

## ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ  
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ (ОБЗОР)****А.Е. Побилат<sup>1\*</sup>, Е.И. Волошин<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Клиника современной трихологии,  
660123, г. Красноярск, проспект Газеты Красноярский Рабочий, 172<sup>2</sup> Красноярский государственный аграрный университет,  
660049, г. Красноярск, пр. Мира 90

**РЕЗЮМЕ.** Рассмотрены закономерности содержания мышьяка, кадмия, ртути, свинца, цинка, кобальта, никеля, меди, хрома и марганца в продуктивной части урожая различных сельскохозяйственных культур. Показано, что концентрация микроэлементов в растениях зависит от погодных условий, свойств почв и содержания в них подвижной формы элементов, применения удобрений, техногенной нагрузки на агроландшафты, биологических и видовых особенностей растений. Для повышения качества растительной продукции необходима оптимизация питания растений по микро- и макроэлементам. Комплексное применение микро- и макроудобрений является основой улучшения микроэлементного состава растений, повышения качественных параметров продукции при сохранении ее экологической безопасности. На территориях локального загрязнения почв микроэлементами необходимо проведение постоянного мониторинга за содержанием их в растительной продукции и разработка мероприятий по уменьшению их поступления в растения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** микроэлементы, растения, содержание, агроландшафты, почвы, удобрения, оптимизация, мониторинг, загрязнение, качество продукции.

**ВВЕДЕНИЕ**

Поступление микроэлементов в растения происходит через корневую систему и листовую поверхность (Титов, Казнина, Таланова, 2014). Основной путь поступления микроэлементов в растения – адсорбция корнями. Некорневое поглощение растениями происходит при значительном выпадении металлов из атмосферы на листовую аппарат вблизи крупных промышленных предприятий.

Почва является основным источником поступления микроэлементов в растения. На темпы поглощения микроэлементов растениями оказывают влияние агрофизические и агрохимические свойства почв, динамика почвенных процессов, химические свойства металлов, состояние и трансформация их соединений, физиологические особенности растений (Ильин, Сысо, 2001; Алексеев, 2008; Сычев и др., 2009; Ильин, 2012).

По степени накопления микроэлементы подразделяются на несколько групп: 1) Cd, Cs, Rb – интенсивно поглощаются; 2) Zn, Mo, Cu, Pb, Ag, As, Co – средняя степень поглощения; 3) Mn,

Ni, Li, Cr, Be, Sb – слабо поглощаются; 4) Se, Fe, Ba, Te – труднодоступны растениям (Тяжелые металлы..., 1997). По абсолютному содержанию микроэлементы образуют несколько групп: 1) элементы повышенной концентрации – Sr, Mn, Zn; 2) элементы средней концентрации – Cu, Ni, Pb, Cr; 3) элементы низкой концентрации – Mo, Cd, Se, Co, Sn; 4) элементы очень низкой концентрации – Hg.

Химический состав растений отражает элементарный состав почвенной среды. Уровень содержания микроэлементов в растениях, величина их урожая, химический состав и технологические показатели зависят от концентрации микроэлементов в почвах. Содержание микроэлементов в растениях в течение вегетационного периода изменяется. Эти изменения вызваны сезонными колебаниями концентрации микроэлементов в почвах и изменяющейся в них потребностью растений. В полевых условиях на содержание микроэлементов также влияют видовые и сортовые особенности, фаза развития и условия произрастания растений.

\* Адрес для переписки:

**Побилат Анна Евгеньевна**

E-mail: pobilat-anna@mail.ru

В природных условиях концентрация микроэлементов в растениях колеблется в широких пределах (Cabata-Pendias, 2010). Более высоким содержанием микроэлементов характеризуются растения, произрастающие на почвах геохимических аномалий (Ильин, Сысо, 2001; Пузанов, 2005; Солoduхина, 2014). Пределы нормальных концентраций микроэлементов для большинства растений могут изменяться в десятки и более раз. При выращивании растений на загрязненных почвах происходит накопление микроэлементов в продуктивной части урожая различных сельскохозяйственных культур. Продукция растениеводства, выращенная даже на слабозагрязненных почвах, представляет определенную опасность из-за возможного кумулятивного эффекта и постепенного накопления металлов в пищевой цепи. При дефиците или избытке микроэлементов в экосистеме у человека возникают микроэлементозы (Сусликов, 2002).

В региональных условиях на содержание микроэлементов в растениях оказывают влияние погодные условия, потенциальное и эффективное плодородие почв, направленность почвообразовательного процесса, обеспеченность подвижной формой элементов и биологические особенности сельскохозяйственных культур. Из-за неодинаковых условий произрастания и видовых различий микроэлементный состав основных сельскохозяйственных культур характеризуется большим разнообразием. В связи с усилением техногенной нагрузки на агроценозы возникает необходимость в проведении систематического мониторинга за содержанием микроэлементов в растениях и разработка мероприятий по улучшению элементного статуса сельскохозяйственных культур, повышению качественных параметров продукции при сохранении ее экологической безопасности.

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ**

**Мышьяк** входит в группу особо опасных загрязняющих веществ и в повышенных концентрациях оказывает токсическое действие на живые организмы. Основными источниками загрязнения агроценозов мышьяком являются переработка полиметаллических руд, сжигание угля и нефти, орошение, использование в сельском хозяйстве пестицидов, содержащих мышьяк (Гамаюрова, 1993; Водяницкий, 2013; Солoduхина, 2014).

Биологическое значение мышьяка связано с его химической близостью к фосфору, способностью замещать этот элемент в биохимических реакциях (Cabata-Pendias, 2010). Мышьяк входит в состав многих растений. Содержание мышьяка в растениях повторяет его наличие в почве. Высокие концентрации этого элемента негативно сказываются на жизнедеятельности растений: замедляется их рост, происходит увядание листьев, снижается урожайность и ухудшаются качественные показатели растительной продукции. Наибольшие концентрации этого элемента характерны для листовых овощей и трав, наименьшие – для зерна злаковых культур. Среднее содержание мышьяка в пищевых и кормовых растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, составляет 0,0003–1,5 мг/кг сухой массы (Cabata-Pendias, 2010). Нормальная концентрация мышьяка в растениях колеблется от 1,0 до 1,7 мг/кг, токсичная – в пределах 5,0–20,0 мг/кг. Среднее содержание мышьяка на территории России варьирует от 0,020 до 0,046 мг/кг (Аристархов и др., 2016).

Мышьяк характеризуется средней степенью поглощения растениями. На загрязненных почвах избыточные анионы мышьяка в основном задерживаются корнями растений. В результате аккумуляции мышьяка в корнях растений насыщенность тканей надземных органов этим элементом невысокая (Ильин, Конарбаева, 1993). При техногенном загрязнении мышьяком проявляется общая тенденция антагонистического действия элемента на накопление одноклассовых элементов периодической системы – Р, V в органах растений и синергического воздействия на накопление элементов соседних групп – S, Zr, Sn, Cr, Se, Mo.

