

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

СОДЕРЖАНИЕ НИКЕЛЯ В АГРОЦЕНОЗАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

А.Е. Побилат ^{1*}, Е.И. Волошин ²

¹ Красноярский государственный медицинский университет, г. Красноярск

² Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск

РЕЗЮМЕ. Исследовано содержание никеля в агроценозах Красноярского края. Валовое содержание никеля в почвах сельскохозяйственных угодий Красноярского края колеблется от 5,0 до 64,8 мг/кг. Содержание никеля в почвах подтаежной и лесостепной зон обусловлено неодинаковыми условиями их почвообразования, различиями в гранулометрическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Фоновое содержание никеля в почвах на площади 2,54 млн га равно 25,6 мг/кг, или 0,6 кларка. Количество подвижного никеля в почвах – от 0,2 до 0,5 мг/кг, или 0,6–2,2% от валового содержания. Содержание никеля в сельскохозяйственных культурах определяется типом почв, их плодородием, погодными условиями и биологическими особенностями растений. Концентрация никеля в растениях колеблется от 0,13 до 2,38 мг/кг при среднем значении 0,60 мг/кг. Из зерновых культур более высокое содержание никеля наблюдается в овсе. Его концентрация в зерне в 4,2–6,4 раза выше, чем у яровой пшеницы, ярового ячменя и озимой ржи и превышает МДУ. Повышенным содержанием никеля характеризуются кочаны капусты, зеленая масса кукурузы, сено многолетних бобовых трав и естественных кормовых угодий, у которых концентрация элемента не превышает принятых санитарных норм. Содержание никеля в волосах жителей Красноярского края составляет от 0,17 до 0,24 мг/кг и является благополучным на фоне других субъектов Сибирского федерального округа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: никель, почва, плодородие, содержание, кларк, погодные условия, культуры.

ВВЕДЕНИЕ

Никель является незаменимым компонентом уреазы и интенсивно потребляется клубеньковыми бактериями бобовых растений. Он стимулирует процессы нитрификации и минерализации соединений азота, оказывает положительное влияние на активность нитратредуктазы, играющей важную роль в восстановлении нитратов. Этот элемент способствует улучшению процесса фотосинтеза, повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды и увеличивает продуктивность различных сельскохозяйственных культур.

Никель легко поступает и накапливается в растениях. При никелевом токсикозе в растениях подавляются процессы фотосинтеза, транспирации и появляется хлороз. Интенсивность поглощения никеля определяется типом почв, их агрофизическими и агрохимическими свойствами

и видовыми особенностями растений (Кашин, 2014). Наибольшее количество никеля содержится в корнях и продуктивной части растений. По способности накапливать никель сельскохозяйственные культуры подразделяются на две группы. В первую группу (с низким содержанием никеля в урожае) входят пшеница, ячмень, озимая рожь, во вторую (с высоким накоплением) – бобовые культуры, овес. Накопление никеля в генеративных органах этих культур связано с их биологическими особенностями и высокой подвижностью элемента в почвах и растениях, особенно в условиях повышенной кислотности (Андреева, 2003).

Содержание никеля в почвенном покрове определяется многими факторами почвообразования, среди которых важнейшим является химический состав почвообразующих пород. Различия в содержании никеля в верхних горизон-

* Адрес для переписки:

Побилат Анна Евгеньевна

E-mail: pobilat_anna@mail.ru

тах связаны с неодинаковыми условиями их почвообразования и разным гранулометрическим составом почв (Бушуев, Шуравин, 2014; Бугаев, 2015; Самонова и др., 2015; Чимитдоржиева и др., 2015; Лукин, Хижняк, 2016). В тяжелосуглинистых и глинистых почвах содержание никеля выше по сравнению со среднесуглинистыми и легкосуглинистыми (Сергеев и др., 2017). Среднее валовое содержание никеля в верхнем горизонте почв Забайкалья равно 28 мг/кг (Кашин, Иванов, 1995) и в Западной Сибири – 42 мг/кг (Сысо, 2007).

В соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83, никель относится ко второму классу опасности. Этот элемент является одним из приоритетных загрязнителей окружающей среды. Загрязнение почвенного покрова никелем происходит в результате выбросов предприятий черной и цветной металлургии, машино- и приборостроения, сжигания топлива и бытовых отходов, ненормированного применения в качестве удобрений осадков сточных вод (Просянкин, 2014; Kashulina, de Caritat, Reimann, 2014; George et al., 2015; Степанова и др., 2016; Ozkul, 2016; Toth et al., 2016; Замотаев и др., 2017; Кашулина, 2017, 2018; Rovira et al., 2018).

У животных никель участвует в организации и функционировании ДНК, РНК, белков, в биосинтезе биологически активных соединений. При дефиците никеля у животных отмечается задержка роста, снижается содержание гемоглобина, нарушаются репродуктивные функции и наблюдается повышенная летальность. В биогеохимических провинциях, обогащенных никелем, у овец проявляется эндемическая катаракта.

В организме человека профессиональная интоксикация никелем сопровождается литейной лихорадкой, ринитом, кровотечениями, отеком легких, токсической пневмонией, гепатитом, циррозом, дерматитом, экземой, раком легких (Сусликов, 2002).

Красноярский край является крупнейшим промышленным центром Восточной Сибири с развитой цветной металлургией. По выбросам загрязняющих веществ этот регион занимает одно из первых мест в России. Из атмосферы поллютанты поступают в почвы сельскохозяйственных угодий.

В связи с усилением техногенной нагрузки на агроценозы возникает необходимость в проведении постоянного эколого-токсикологичес-

кого мониторинга за их накоплением в почвах и растениях.

Цель исследования – экологическая оценка содержания никеля в агроценозах Красноярского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эколого-токсикологическое картографирование почв сельскохозяйственных угодий проводилось в подтаежной и лесостепной зонах земель сельскохозяйственной части Красноярского края. В структуре почвенного покрова региона преобладают черноземы, серые лесные, дерново-подзолистые и интразональные почвы (Крупкин, 2002). Провинциальной особенностью почв сельскохозяйственных угодий края являются их значительная комплексность, повышенная гумусированность, укороченность аккумулятивного горизонта и пониженная степень оподзоленности. Среди пахотных угодий преобладают глинистые (30,7%) и тяжелосуглинистые (45,4%) почвы. Площади средне- и легкосуглинистых почв составляют 23,9%. Средневзвешенное содержание гумуса в пахотном горизонте почв по природным зонам края колеблется от 5 до 9%, нитратного азота – 4–20 мг/кг, подвижного фосфора – 93–189 мг/кг и обменного калия – 74–120 мг/кг, реакция среды – 4,8–6,0.

Климат Красноярского края характеризуется резкой континентальностью. Среднегодовая сумма осадков в подтаежной зоне составляет 400–520 мм, в лесостепной – 350–480 мм. Среднегодовая температура минус 2°. Среднемесячная температура июля от 17,6 до 18,2° и января от –16,8 до –21,8°. Зима суровая и продолжительная (180–200 дней). Глубина промерзания почвы изменяется от 1,5 до 3 м, высота снежного покрова не превышает 30–40 см. Продолжительность вегетационного периода растений колеблется от 110 до 130 дней. Средняя многолетняя сумма активных температур выше 10 °С варьирует в пределах 1550–1900°.

