ya. Plodorodie. 2017; 5: 28–31 [in Russ.].

Krasnickij V.M., Shmidt A.G., Matvejchik O.A. Agroekologicheskaya harakteristika pochv Omskoj oblasti. Plodorodie. 2018; 5: 42–46 [in Russ.].

Lukin S.V. Monitoring sodержaniya mikroelementov Zn, Cu, Pb, Cd, Co, As, Hg v pahotnyh chernozemah yugo-zapada Central'no-Chernozemnoj zony. Agrohimiya. 2012; 11: 60–67 [in Russ.].

Lukin S.M. Mikroelementy v pochvah Central'no-Chernozemnyh oblastej. Zemledelie. 2015; 6: 26–28 [in Russ.].

Lukin S.M., Hizhnyak R.M. Ekologicheskaya ocenka zapasov cinka, medi i molibdena v agrocenozah lesostepi Central'no-Chernozemnoj oblasti. Agrohimiya. 2015; 8: 64–72 [in Russ.].

Lukin S.M., Hizhnyak R.M. Ekologicheskaya ocenka sodержaniya kobal'ta, nikelya i hroma v lesostepnyh agrocenozah Central'no-Chernozemnyh oblastej. Agrohimiya. 2016; 4: 37–45 [in Russ.].

Lukin S.M., Selyukova S.V. Ekologicheskaya ocenka sodержaniya rtuti i mysh'yaka v agrocenozah lesostepi Central'no-Chernozemnyh oblastej. Agrohimiya. 2018; 8: 74–80. [in Russ.].

Mihajlova L.A., Soloduhina M.A., Alekseeva O.G., Burlaka N.M. i dr. Monitoring sodержaniya svinca, kadmiya i rtuti v pochvah selitebnoj zony s. Hapcheranga (Vostochnoe Zabajkal'e). Zabajkal'skij medicinskij vestnik. 2017; 1: 89–96 [in Russ.].

Onuchin A.A., Burenina T.A., Zubareva O.N., Trefilova O.V. i dr. Zagryaznenie snezhnogo pokrova v zone vozdejstviya predpriyatij Noril'skogo promyshlennogo rajona. Sibirskij ehkologicheskij zhurnal. 2014; 6: 1025–1037 [in Russ.].

Panasin V.I., Shatohin A.Yu., Rymarenko D.A. Agrohimijskie aspekty rasprostraneniya medi v pochvah agrolandshaftov Kaliningradskoj oblasti. Agrohimijskij vestnik. 2015; 2: 9–14 [in Russ.].

Panasin V.I., Shatohin A.Yu., Rymarenko D.A. Cink v pochvah sel'skohozyajstvennyh ugodij Kaliningradskoj oblasti. Agrohimijskij vestnik. 2015; 5: 45–48 [in Russ.].

Panasin V.I., Vihman M.I., Uytov R.G., Rymarenko D.A. Ekologo-agrohimijskie osobennosti rasprostraneniya medi i cinka v pochvah Kaliningradskoj oblasti. Problemy agrohimii i ehkologii. 2017; 1: 35–39 [in Russ.].

Panasin V.I., Shogenov T.A., Vihman M.I., Rymarenko D.A. Pochvenno-agrohimijskie aspekty rasprostraneniya marganca i kobal'ta v pochvah sel'skohozyajstvennyh ugodij Kaliningradskoj oblasti. Problemy agrohimii i ehkologii. 2017; 3: 3–8 [in Russ.].

Podkolzin A.I., Olejnikov A.Yu., Sigida M.S., Voskoboynikov A.V. Dinamika sodержaniya cinka v pochvah Stavropol'skogo kraja. Agrohimijskij vestnik. 2018; 4: 3–8 [in Russ.].

Predel'no-dopustimye koncentracii himicheskikh veshchestv v okruzhayushchej prirodnoj srede. SPb: Mir i sem'ya, 2001. 896 s. [in Russ.].

Prosyannikov V.I. Ekologo-agrohimicheskaya karakteristika pochv pashni yugo-vostoka Zapadnoj Sibiri po sodержaniyu tyazhelyh metallov. Plodorodie. 2015; 5: 41–43 [in Russ.].

Protasova N.A., Shcherbakov A.P. Mikroelementy (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Ga, Be, Ba, I, Mo) v chernozemah i seryh lesnyh pochvah Central'nogo Chernozem'ya. Voronezh: VGU, 2003. 368 s. [in Russ.].

Puzanov A.V. Prioritetnye mikroelementy (I, Se, Mn, Co, Cu, Zn, Hg) v nazemnyh ehkositemah Tuvinskoj gornoj oblasti. Avtoref. dis. d-ra biol. nauk. Novosibirsk, 2005. 43 s. [in Russ.].