На содержание мышьяка в растениях оказывают влияние погодные условия, свойства почв, концентрация в них элемента и биологические особенности разных сельскохозяйственных культур (Пузанов, Бабошкина, 2009; Алексеенко и др., 2017; Селюкова, 2017; Сергеев и др., 2017; Лукин, Селюкова, 2018в). Предельно допустимая концентрация мышьяка в продовольственном зерне составляет 0,2 мг/кг; в овощах, картофеле, грибах, плодовых и ягодных культурах – 0,2–0,5 мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078–01), в кормах для сельскохозяйственных животных – 0,5 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Кадмий** является высокотоксичным химическим элементом. Он может поступать в растения, как из почвы, так и через листья и усваи-

ваться избирательно разными видами. Токсичность кадмия для растений заключается в нарушении активности ферментов, в торможении процесса фотосинтеза, ухудшении транспирации и фиксации углекислого газа. Кадмий затрудняет поступление в растения макро-и микроэлементов – P, Mg, Ca, Cu, Mn, Zn, Ni, Se. Основными симптомами кадмиевого токсикоза у растений являются задержка роста, повреждение корневой системы и хлороз листьев (Ильин, Сысо, 2001).

Источником поступления кадмия в почвы и растения являются промышленные предприятия, теплоэнергетики, автотранспорт, ненормированное внесение в сельском хозяйстве удобрений (Гигиеническая оценка..., 1999; Королев, Боев, 2017; Ларионов, 2017; Минкина и др., 2017a; Dziubanek et al., 2017). Кадмий характеризуется высокой подвижностью, легко передвигается в растениях, накапливаясь не только в вегетативных органах, но и в органах запаса ассимилянтов. Высокие концентрации кадмия в почве приводят к дисбалансу компонентов питания в растениях и отрицательно влияют на синтез и функции ферментов, витаминов, гормонов и других биологически активных соединений. Кадмий обладает высоким кумулятивным эффектом. При загрязнении этот элемент по пищевым цепям может поступать в организм человека и вызывать различные заболевания (Сусликов, 2002).

Кадмий является химическим аналогом цинка и имеет высокую степень поглощения растениями. В растениях содержание кадмия колеблется в широких пределах. На поступление кадмия в растения оказывает влияние погодные условия, свойства почв, содержание в них элемента, уровень применения удобрений, биологические и сортовые особенности растений (Фещенко, 2014; Середа и др., 2016; Слабко, Лопатина, 2016; Аветисян и др., 2017; Алексеенко и др., 2017; Минкина и др., 2017б; Елкина, 2017; Селюкова, 2017; Сергеев и др., 2017; Худяев, Лебедева, 2017). Нормальная концентрация кадмия в растениях колеблется от 0,05 до 0,20 мг/кг, токсичная – в пределах 5,0–20,0 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). Среднее содержание кадмия в растительной продукции, выращиваемой на территории России, варьирует от 0,039 до 0,107 мг/кг (Аристархов и др., 2016). Предельно допустимая концентрация кадмия в продовольственном зерне составляет 0,1 мг/кг, в овощах, картофеле, плодах – 0,03 мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078–01), в кормовых культурах для сельскохозяй-

ственных животных – 0,3 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Ртуть** является одним из наиболее токсичных химических элементов. В окружающую природную среду ртуть поступает из природных и техногенных источников. Основными источниками поступления ртути в биосферу являются газопылевые выбросы предприятий цветной металлургии, приборо- и машиностроения, химическая промышленность, применение высоких доз удобрений (Гигиеническая оценка..., 1999; Бушуев, Шуравин, 2014; Середа и др., 2016; Кашулина, 2017; Васбиева, Косолапова, 2018). Соединения ртути, попадая на земную поверхность, подвергаются различным изменениям, характер которых определяется физическими, химическими и биологическими свойствами почв. При загрязнении почв ртутью происходит накопление ее в растениях и ухудшение качества растительной продукции.

Растения характеризуются неодинаковым содержанием ртути. На содержание и уровень накопления ртути в растениях оказывают большое влияние неоднородность и пестрота почвенного покрова, неодинаковые условия почвообразования, разные свойства почв, их гидротермический режим, применение удобрений, биологические и видовые особенности растений (Кашин, Иванов, 2009б; Бутаков и др., 2017; Сергеев и др., 2017; Лукин, Селюкова, 2018в). Больше всего ртути накапливается в корнях растений. Репродуктивные органы меньше содержат ртути в сравнении с вегетативными, что свидетельствует о наличии защитных барьеров, препятствующих перемещению этого элемента в растения. Нормальная концентрация ртути в растительной продукции колеблется от 1 до 3 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). Среднее содержание ртути в растениеводческой продукции в разных федеральных округах России варьирует от 0,0005 до 0,010 мг/кг (Аристархов, Лунев, Павлихина, 2016). Предельно допустимая концентрация ртути в продовольственном зерне равна 0,03 мг/кг, овощах, картофеле, бахчевых, плодовых и ягодных культурах – 0,02 мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078–01), кормовом зерне, зернофураже, грубых и сочных кормах – 0,05–0,1 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Свинец** среди тяжелых металлов относится к числу опасных загрязнителей окружающей природной среды. Основными источниками поступления свинца в почвы и растения агроценозов яв-

ляются предприятия черной и цветной металлургии, приборо- и машиностроения, автотранспорт, применение в сельском хозяйстве удобрений (Гигиеническая оценка..., 1999; Ильин, Сысо, 2001; Якименко, Конарбаева, 2016; Минкина и др., 2017а; Васбиева, Косолапова, 2018).

При низких концентрациях в почвах свинец стимулирует рост растений. В загрязненных почвах наблюдается подавление процесса фотосинтеза в растениях, уменьшается поглощение ими воды, увеличивается в них содержание кадмия и происходит снижение поступления цинка, кальция, фосфора и серы. Свинец имеет среднюю степень поглощения растениями. Различные виды растений характеризуются избирательной способностью в накоплении свинца, которая обусловлена их биологическими особенностями. Разница между минимальным и максимальным содержанием свинца в растениях может достигать нескольких раз. Наименьшее содержание свинца отмечается в репродуктивных органах растений, что связано с деятельностью защитных механизмов, препятствующих поступлению в них избыточного количества токсиканта. Колебания свинца в сельскохозяйственных растениях обусловлены выбросами промышленных предприятий, наличием геохимических аномалий, погодными условиями, свойствами почв, содержанием в них подвижной формы элемента, внесением удобрений, генетическими и видовыми особенностями сельскохозяйственных растений (Кашин, Убугунов, 2012; Елкина, 2015; Аветисян и др., 2017; Алексеенко и др., 2017; Королев, Боев, 2017; Лопатина, 2017; Минкина и др., 2017а; Сергеев и др., 2017; Худяев, Лебедев, 2017; Кашин, 2018; Dziubanek et al., 2015).