Почвенные и растительные образцы отбирали в соответствии с принятыми рекомендациями (Методические указания..., 2003): смешанный образец почв – из пахотного горизонта элементарного участка площадью 30–100 га; объединенный образец растений формировали во время уборки урожая из 20 точечных проб с типичным состоянием развития полевых культур. Определение валового содержания никеля в образцах

проводили по методике ЦИНАО (Методические указания..., 1992), согласно которой соединения металлов разрушаются последовательным двукратным кипячением с азотной кислотой, обработкой концентрированным пероксидом водорода и соответственно двукратным фильтрованием. Подвижную форму никеля в почвах изучали на реперных участках локального мониторинга, расположенных в основных природных зонах края. Ее извлекали при помощи ацетатно-аммонийного буферного раствора с рН 4,8 по Крупскому и Александровой. Содержание никеля в растениях выявляли после мокрого озоления. Определение никеля в почвенных и растительных образцах проводили атомно-абсорбционным методом. Статистическую обработку полученных данных осуществляли по Дмитриеву (2009).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для почв сельскохозяйственных угодий Красноярского края характерна неоднородность в распределении никеля. Различия в содержании никеля в почвах связаны с неодинаковой концентрацией элемента в почвообразующих породах (табл. 1).

Максимальное содержание никеля в почвах превосходит минимальную концентрацию в 13 раз. Наиболее высокое содержание никеля отмечается в почвах Назаровской и Канской лесостепных зон. Пониженной концентрацией никеля характеризуются почвы Минусинской лесостепной зоны. Из-за облегченного гранулометрического состава концентрация никеля в почвах южной зоны края в 1,4–1,9 раза ниже, чем в других районах края. Среднее содержание никеля в

черноземах равно 27,4 мг/кг, интразональных – 26,2 мг/кг, серых лесных – 25,7 мг/кг и дерново-подзолистых – 25,6 мг/кг. Фоновое содержание никеля в почвах на площади 2,54 млн га равно 25,6 мг/кг, или 0,6 кларка. Почвы сельскохозяйственных угодий Красноярского края обеднены никелем в сравнении с аналогами из других регионов страны (Кашин, Иванов, 1995; Сысо, 2007). На обследованной территории не обнаружено загрязнения почв никелем.

Содержание подвижного никеля в региональных почвах зависит от климатических условий, агрофизической и агрохимической характеристики почв, валового количества и вида растительности. На реперных участках локального мониторинга количество подвижного никеля в черноземах в разные годы колебалось от 0,5 до 2,5 мг/кг, серых лесных – 0,3–2,3 мг/кг, дерново-подзолистых – 0,2–2,0 мг/кг и пойменных почвах – 0,2–2,1 мг/кг, что составляет 0,6–2,2% от валового содержания. Эта концентрация подвижного никеля в почвах не превышала принятых санитарных норм (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041 – 06).

Никель относится к группе химических элементов, которые слабо поглощаются растениями. Интенсивность поглощения никеля растениями определяется типом почв, их свойствами, погодными условиями и биологическими особенностями сельскохозяйственных культур. На содержание никеля в растительной продукции большое влияние оказывает уровень плодородия почв. При техногенном загрязнении почв содержание никеля в растениях повышается (Минкина и др., 2017).

Таблица 1. Валовое содержание никеля в 0–20 см слое почв Красноярского края, мг/кг

Природная зона	Обследованная площадь, тыс. га	Число образцов, шт.	Min–max	Среднее
Подтаежная	104,3	875	8,5–40,7	26,0±1,1
Красноярская лесостепь	177,3	3059	8,2–55,4	25,7±1,8
Ачинско-Боготольская лесостепь	143,4	1440	6,8–37,0	24,4±1,3
Назаровская лесостепь	196,4	2431	15,9–48,7	31,4±2,2
Чулымно-Енисейская лесостепь	414,1	5946	9,0–64,8	26,6±1,2
Канская лесостепь	915,2	4323	5,0–57,0	28,4±2,6
Минусинская лесостепь	585,9	3088	5,9–43,3	16,9±1,1
По краю	2540,0	21162	5,0–64,8	25,6±1,6
НСРО,1, мг/кг		1,71		

Примечание: ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) никеля – 40–80 мг/кг (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042 – 06).