Puzanov A.V., Baboshkina S.V. Mysh'yak v sisteme pochva – prirodnye vody – rasteniya Altaya. Pochvovedenie. 2009; 9: 1073–1082 [in Russ.].

Ryazanov S.S., Ivanov D.V., Kulagina V.I., Sahabiev I.A. Soderzhanie i podvizhnost' kadmiya, kobal'ta i cinka v verhnih gorizontah pochv respubliki Tatarstan. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2017; 40: 6–24 [in Russ.].

Samonova O.A., Gennadiev A.N., Koshovskij T.S., Zhidkin A.P. Metally v pochvah malogo vodosbora lesostepnoj zony (Srednerusskaya vozvyshehnost'). Pochvovedenie. 2015; 6: 675–684 [in Russ.].

Sever'yanova E.N. Tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah vblizi ugledobyvayushchego predpriyatiya na primere shahty «Komsomol'skaya» goroda Vorkuta respubliki Komi [in Russ.].

Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 8: 3–15 [in Russ.].

Sergeev A.P., Lipatnikova T.Ya., Voloshin E.I. Tyazhelye metally v pochvah Minusinskoj lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja. Plodorodie. 2017a; 3: 28–31 [in Russ.].

Sergeev A.P., Lipatnikova T.Ya., Voloshin E.I. Mikroelementy v pochvah Minusinskoj lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja. Agrohimijskij vestnik. 2017b; 2: 48–50 [in Russ.].

Skitin L.N., Vajmer A.A., Zaharova E.I., Gaevaya E.V. Tyazhelye metally i radionuklidy v komponentah prirodnoj sredy Tyumenskoj oblasti: monografiya. Tyumen': RIO FGBOU VPO «TyumGASU». 2014. 253 s. [in Russ.].

Stepanova L.P., Yakovleva E.V., Pisareva A.V. Ekologicheskaya karakteristika antropogennno – transformirovannyh pochv, zagryaznennyh tyazhelymi metallami. Agrohimiya. 2016; 12: 60–67 [in Russ.].

Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2007. 277 s.

Sychev V.G., Aristarhov A.N., Yakovleva T.Ya. Cink v agroehkositemah Rossii. Monitoring i ehffektivnost' primeneniya. M: VNIIA, 2015. 204 s [in Russ.].

Syunyaev N.K., Fillipova A.V., Tyutyun'kova M.V. Monitoring kadmiya v agroehkositeme v usloviyah dlitel'nogo primeneniya osadkov stochnyh vod. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 1: 177–181 [in Russ.].

Tackij Yu.G., Udachin V.N., Aminov P.G. Ekogeohimiya rtuti v zone dejstviya vybrasov medeplavil'nogo kombinata «Karabashmed'». Geohimiya. 2017; 10: 942–953 [in Russ.].

Ubugunov V.L., Kashin V.K. Tyazhelye metally v sadovo – ogorodnyh pochvah i rasteniyah g. Ulan – Ude. Ulan – Ude: Izd-vo BNC SO RAN, 2004. 128 s. [in Russ.].

Chimitdorzhieva G.D., Nimbueva A.Z., Bodeeva E.A. Tyazhelye metally (med', svinec, nikel', kadmij) v organicheskoy chasti seryh lesnyh pochv Buryatii. Pochvovedenie. 2012; 2: 166–172 [in Russ.].

Chimitdorzhieva G.D., Nimbueva A.Z., Bodeeva E.A. Kobal't i hrom v sisteme: poroda – pochva – rastenie – gumus (na primere Zapadnogo Zabajkal'ya). Agrohimiya. 2018; 8: 81–85 [in Russ.].

Yagodin B.A., Kidin V.V., Cvirko E.A., Markelova V.N. i dr. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie. Agrohimijskij vestnik. 1996; 5: 43–45 [in Russ.].

Cabata–Péndias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crs Press, 2010. 548 p.

Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the “Severonikel” industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis. Atmospheris Environment. 2014; 89: 672–682.

George J., Mastro R. E., Ram L.C., Das T.B., Rout T.K., Mohan M. Human exposure risks for metals in soil near a coal – fired power – generating plant. Arch Environ Contam Toxicol. 2015; 68(3): 451–461.

Toth G., Hermann T., Szatmari G., Pastor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. Science of the Total Environment. 2016; 565: 1054–1062.

Ozkul C. Heavy metal contamination in soils around the Tuncbilek Thermal Power Plant (Kutahya, Turkey). Environ Monit Assees. 2016; 188(5): 284.

Rovira J., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L. Concentrations of trasse elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste in cinerator in Girona (Catolonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood. Sci Total Environ. 2018; 630: 34–45.