Нормальная концентрация свинца в растениях колеблется от 5,0 до 10,0 мг/кг, токсичная варьирует в пределах 30–300 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). Содержание свинца в урожае разных сельскохозяйственных культур Новосибирской области отмечается в пределах 0,1–2,0 мг/кг воздушно-сухой массы (Ильин, Сысо, 2001), в бобовых и злаковых травах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края – 0,04–3,36 мг/кг (Сергеев и др., 2017); в люцерне Западного Забайкалья – 0,23–0,49 мг/кг (Кашин, 2018). Среднее содержание свинца в растительной продукции разных федеральных округов России варьирует от 0,32 до 0,60 мг/кг (Аристархов и др., 2016). Предельно допустимая концентрация свинца в продовольственном зерне, овощах, картофеле, бахчевых

культурах – 0,5 мг/кг, фруктах и ягодах – 0,4 мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078 – 01), зерне, зернофураже, грубых и сочных кормах для сельскохозяйственных животных – 5 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Цинк.** Физиологическая роль цинка в растениях тесно связана с его участием в азотном, углеводном обмене, образовании хлорофилла, фотосинтезе и повышении активности ферментов. Цинк оказывает влияние на поступление в растения макро- и микроэлементов, водный режим растений, устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды и болезням. Нормальная обеспеченность почв цинком способствует повышению урожайности и улучшению качества растительной продукции. При недостатке цинка в растениях наблюдается хлороз, в плодовых культурах развивается мелколистность и розеточность. Дефицит цинка угнетает формирование генеративных органов и плодоношение, оказывает неблагоприятное влияние на образование семян у колосовых культур (Сычев и др., 2015). Особенно от недостатка цинка страдают зерновые и бобовые культуры, травы, лен, фруктовые деревья.

Основными источниками загрязнения агроценозов цинком являются предприятия черной и цветной металлургии, приборо- и машиностроения, химическая промышленность, автотранспорт, нерациональное применение в растениеводстве удобрений (Гигиеническая оценка..., 1999; Королев, Боев, 2017; Васбиева, Косолапова, 2018).

Содержание цинка в растениях зависит от климатических условий, типа почв, обеспеченности их подвижной формой элемента, уровня и способов применения удобрений, биологических особенностей растений. Главным фактором, влияющим на содержание цинка в растениях, являются почвенно-агрохимические условия (Steiner et al., 2007; Сычев и др., 2009; Спицына и др., 2013; Серегина, 2018). Содержание цинка в одном том же виде растения, произрастающем на разных типах почв, может различаться в несколько раз. При изменении реакции почвенной среды с 4,5 до 7,5 количество поглощенного растениями цинка уменьшается. При подкислении почвенного раствора поступление цинка в растения возрастает.

Цинк имеет среднюю степень поглощения растениями. Нормальная концентрация цинка в растениях колеблется от 27 до 150 мг/кг, токсичная равна 150–400 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010).

Содержание цинка в сельскохозяйственных культурах Новосибирской области варьирует от 10 до 80 мг/кг (Ильин, Сысо, 2001), в кормовых травах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края – 3,6–28,6 мг/кг (Сергеев и др., 2017), зерне бобовых культур Белгородской области – 17,3–53,1 мг/кг (Лукин, 2018). Среднее содержание цинка в растительной продукции разных регионов России колеблется от 10,8 до 20,9 мг/кг (Аристархов и др., 2016).

В региональных условиях на содержание цинка в растениях влияет обеспеченность почв подвижной формой элемента, погодные условия, экологические условия их произрастания, уровень минерального питания, генетические и видовые особенности разных сельскохозяйственных культур (Кашин, Убугунов, 2012; Сычев и др., 2015; Красницкий, Азаренко, 2017; Ларионов, 2017; Минкина и др., 2017б; Сысо и др., 2017; Худяев, Лебедева, 2017; Горбунова, Куликова, 2018; Кашин, 2018; Лукин, 2018). Предельно допустимая концентрация цинка в кормовом зерне, зернофураже равна 50 мг/кг, грубых и сочных кормах – 100 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Кобальт** является необходимым элементом в питании растений. При его участии усиливается биологическая фиксация азота клубеньковыми бактериями, он входит в состав витамина В12 и ферментов. Кобальт благоприятно влияет на синтез хлорофилла, белка, углеводов и повышает продуктивность сельскохозяйственных культур. При недостатке кобальта в растениях ослабляется образование гемоглобина, белков и нуклеиновых кислот.

Среди тяжелых металлов кобальт является опасным загрязнителем окружающей природной среды. Техногенное загрязнение почв и растений кобальтом происходит под влиянием предприятий черной металлургии и приборостроения (Гигиеническая оценка..., 1999). Локальное загрязнение растений кобальтом может происходить вокруг отвалов горнодобывающих предприятий, при систематическом использовании в качестве удобрений осадков сточных вод.

В природных условиях кобальт встречается в двух и трех валентной формах. Благодаря способности изменять свою валентность и вхождению в биологически активные соединения этот элемент выполняет важные функции в растениях. Основными факторами, способными вызвать дефицит кобальта в растениях, являются карбо-

натность, щелочность, выщелоченность почв, высокое содержание в них гумуса, оксидов железа и марганца (Ильин, Сысо, 2001).

На поступление кобальта в растения оказывает влияние реакция почвенного раствора. При подкислении реакции почвенного раствора поступление кобальта в растения усиливается. Кобальт является химическим элементом, имеющим среднюю степень поглощения растениями. В зональных условиях на концентрацию кобальта в растениях оказывают влияние агрофизические и агрохимические свойства почв, содержание в них подвижной формы элемента, погодные условия, уровень применения удобрений, биологические и видовые особенности различных сельскохозяйственных культур (Кашин, Убугунов, 2012; Сысорова и др., 2012; Кашин, 2016, 2018; Лукин, Хижняк, 2016; Красницкий, Азаренко, 2017; Сысо и др., 2017; Чимитдоржиева и др., 2018;). Нормальное содержание кобальта в растительной продукции колеблется от 0,02 до 1,0 мг/кг, токсичная концентрация варьирует в пределах – 15–50 мг/кг (Sabata-Pendias, 2010). В незагрязненных почвах Новосибирской области содержание кобальта в зерне пшеницы и гороха изменяется в пределах – 0,2–0,3 мг/кг, клубнях картофеля – 0,2–0,6 мг/кг (Ильин, Сысо, 2001), в кормовых травах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края – 0,04–0,81 мг/кг (Сергеев и др., 2017); в зерне бобовых культур Белгородской области – 0,10–1,41 мг/кг (Лукин, 2018). Среднее содержание кобальта в растительной продукции на территории России колеблется от 0,11 до 1,40 мг/кг (Аристархов и др., 2016). Предельно допустимая концентрация кобальта в кормах для сельскохозяйственных животных равняется 1–2 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Никель.** Биологическая роль никеля заключается в его участии в структурной организации и функционировании основных клеточных компонентов – ДНК, РНК и белка.