Таблица 2. Содержание никеля в сельскохозяйственных культурах, мг/кг сырой массы

Культура	Исследованная часть	Min–max	Среднее
Яровая пшеница	Зерно	0,32–0,67	0,50±0,22
Яровой ячмень	Зерно	0,34–0,74	0,40±0,12
Овес	Зерно	2,19–2,38	2,29±0,80
Озимая рожь	Зерно	0,32–0,40	0,36±0,10
Капуста	Кочан	0,26–0,78	0,52±0,25
Морковь столовая	Корнеплод	0,18–0,65	0,42±0,13
Свекла столовая	Корнеплод	0,15–0,21	0,18±0,08
Картофель	Клубень	0,20–0,25	0,23±0,09
Кукуруза на силос	Зеленая масса	0,19–0,87	0,79±0,31
Однолетние травы	Зеленая масса	0,13–0,76	0,52±0,25
Многолетние травы	Зеленая масса	0,60–0,69	0,62±0,32
Многолетние бобовые травы	Сено	0,43–1,17	0,80±0,42
Многолетние злаковые травы	Сено	0,28–1,13	0,66±0,24
Естественные кормовые угодья	Сено	0,34–1,50	0,80±0,44
НСРО,1, мг/кг		0,12	

П р и м е ч а н и е : предельно допустимый уровень содержания никеля в кормовом зерне – 1 мг/кг, грубых и сочных кормах – 3 мг/кг (Временный максимально допустимый уровень (МДУ)..., 1987).

Содержание никеля в сельскохозяйственных культурах земледельческой части края характеризуется большим разнообразием (табл. 2). На концентрацию никеля в агроценозах оказывают влияние условия произрастания растений, которые в значительной степени отличаются по природным зонам края. В региональных условиях на поступление никеля в растения оказывают влияние свойства почв, динамика почвенных процессов, химические свойства металла, состояние и трансформация его соединений, видовые и сортовые различия, фаза развития растений, технология выращивания сельскохозяйственных культур. Резко континентальный климат Красноярского края, своеобразные природные условия земледельческой части региона оказывают большое влияние на температурный, водный режим, плодородие почв и развитие в них микробиологических процессов. Частые весенние и летние засухи, неблагоприятное сочетание высокой температуры, низкой влажности почвы и воздуха ухудшают процессы мобилизации доступных питательных веществ и уменьшают их поступление в растения. Содержание никеля в разных сельскохозяйственных культурах колеблется от 0,13 мг/кг до 2,38 мг/кг. Среднее содержание ни-

келя в растениях равняется 0,60 мг/кг. Из зерновых культур более высокое содержание никеля наблюдается в овсе. У этой культуры концентрация никеля в зерне в 4,2–6,4 раза выше, чем у яровой пшеницы, ячменя, озимой ржи и превышает МДУ. Повышенное содержание никеля в зерне овса отмечается также и в других регионах страны, удаленных от каких-либо источников загрязнения (Андреева, 2003). Вероятно, способность овса накапливать никель в продуктивной части урожая связана с биологическими особенностями этой культуры. Из овощных культур и картофеля больше содержит никеля капуста белокочанная. Среди кормовых культур повышенным средним содержанием никеля характеризуются зеленая масса кукурузы, сено многолетних бобовых трав и естественных угодий.

По данным исследований, проведенных в Красноярском крае в 2004–2010 гг., среднее содержание никеля в волосах у детей (3–15 лет) составляет 0,17–0,19 мг/кг и взрослых (25–50 лет) – 0,22–0,24 мг/кг (Элементный статус..., 2014). Такая концентрация никеля в волосах у жителей Красноярского края является благополучной на фоне других субъектов Сибирского федерального округа.