По своим биохимическим свойствам никель схож с железом и кобальтом. В почвах никель стимулирует микробиологические процессы нитрификации и минерализации соединений азота и способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных культур. Токсичность этого элемента для растений проявляется в подавлении процессов фотосинтеза и транспирации, появлении признаков хлороза листьев (Ильин, Сысо, 2001).

Никель является одним из приоритетных загрязнителей окружающей природной среды. Загрязнение агроценозов никелем происходит в результате выбросов предприятий черной и цветной металлургии, приборо- и машиностроения, ненормированного применения в сельском хозяйстве в качестве удобрения осадков сточных вод (Гигиеническая оценка..., 1999; Бушуев, Шуравин, 2014; Кашулина, 2017; Jitender et al., 2017).

Никель относится к группе тяжелых металлов, которые слабо поглощаются растениями. Интенсивность поглощения никеля растениями определяется типом почв, содержанием в них подвижной формы элемента, погодными условиями, видовыми особенностями растений и приспособленностью их к различным факторам окружающей природной среды (Кашин, Убугунов, 2012; Сосорова и др., 2012; Кашин, 2016, 2018; Лукин, Хижняк, 2016; Чимитдоржиева и др., 2016; Сергеев и др., 2017; Худяев, Лебедева, 2017; Лукин, 2018). Среди сельскохозяйственных культур овес и фасоль обладают способностью к преимущественному накоплению никеля в растениях. Это связано с биологическими особенностями этих культур и повышенной подвижностью никеля в почвах и растениях (Андреева, 2003). Наибольшая концентрация никеля наблюдается в корнях и продуктивной части растений.

Содержание никеля в растениях колеблется от 1 до 10 мг/кг. Низкое содержание никеля в растениях определяется небольшим содержанием его в почвах, слабой биологической доступностью и барьерностью к нему надземных частей растений. Границы токсичного уровня для большинства видов растений изменяются от 5 до 30 мг/кг (Sabata-Pendias, 2010). Содержание никеля в урожае разных сельскохозяйственных культур Новосибирской области колеблется от 0,2 до 7,5 мг/кг сухого вещества (Ильин, Сысо, 2001), в зерне пшеницы и зеленой массе люцерны Восточного Забайкалья – от 0,12 до 2,58 мг/кг (Кашин, Убугунов, 2012; Кашин, 2018), зерне бобовых культур Белгородской области – от 1,43 до 7,22 мг/кг (Лукин, 2018). Предельно допустимая концентрация никеля в кормовом зерне составляет 1 мг/кг, грубых и сочных кормах – 3 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Медь** участвует в процессах окисления, входит в состав ферментов, усиливает интенсивность дыхательных процессов, придает хлорофиллу большую устойчивость, улучшает фотосинтетическую деятельность и водный режим в

растениях. Медь способствует восстановлению и фиксации азота, ее дефицит в зерновых культурах приводит к уменьшению образования зерен и увеличивает пустозерность колосьев. Под влиянием меди повышается устойчивость растений к высоким и низким температурам, уменьшается их поражаемость грибными и бактериальными заболеваниями. Дефицит меди проявляется на почвах с высоким содержанием карбонатов и органического вещества, щелочной реакцией среды, снижающих подвижность и доступность микроэлемента растениям (Ильин, Сысо, 2001).

Медь является одним из приоритетных загрязнителей окружающей среды. Основными источниками поступления меди в почву и растения являются предприятия черной и цветной металлургии, приборо- и машиностроения, химическая промышленность, автотранспорт, применения в сельском хозяйстве медьсодержащих пестицидов и удобрений в виде осадков сточных вод (Гигиеническая оценка..., 1999; Кашулина, 2017; Королев, Боев, 2017; Ларионов, 2017).

Медь относится к числу химических элементов, имеющих среднюю степень поглощения растениями. Разные виды растений характеризуются избирательностью в накоплении меди, обусловленной биологическими особенностями и разной доступностью элемента в почвах. Основными факторами, влияющими на содержание меди в растениях, являются погодные условия, свойства почв, содержание в них подвижной формы элемента, удобрения, биологические и видовые особенности сельскохозяйственных культур (Кашин, Убугунов, 2012; Минеев и др., 2015; Спицына и др., 2016; Кашин, 2016, 2018; Елкина, 2017; Красницкий, Азаренко, 2017; Минкина и др., 2017; Сысо и др., 2017; Худяев, Лебедева, 2017; Фещенко, 2017; Лукин, 2018а, 2018б; Li et al., 2007).

Нормальная концентрация меди в растениях колеблется от 5 до 30 мг/кг и токсичная – в пределах 30–100 мг/кг (Sabata-Pendias, 2010). В Новосибирской области содержание меди в разных сельскохозяйственных культурах варьирует в интервале от 1 до 30 мг/кг воздушно сухого вещества (Ильин, Сысо, 2001), кормовых травах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края – 0,67–6,06 мг/кг (Сергеев, Липатникова, Волошин, 2017), зерне бобовых культур Белгородской области – 1,88–12,9 мг/кг (Лукин, 2018а). Среднее содержание меди в растительной продукции в разных федеральных округах Рос-

сии составляет 1,69–5,58 мг/кг (Аристархов и др., 2016). Предельно допустимая концентрация меди в кормовом зерне, зернофураже, грубых и сочных кормах равна 30 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987)

**Хром** принимает активное участие в синтезе белков, повышает содержание хлорофилла в листьях и продуктивность фотосинтеза. При избытке хрома в почвах ухудшается рост и развитие растений, наблюдается увядание надземной части, повреждение корневой системы и хлороз молодых листьев. Избыточная концентрация хрома в растениях снижает поступление в них калия, фосфора, железа, марганца, меди и бора (Ильин, Сысо, 2001).

Хром является одним из самых высокотоксичных загрязнителей природной среды. Поступление хрома в агроценозы происходит в результате деятельности предприятий черной и цветной металлургии, машино- и приборостроения, энергетики, стройматериалов, ненормированного применения в качестве удобрений осадков сточных вод (Гигиеническая оценка..., 1999; Бушуев, Шуравилин, 2014; Королев, Боев, 2017; Минкина и др., 2017а; Jitender et al., 2017). Влияние металла на растения зависит от его валентности: шестивалентный катион в значительной степени токсичнее трехвалентного. В зависимости от почвенных условий возможен переход от шестивалентных соединений хрома к трехвалентным и обратно. В региональных условиях содержание хрома в растениях зависит от свойств почв, содержания в них подвижной формы элемента, климата, удобрений и биологических особенностей культур (Лукин, 2011; Кашин, Убугунов, 2012; Кашин, 2014, 2018; Лукин, Хижняк, 2016; Минкина и др., 2017б; Лукин, 2018а; Сосорова и др., 2018; Чимитдоржиева и др., 2018).