ВЫВОДЫ

Валовое содержание никеля в почвах сельскохозяйственных угодий Красноярского края колеблется от 5,0 до 64,8 мг/кг. Содержание и пространственное распределение никеля в почвах определяется неодинаковыми условиями почвообразования, различиями в гранулометрическом составе и концентрации элемента в почвообразующих породах. Фоновое содержание никеля в почвах на площади 2,54 млн га равно 25,6 мг/кг, или 0,6 кларка.

Количество подвижного никеля в почвах колеблется от 0,2 до 2,5 мг/кг, или 0,6–2,2% от валового содержания.

Концентрация никеля в растениях зависит от уровня плодородия почв, погодных условий и биологических особенностей сельскохозяйственных культур. В урожае полевых культур содержание никеля варьирует от 0,13 до 2,38 мг/кг при среднем значении 0,60 мг/кг. Из зерновых культур более высокое содержание никеля наблюдается у овса. Повышенной концентрацией никеля характеризуются кочаны капусты, зеленая масса кукурузы, сено многолетних бобовых трав и естественных кормовых угодий.

Содержание никеля в волосах населения Красноярского края колеблется от 0,17 до 0,24 мг/кг и является благополучным на фоне других субъектов Сибирского федерального округа

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева И.В. Особенности накопления и распределения никеля в некоторых сельскохозяйственных культурах: Автореф. дис. канд. биол. наук. М., 2003. 16 с.
- Бугаев С.В. Геохимическое районирование пахотных почв Республики Мордовия по содержанию тяжелых металлов. Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 3. С. 28–32.
- Бушуев Н.Н., Шуравин А.В. Влияние осадков сточных вод на загрязнение почв тяжелыми металлами. Плодородие. 2014. № 4. С. 40–41.
- Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. М., 1987. 5 с.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.
- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М: Изд-во «Книжный дом Либроком», 2009. 328 с.
- 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. С. 370–384.
- Кашин В.К., Иванов Г.М. Никель в почвах Забайкалья. Почвоведение. 1995. № 10. С. 1291–1298.
- Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов степной растительностью Западного Забайкалья. Агрохимия. 2014. № 6. С. 69–76.
- Кашулина Г.М. Экстремальное загрязнение почв выбросами медно – никелевого предприятия на Кольском полуострове. Почвоведение. 2017. № 7. С. 860–873.
- Кашулина Г.М. Мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами в окрестностях медно–никелевого предприятия на Кольском полуострове. Почвоведение. 2018. № 4. С. 493–505.
- Крупкин П.И. Черноземы Красноярского края. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2002. 332 с.
- Лукин С.В., Хижняк Р.М. Экологическая оценка содержания кобальта, никеля и хрома в лесостепных агроценозах Центрально-Черноземных областей. Агрохимия. 2016. № 4. С. 37–45.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., ЦИНАО, 1992. 62 с.
- Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения. М, ФБГУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
- Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Мотузова Г.В. и др. Влияние аэротехногенных выбросов на содержание тяжелых металлов в травянистых растениях Нижнего Дона. Почвоведение. 2017. № 6. С. 759–768.
- Просьянников В.И. Эколого-агрохимическая характеристика почв пашни юго-востока Западной Сибири. Плодородие. 2014. № 5. С. 41–43.
- Самонова О.А., Геннадиев А.Н., Кошовский Т.С., Жидкин А.П. Металлы в почвах малого водосбора лесостепной зоны (Среднерусская возвышенность). Почвоведение. 2015. № 6. С. 675–684.
- Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края. Плодородие. 2017. № 3. С. 28–31.
- Степанова Л.П., Яковлева Е.В., Писарева А.В. Экологическая характеристика антропогенно-трансформированных почв, загрязненных тяжелыми металлами. Агрохимия. 2016. № 12. С. 60–67.
- Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. В 4-х тт. Т. 3. Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с.
- Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах За-

падной Сибири / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Нимбуева А.З. и др. Никель лесостепных экосистем Западного Забайкалья в системе порода – почва – гумусовые вещества – растения. Агрохимия. 2016. № 3. С. 58–64.

Элементный статус населения России. Часть 5. Элементный статус населения Сибирского и Дальневосточного федеральных округов / Л.И. Афтонас и др.; под ред. А.В. Скального, М.Ф. Киселева. СПб: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2014. 544 с.

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

George J, Mastro RE, Ram LG, Das TB, Pout TK, Mohan M. Human exposure risks for metals in soil near a coal – fired power – generating plant. Arch Environ Toxicol. 2015, 68(3):451–61.

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

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

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

THE CONTENT OF NICKEL IN AGROCENOSIS OF KRASNOYARSK REGION

A.E. Pobilat¹, E.I. Voloshin²

¹ Krasnoyarsk State Medical University, 660022, Krasnoyarsk, Partisan Zheleznyak St., 1, Russia

² Krasnoyarsk State Agrarian University, 6660049, Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, Russia

ABSTRACT. The gross content of nickel in soils of farm land of Krasnoyarsk Region fluctuates from 5.0 to 64.8 mg/kg. The content of nickel in the soils of subtaiga, forest-steppe and steppe zones is caused by unequal conditions of their soil formation, distinctions in particle size distribution and concentration of the element in bedrock. The maximum content of nickel in soils 13 times surpasses the minimum concentration. The highest content of nickel is noted in the soils of Nazarovsky and Kansk forest-steppe zones. Due to facilitated particle size distribution the lowered concentration of nickel characterizes the soils of Minusinsk forest-steppe. Average content of nickel is equal in chernozyoms – 27.4 mg/kg, intrazonal – 26.2, gray forest – 25.7 and sod-podsolic – 25.6 mg/kg. The background content of nickel on the area of 2.54 million hectares is equal in soils to 25.6 mg/kg or 0.6 Clark. The soils of Krasnoyarsk Region become poor in nickel in comparison with Clark and analogs from other regions of the country. In the surveyed territory the pollution of soils with nickel is not found. The content of nickel in crops is defined by the level of fertility of soils, weather conditions and biological features of plants. The concentration of nickel in crops fluctuates from 0.13 to 2.38 mg/kg average value is 0.60 mg/kg. From grain crops higher average content of nickel (2.29 mg/kg) is observed in oats. Its concentration in grain is 4.2–6.4 times higher, than in spring wheat, barley, winter rye and exceeds MDI. The raised content of nickel is present in cabbage heads, green material of corn, hay of perennial bean grass and natural fodder grounds in which the concentration of the element does not exceed the accepted sanitary standards. The content of nickel in the hair of inhabitants of Krasnoyarsk Region fluctuates from 0.17 to 0.24 mg/kg and is safe against other subjects of Siberian Federal District.

KEYWORDS: soil, fertility, nickel, contents, Clark, weather conditions, crops.

REFERENCES

- Andreeva I.V. Osobennosti nakopleniya i raspredeleniya nikelya v nekotoryh sel'skohozyajstvennyh kul'turah: Avtoref. dis. kand. biol. nauk. M., 2003. 16 s. [in Russ.].
- Bugaev S.V. Geohimicheskoe rajonirovanie pahotnyh pochv Respubliki Mordoviya po sodержaniyu tyazhelyh metallov. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015. T. 29. № 3. S. 28–32. [in Russ.].
- Bushuev N.N., Shuravin A.V. Vliyanie osadkov stochnyh vod na zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Plodorodie. 2014. № 4. S. 40–41 [in Russ.].
- Vremennyj-maksimalno-dopustimyj uroven (MDU) sodержaniya nekotoryh himicheskikh elementov igossipola v kormah dlya selskohozyajstvennyh zhivotnyh i kormovyh dobavkah. M., 1987. 5 s [in Russ.].
- Gigienicheskie normativy GN 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve [in Russ.].