Хром по токсичности уступает только ртути. Это биофильный элемент, который постоянно находится в тканях растений. Поступая в растения, хром по его органам распределяется неравномерно. Максимальное содержание хрома отмечается в корнях. Хром относится к группе элементов слабого накопления и содержится в растениях в небольших количествах. Содержание хрома в растительном материале составляет 0,02–1,0 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). Нормальная концентрация хрома в растениях равна 0,4–0,6 мг/кг, избыточная – превышает 5 мг/кг. В сельскохозяйственных культурах Новосибирской области содержание хрома колеблется от 0,1 до

2,0 мг/кг сухого вещества (Ильин, Сысо, 2001), зерне яровой пшеницы и зеленой массе люцерны в Западном Забайкалье – 0,54–2,67 мг/кг (Кашин, Убугунов, 2012), зерне бобовых культур Белгородской области – 0,22–0,50 мг/кг (Лукин, 2018б). Предельно допустимая концентрация хрома в кормах для сельскохозяйственных животных равна 3 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень..., 1987).

**Марганец.** Физиологическая роль марганца в растениях связана с его участием в окислительно-восстановительных процессах. Этот элемент играет важную роль в фотосинтезе, дыхании, углеводном, белковом обмене, образовании хлорофилла, витаминов и ферментов, синтезе нуклеиновых кислот и передаче наследственной информации. При недостаточном или избыточном поступлении марганца в растениях развиваются хлорозы, угнетаются их рост и развитие, снижается урожайность и ухудшается качество продукции (Сычев и др., 2009).

Основными источниками загрязнения почв и растений марганцем являются предприятия цветной и черной металлургии, теплоэнергетики (Гигиеническая оценка..., 1999). В агроландшафтах марганец является подвижным элементом. В почвах сельскохозяйственных угодий марганец находится в виде двух-, трех- и четырехвалентных соединениях. В растениях поступает только двухвалентный марганец. Марганец отличается активным поглощением и быстрым переносом в растениях. Основными факторами изменения концентрации марганца в сельскохозяйственных культурах являются неодинаковые климатические условия произрастания, разное содержание подвижной формы этого элемента в почвах и видовая особенность растений (Кашин, Иванов, 2009а; Кашин, Убугунов, 2012; Сосорова и др., 2012; Азаренко, 2016; Кашин, 2016, 2018; Красницкий, Азаренко, 2017). Колебания влажности и температуры в течение вегетационного периода растений оказывают большое влияние на биологическую активность почв, величину окислительно-восстановительного потенциала, содержание в них подвижного марганца и темпы его поступления в растения.

Нормальная концентрация марганца в растениях колеблется в пределах 20–300 мг/кг, токсичная – 300–500 мг/кг (Cabata-Pendias, 2010). В региональных условиях содержание марганца в растениях подвержено большим колебаниям. В Новосибирской области содержание марганца в сель-

скохозайственных культурах колеблется от 10 до 80 мг/кг воздушно сухой массы (Ильин, Сысо, 2001). В Западном Забайкалье пределы колебаний марганца в зерне пшеницы составляют 20–58 мг/кг (Кашин, Убугунов, 2012), в кормовых травах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края – 3,0–5,3 мг/кг (Сергеев и др., 2017). Среднее содержание марганца в растительной продукции на территории России колеблется от 18,3 до 33,5 мг/кг (Аристархов и др., 2016). В настоящее время в стране не разработаны санитарные нормы, регламентирующие содержание марганца в продовольственных и кормовых растениях.

### ЛИТЕРАТУРА

- Аветисян А.А., Колесников В.А., Аветисян А.Т. Содержание тяжелых металлов (свинец и кадмий) в почвах и растениях нетрадиционных кормовых культур и их эколого-токсикологическая оценка в лесостепи Восточной Сибири. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017; 6: 17–27.
- Азаренко Ю.А. Содержание микроэлементов в растениях на почвах лесостепных и степных ландшафтов Омского Прииртышья. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016; 4: 65–74.
- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте. СПб: Изд-во ПИЯФ, 2008. 2016 с.
- Алексеев В.А., Юргенсон Г.А., Швыдка Н.В. О влиянии геохимической обстановки на полиметаллических месторождениях на биогеохимические и геоботанические особенности растений. Вестник Забайкальского государственного университета. 2017; 232(8): 4–18.
- Андреева И.В. Особенности накопления и распределения никеля в некоторых сельскохозяйственных культурах. Автореф. дис. канд. биол. наук. М., 2003. 18 с.
- 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.
- 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., Шуравилин А.В. Влияние сточных вод на загрязнение почв тяжелыми металлами. Плодородие. 2014; 4: 40 – 41.
- Васбиева М.Г., Косолапова А.И. Тяжелые металлы в системе почва – растение при утилизации осадков сточных вод в качестве удобрения. Агрохимия. 2018; 3: 83–89.
- Водяницкий Ю.Н. Превращение мышьяка в загрязненных почвах. Агрохимия. 2013; 4: 8 –96.
- Временный максимальный допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М. 1987. 5 с.
- Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. М.: Наука. 1993. 200 с.
- Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078 – 01. М.: ЗАО «РИТ – ЭКСПРЕСС». 2002. 216 с.
- Горбунова Н.С., Куликова Е.В. Цинк в системе почва – растение при длительном применении удобрений и мелиорантов в условиях Каменной степи. Плодородие. 2018; 4: 53–55.
- Елкина Г.Я. Поведение свинца в системе почва – растение в условиях Европейского Северо-Востока. Агрохимия. 2015; 4: 53–55.
- Елкина Г.Я. Реакция растений на полиэлементное загрязнение подзолистых почв тяжелыми металлами. Агрохимия. 2017; 7: 78–85.
- Ильин В.Б., Конарбаева Г.А. Формы мышьяка в почве и его накопление в органах растений. Агрохимия. 1993; 10: 54–57.
- 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.
- Кашин В.К., Иванов Г.М. Марганец в растительности Забайкалья. Агрохимия. 2009а. № 1. С. 38 – 44.
- Кашин В.К., Иванов Г.М. Ртуть в растениях Забайкалья. Агрохимия. 2009б; 3: 71–75.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа литературных источников установлены основные закономерности поступления микроэлементов в сельскохозяйственные растения. Содержание и темпы поступления микроэлементов в растения зависят от региональных климатических, почвенных условий произрастания, технологии возделывания и биологических особенностей растений. В земледелии для оптимизации питания растений микроэлементами, улучшения их элементного статуса и качественного состава продукции необходимо комплексное применение микро- и макроудобрений.



- Кашин В.К., Убугунов Л.Л. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье. *Агрохимия*. 2012; 4: 68–76.
- Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов в степной растительности Западного Забайкалья. *Агрохимия*. 2014; 6: 69–76.
- Кашин В.К. Содержание микроэлементов в луговых фитоценозах бассейна реки Селенги. *Агрохимия*. 2016; 9: 47–55.
- Кашин В.К. Содержание микроэлементов в люцерне в Западном Забайкалье. *Агрохимия*. 2018; 8: 46–51.
- Кашулина Г.М. Экстремальное загрязнение почв выбросами меди – никелевого предприятия на Кольском полуострове. *Почвоведение*. 2017; 7: 860–873.
- 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 университета*. 2017; 3: 74–79.
- Красницкий В.М., Азаренко Ю.А. Содержание микроэлементов в системе почва – растение в агроценозах Омского Прииртышья. *Плодородие*. 2017; 5: 28–31.
- Ларионов Г.А. Мониторинг содержания тяжелых металлов в системе «почва – растение – животное – продукция». *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017; 1: 9–14.
- Лопатина А.А. Влияние свинца кадмия на урожайность и качество сои. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2017; 7: 160–166.
- Лукин С.В. Мониторинг содержания хрома в сельскохозяйственных культурах и почвах. *Достижения науки и техники АПК*. 2011; 6: 54–55.
- Лукин С.В., Хижняк Р.М. Экологическая оценка содержания кобальта, никеля, хрома в лесостепных агроценозах Центрально-Черноземных областей. *Агрохимия*. 2016; 4: 37–45.
- Лукин С.В. Медь в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземной области. *Агрохимический вестник*. 2018а; 1: 16–20.
- Лукин С.В. Оценка макро- и микроэлементного состава растений гороха, белого люпина и сои. *Вестник РАСХН*. 2018б; 6: 76–79.
- Лукин С.В., Селюкова С.В. Экологическая оценка ртути и мышьяка в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземных областей. *Агрохимия*. 2018в; 8: 74–80.
- Минеев В.Г., Едемская Н.А., Карпова Е.А. Особенности динамики соединений меди в агроценозах на дерново-подзолистых почвах при длительном применении удобрений. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2015; 4: 3–19.
- Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чапыгин В.А., Мотузова Г.В. и др. Влияние аэротехногенных выбросов на содержание тяжелых металлов в травянистых растениях Нижнего Дона. *Почвоведение*. 2017а; 6: 759–768.
- Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Польшина Т.Н. и др. Тяжелые металлы в почвах и растениях устья реки Дон и побережья Таганрогского залива. *Почвоведение*. 2017б; 9: 1074–1089.
- 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 почвы – природные воды – растения Алтай. *Почвоведение*. 2009; 9: 1073–1082.
- Селюкова С.В. Оценка содержания тяжелых металлов в кукурузе и подсолнечнике. *Агрохимический вестник*. 2017; 5: 52–55.
- Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края. *Плодородие*. 2017; 3: 28–31.
- Серегина И.И. Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе: монография. М: Проспект, 2018. 208 с.
- Середа Н.А., Баязитова Р.И., Нафикова М.В., Баязитова Л.И. Тяжелые металлы в почвах и сельскохозяйственных культурах лесостепи Башкортостана. *Агрохимический вестник*. 2016; 4: 2–5.
- Слабко Ю.И., Лопатина А.А. Аккумуляция кадмия в почве и растениях сои под влиянием минеральных удобрений. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2016; 2: 19–23.
- Солодухина М.А. Мышьяк в растениях природных и антропогенных ландшафтов Шерловогорского рудного района Забайкальского края. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; 11: 377–382.
- Сосорова С.Б., Меркушева М.Г., Кашин В.К., Убугунов Л.Л. и др. Микроэлементный состав кормовых растений лесной зоны Прибайкалья. *Агрохимия*. 2012; 6: 53–65.
- Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Зависимость содержания цинка в растениях от его содержания в почвах Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013; 9: 20–23.
- Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В., Поскребова О.Г. Сбалансированность питания растений микроэлементами на территории колючей степи и лесостепи Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015; 1: 38–42.

Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней: В 4 т. Т. 3. Атомовитозы. М.: Гелиос, АРВ, 2002. 670 с.

Сысо А.И., Лебедева М.А., Худяев С.А., Червко А.С. и др. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермских полей Барнаульского Приобья. Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017; 3: 54–61.

Сычев В.Г., Аристархов А.Н., Харитонов А.Ф., Толстоусов В.П. и др. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления. М.: ВНИИА, 2009. 520 с.

Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2014. 194 с.

Krasnoyarsk, 660123, Russian Federation – удобрение. Под ред. М.М. Овчаренко. М., ЦИНАО, 1997. 290 с.

Фещенко В.П. Содержание тяжелых металлов в кормовых культурах Новосибирской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014; 10: 33–36.

Худяев С.А., Лебедева М.А. Оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях костреча безостого агроценозов Алтайского края и Кемеровской области. Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. 3: 62–69.

Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Нимбуева А.З. Никель лесостепных экосистем Западного Забайкалья. В системе порода – почва – гумусовые вещества – растения. Агрехимия. 2016; 3: 58–64.

Чимитдоржиева Г.Д., Нимбуева А.З., Чимитдоржиева Э.О. Кобальт и хром в системе: порода почва – растение – гумус (на примере Западного Забайкалья). Агрехимия. 2018; 3: 81–85.

Якименко В.Н., Конарбаева Г.А. Трансформация фонда тяжелых металлов серой лесной почвы в агроценозах. Агрехимия. 2016; 4: 61–69.

Li B.Y., Zhou D.M., Cang L., Zhang H.L., Fan X.H., Qin S.W. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. Soil Tillage Res. 2007; 96: 166–173.

Steiner C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., Vasconcelos de Macedo J.L., Blum W.E.H., Zech W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant Soil. 2007; 291: 275–290.

Cabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4<sup>th</sup>. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 548 p.

Dziubanek C., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., Hajok. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content. Ecotoxicol Environ Saf. 2015 Aug; 118: 183–189.

Dziubanek C., Baranowska R., Cwieliag-Drabek M., Spychata A., Riekut A., Rusin M., Hajok. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations. Ecotoxicol Environ Saf. 2017 Aug; 142: 8–13.

Jitender Pal, Mukal Bishnoi, Mandeep Kaur. Heavy metals in soil and vegetables and their effect on Health. Pal et al. September, 2017; 2(1).

## MICROCELLS IN AGRICULTURAL PLANTS (REVIEW)

**A.E. Pobilat<sup>1</sup>, E. I. Voloshin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Clinic of Modern Trichology, 172, Prospect of the Newspaper Krasnoyarsk Rabochy, Krasnoyarsk, 660123, Russian Federation

<sup>2</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Prospect Mira, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

**ABSTRACT.** The regularities of the content of arsenic, cadmium, mercury, lead, zinc, cobalt, nickel, copper, chrome and manganese in productive part of various crops yields are considered. It is shown that microcells concentration in plants depends on weather conditions, properties of soils and the contents of mobile form of elements in them, and fertilizers, technogenic load of agrolandscapes, biological and specific features of plants. Optimization of plants nutrition is necessary for the improvement of the quality of vegetable production on micro- and microcells' levels. Complex application of micro- and macrofertilizers is the basis of the improvement of microelement plants structure, the increase of qualitative parameters of production at preservation of its ecological safety. On the territories of local soils pollution by microcells it is necessary to carry out continuous monitoring of their contents in vegetable production and to develop the actions for the reduction their entering plants.

**KEYWORDS:** microcells, plants, contents, agrolandscapes, soils, fertilizers, optimization, monitoring, pollution, production quality.

## **REFERENCES**

- Alekseenko V.A., Yurgenson G.A., Shvydkaya N.V. O vliyaniy geohimicheskoy obstanovki na polimetallicheskikh mestorozhdeniyah na biogeohimicheskie i geobotanicheskie osobennosti rasteniy. Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2017; 232: 8: 4–8 [in Rus.].
- Alekseev Yu.V. Tyazhelye metally v agrolandshafte. SPb: Izd-vo PIYaF, 2008. 2016 s [in Rus.].
- Andreeva I.V. Osobennosti nakopleniya i raspredeleniya nikelya v nekotorykh sel'skohozyajstvennykh kul'turah. Avtoref. dis. kand. biol. nauk. M., 2003. 18 s [in Rus.].
- Aristarhov A., Lunev M., Pavlihina A. Ekologo-agrohimicheskaya ocenka sostoyaniya pahotnykh pochv Rossii po sodержaniyu v nih podvizhnykh form tyazhelykh metallov. Mezhdunarodnyy sel'skohozyajstvennyy zhurnal. 2016; 6: 42–47 [in Rus.].
- Avetisyan A.A., Kolesnikov V.A., Avetisyan A.T. Soderzhanie tyazhelykh metallov svinec i kadmij) v pochvah i rasteniyah netraditsionnykh kormovykh kul'tur i ih ekologo-toksikologicheskaya ocenka v lesostepi Vostochnoy Sibiri. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 6: 17–27 [in Rus.].
- Azarenko Yu.A. Soderzhanie mikroelementov v rasteniyah na pochvah lesostepnykh i stepnykh landshaftov Omskogo Priirytsh'ya. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; 4: 65–74 [in Rus.].
- Bushuev N.N., Shuravilin A.V. Vliyanie stochnykh vod na zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Plodorodie. 2014; 4: 40–41 [in Rus.].
- 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 Rus.].
- Chimitdorzhieva G.D., Cybenov Yu.B., Mil'heev E.Yu., Nimbueva A.Z. Nikel' lesostepnykh ekosistem Zapadnogo Zabajkal'ya. V sisteme poroda – pochva – gumusovye veshchestva – rasteniya. Agrohimiya. 2016; 3: 58–64 [in Rus.].
- Chimitdorzhieva G.D., Nimbueva A.Z., Chimitdorzhieva E.O. Kobal't i hrom v sisteme: poroda pochva – rastenie – gumus na primere Zapadnogo Zabajkal'ya). Agrohimiya. 2018; 3: 81–85 [in Rus.].
- Elkina G.Ya. Povedenie svinca v sisteme pochva – rastenie v usloviyakh Evropejskogo Severo – Vostoka. Agrohimiya. 2015; 4: 53–55 [in Rus.].
- Elkina G.Ya. Reakciya rasteniy na polielementnoe zagryaznenie podzolistykh pochv tyazhelymi metallami. Agrohimiya. 2017; 7: 78–85 [in Rus.].
- Feshchenko V.P. Soderzhanie tyazhelykh metallov v kormovykh kul'turah Novosibirskoj oblasti. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014; 10: 33–36 [in Rus.].
- Gamayurova V.S. Mysh'yak v ekologii i biologiii. M.: Nauka, 1993. 200 s [in Rus.].
- Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevykh produktov. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy. SanPiN 2.3.2.1078 – 01. M.: ZAO «RIT – EKSPRESS», 2002. 216 s [in Rus.].
- Gorbulova N.S., Kulikova E.V. Cink v sisteme pochva – rastenie pri dlitel'nom primenenii udobrenij i meliorantov v usloviyakh Kamennoj stepi. Plodorodie. 2018; 4: 53–55 [in Rus.].
- Hudyaev S.A., Lebedeva M.A. Ocenka sodержaniya tyazhelykh metallov v pochve i rasteniyah kostreca bezostogo agrocenozov Altajskogo kraja i Kemerovskoj oblasti. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 3: 62–69 [in Rus.].
- Il'in V.B. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva – rastenie. Novosibirsk: Izd – vo SO RAN, 2012. 220 s [in Rus.].
- Il'in V.B., Konarbaeva G.A. Formy mysh'yaka v pochve i ego nakoplenie v organah rasteniy. Agrohimiya. 1993; 10: 54–57 [in Rus.].
- 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 Rus.].
- Kashin V.K. Osobennosti nakopleniya mikroelementov v stepnoj rastitel'nosti Zapadnogo Zabajkal'ya. Agrohimiya. 2014; 6: 69–76 [in Rus.].
- Kashin V.K. Soderzhanie mikroelementov v lugovykh fitocenozah bassejna reki Selengi. Agrohimiya. 2016; 9: 47–55 [in Rus.].
- Kashin V.K. Soderzhanie mikroelementov v lyucerne v Zapadnom Zabajkal'e. Agrohimiya. 2018; 8: 46–51 [in Rus.].
- Kashin V.K., Ivanov G.M. Marganec v rastitel'nosti Zabajkal'ya. Agrohimiya. 2009a; 1: 38–44 [in Rus.].
- Kashin V.K., Ivanov G.M. Rtut' v rasteniyah Zabajkal'ya. Agrohimiya. 2009b; 3: 71–75 [in Rus.].
- Kashin V.K., Ubugunov L.L. Osobennosti nakopleniya mikroelementov v zerne pshenicy v Zapadnom Zabajkal'e. Agrohimiya. 2012; 4: 68–76 [in Rus.].
- Kashulina G.M. Ekstremal'noe zagryaznenie pochv vybrosami medno – nikellevogo predpriyatiya na Kol'skom poluostrove. Pochvovedenie. 2017; 7: 860–873 [in Rus.].
- Korolev A.N., Boev V.A. Tyazhelye metally v pochvah i ovoshchnykh kul'turah v zone vliyaniya cementnogo zavoda goroda Semej Respublika Kazahstan). Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017; 3: 74–79 [in Rus.].
- Krasnickij V.M., Azarenko Yu.A. Soderzhanie mikroelementov v sisteme pochva – rastenie v agrocenozah Omskogo Priirytsh'ya. Plodorodie. 2017; 5: 28–31 [in Rus.].
- Larionov G.A. Monitoring sodержaniya tyazhelykh metallov v sisteme «pochva – rastenie – zhivotnoe – produkcija». Vestnik Chuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017; 1: 9–14 [in Rus.].
- Lopatina A.A. Vliyanie svinca kadmiya na urozhajnost' i kachestvo soi. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; 7: 160–166 [in Rus.].
- Lukin S.V. Med' v agrocenozah lesostepi Central'no-Chernozemnoj oblasti. Agrohimicheskij vestnik. 2018a; 1: 16–20 [in Rus.].

- Lukin S.V. Monitoring sodержaniya hroma v sel'skohozyajstvennyh kul'turah i pochvah. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011; 6: 54–55 [in Rus.].
- Lukin S.V. Ocenka makro- i mikroelementnogo sostava rastenij goroha, belogo lyupina i soi. Vestnik RASHN. 2018b. № 6. S. 76 – 79 [in Rus.].
- Lukin S.V., Hizhnyak R.M. Ekologicheskaya ocenka sodержaniya kobal'ta, nikelya, hroma v lesostepnyh agrocenozah Central'no – Chernozemnyh oblastej. Agrohimiya. 2016. № 4. S. 37 – 45 [in Rus.].
- Lukin S.V., Selyukova S.V. Ekologicheskaya ocenka rtuti i mysh'yaka v agrocenozah lesostepi Central'no – Chernozemnyh oblastej. Agrohimiya. 2018.v. № 8. S. 74 – 80 [in Rus.].
- Mineev V.G., Edemskaya N.A., Karpova E.A. Osobennosti dinamiki soedinenij medi v agrocenozah na dernovo – podzolistyh pochvah pri dritel'nom primenenii udobrenij. Problemy agrohimii i ekologii. 2015. № 4. S. 3 – 19 [in Rus.].
- Minkina T.M., Fedorov Yu.A., Nevidomskaya D.G., Pol'shina T.N. i dr. Tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah ust'ya reki Don i poberezh'ya Taganrofskogo zaliva. Pochvovedenie. 2017b. № 9. S. 1074 – 1089 [in Rus.].
- Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Motuzova G.V. i dr. Vliyanie aerotekhnogennyh vybrasov na sodержanie tyazhelyh metallov v travyanistyh rasteniyah Nizhnego Dona. Pochvovedenie. 2017a. № 6. S. 759 – 768 [in Rus.].
- Puzanov A.V. Prioritetnye mikroelementy I, Se, Mn, Co, Cu, Zn, Hg) v nazemnyh ekosistemah Tuvinskoj gornoj oblasti. Avtoref. dis. d – ra biol. nauk. Novosibirsk, 2005. 43 s [in Rus.].
- Puzanov A.V., Baboshkina S.V. Mysh'yak v sisteme pochvy – prirodnye vody – rasteniya Altaya. Pochvovedenie. 2009. № 9. S. 1073 – 1082 [in Rus.].
- Selyukova S.V. Ocenka sodержaniya tyazhelyh metallov v kukuruze i podsolnechnike. Agrohimicheskij vestnik. 2017. № 5. S. 52 – 55 [in Rus.].
- Sereda N.A., Bayazitova R.I., Nafikova M.V., Bayazitova L.I. Tyazhelye metally v pochvah i sel'skohozyajstvennyh kul'turah lesostepi Bashkortana. Agrohimicheskij vestnik. 2016. № 4. S. 2 – 5 [in Rus.].
- Seregina I.I. Cink, selen i regulatory rosta v agrocenozе: monografiya. M: Prospekt, 2018. 208 s [in Rus.].
- Sergeev A.P., Lipatnikova T.Ya., Voloshin E.I. Tyazhelye metally v pochvah Minusinskoj lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja. Plodorodie. 2017. № 3. S. 28 – 31 [in Rus.].
- Slabko Yu.I., Lopatina A.A. Akkumulyaciya kadmiya v pochve i rasteniyah soi pod vliyaniem mineral'nyh udobrenij. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 2. S. 19 – 23 [in Rus.].
- Soloduhina M.A. Mysh'yak v rasteniyah prirodnyh i antropogennyh landshaftov Sherlovogorskogo rudnogo rajona Zabajkal'skogo kraja. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2014. № 11. S. 377 – 382 [in Rus.].
- Sosorova S.B., Merkusheva M.G., Kashin V.K., Ubugunov L.L. i dr. Mikroelementnyj sostav kormovyh rastenij lesnoj zony Pribajkal'ya. Agrohimiya. 2012. № 6. S. 53 – 65 [in Rus.].
- Spicyna S.F., Tomarovskij A.A., Ostval'd G.V. Zavisimost' sodержaniya cinka v rasteniyah ot ego sodержaniya v pochvah Altajskogo kraja. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 9. S. 20 – 23 [in Rus.].
- Spicyna S.F., Tomarovskij A.A., Ostval'd G.V., Poskrebkova O.G. Sbalansirovannost' pitaniya rastenij mikroelementami na territorii kolochnoj stepi i lesostepi Altajskogo kraja. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 1. S. 38 – 42 [in Rus.].
- Suslikov V.L. Geohimicheskaya ekologiya boleznej: V 4 t. T. 3. Atomovitozy. M.: Gelios, ARV, 2002. 670 s [in Rus.].
- Sychev V.G., Aristarhov A.N., Haritonova A.F., Tolstousov V.P. i dr. Intensifikaciya produkcionnogo processa rastenij. Priemy upravleniya. M.: VNIIA, 2009. 520 s [in Rus.].
- Syso A.I., Lebedeva M.A., Hudyaev S.A., Cherevko A.S. i dr. Makro- i mikroelementy v pochvah i kormovyh travah prifermskih polej Barnaul'skogo Priob'ya. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 3. S. 54 – 61 [in Rus.].
- Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. Tyazhelye metally i rasteniya. Petrozavodsk: Karel'skij NC RAN, 2014. 194 s [in Rus.].
- Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie – udobrenie. Pod red. M.M. Ovcharenko. M., CINAO, 1997. 290 s [in Rus.].
- Vasbieva M.G., Kosolapova A.I. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie pri utilizacii osadkov stochnyh vod v kachestve udobreniya. Agrohimiya. 2018. № 3. S. 83 – 89 [in Rus.].
- Vodyanickij Yu.N. Prevrashchenie mysh'yaka v zagryaznennyh pochvah. Agrohimiya. 2013. № 4. S. 87 – 96 [in Rus.].
- Vremennyj maksimal'no dopustimyj uroven' MDU) sodержaniya nekotoryh himicheskikh elementov i gossipola v kormah dlya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh i kormovyh dobavkah. M., 1987. 5 s [in Rus.].
- Yakimenko V.N., Konarbaeva G.A. Transformaciya fonda tyazhelyh metallov seroj lesnoj pochvy v agrocenozah. Agrohimiya. 2016. № 4. S. 61 – 69 [in Rus.].
- Steiner C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., Vasconcelos de Macedo J.L., Blum W.E.H., Zech W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil//Plant Soil. 2007; 291: 275 – 290.
- Cabata-Pendias A. Trase Elements in Soils and Plant. 4<sup>th</sup>. Boca Raton, FL: Crs Press, 2010. 548 p.
- Dziubanek C., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., Hajok. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content. Ecotoxicol Environ Saf. 2015 Aug; 118: 183 – 189.
- Dziubanek C., Baranowska R., Cwielag-Drabek M., Spychata A., Riekut A., Rusin M., Hajok. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations. Exotoxicol Environ Saf. 2017 Aug; 142: 8 – 13.
- Jitender Pal, Mukal Bishnoi, Mandeep Kaur. Heavy metals in soil and vegetables and their effect on Health. Pal et al. September, 2017; 2(1).