- Gigienicheskie normativy GN 2. 1.7.2042-06. Orientirovochno-dopustimye koncentracii (ODK) himicheskikh veshchestv v pochve [in Russ].
- Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M: Izd-vo «Knizhnyj dom Librokom», 2009. 328 s [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. S. 370–384 [in Russ.].
- Kashin V.K., Ivanov G.M. Nikel' v pochvah Zabajkal'ya. Pochvovedenie. 1995. № 10. S. 1291–1298 [in Russ.].
- Kashin V.K. Osobennosti nakopleniya mikroelementov stepnoj rastitel'nost'yu Zapadnogo Zabajkal'ya. Agrohimiya. 2014. № 6. S. 69–76 [in Russ.].
- Kashulina G.M. Ekstremal'noe zagryaznenie pochv vybrosami medno-nikelevogo predpriyatiya na Kol'skom poluostrove. Pochvovedenie. 2017. № 7. S. 860–873 [in Russ.].
- Kashulina G.M. Monitoring zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami v okrestnostyah medno-nikelevogo predpriyatiya na Kol'skom poluostrove. Pochvovedenie. 2018. № 4. S. 493–505 [in Russ.].
- Krupkin P.I. Chernozemy Krasnoyarskogo kraja. Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGU, 2002. 332 s [in Russ.].
- Lukin S.V., Hizhnyak R.M. Ekologicheskaya ocenka sodержaniya kobal'ta, nikelya i hroma v lesostepnyh agrocenozah Central'no-Chernozemnyh oblastej. Agrohimiya. 2016. № 4. S. 37–45 [in Russ.].
- Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelyh metallov v pochvah sel'skohozyajstvennyh ugodij i produkcii rastenievodstva. Izd. 2-e, pererab. i dop. M., CINAO, 1992. 62 s [in Russ.].
- Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M, FBGU «Rosinformagrotekh», 2003. 240 s [in Russ.].
- Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Motuzova G.V. i dr. Vliyanie aerotekhnogennyh vybrosov na sodержanie tyazhelyh metallov v travyanistyh rasteniyah Nizhnego Dona. Pochvovedenie. 2017. № 6. S. 759–768 [in Russ.].
- Prosyannikov V.I. Ekologo-agrohimicheskaya harakteristika pochv pashni yugo-vostoka Zapadnoj Sibiri. Plodorodie. 2014. № 5. S. 41–43 [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. S. 675–684 [in Russ.].
- 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 Russ.].
- Stepanova L.P., Yakovleva E.V., Pisareva A.V. Ekologicheskaya harakteristika antropogenno-transformirovannyh pochv, zagryaznennyh tyazhelymi metallami. Agrohimiya. 2016. № 12. S. 60–67 [in Russ.].
- Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней: В 4 т. Т 3. Атомовитозы. М.: Гелиос АРВ, 2002. 670 с. (Suslikov V.L. Geohimicheskaya ekologiya boleznej: V 4 t. T 3. Atomovitozy. M.: Gelios ARV, 2002. 670 s [in Russ.]).
- Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh ehlementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri / Ros. akad. nauk, Sib. Otd-nie, In-t pochvovedeniya i agrohimii SO RAN. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2007. 277 s [in Russ.].
- Chimitdorzhieva G.D., Cybenov Yu.B., Mil'heev E.Yu., Nimbueva A.Z. i dr. Nikel' lesostepnyh ekosistem Zapadnogo Zabajkal'ya v sisteme poroda – pochva – gumusovye veshchestva – rasteniya. Agrohimiya. 2016. № 3. S. 58–64 [in Russ.].
- Elementnyj status naseleniya Rossii. Chast' 5. Elementnyj status naseleniya Sibirskogo i Dal'nevostochnogo federal'nyh okrugov/L.I. Aftonas i [dr.]; pod red. A.V. Skal'nogo, M.F. Kiseleva. SPb: Medkniga «EHLBI–SPb», 2014. 544 s [in Russ.].
- Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis. Atmospheric Environment. 2014, 89:672–682.
- George J, Mastro RE, Ram LG, Das TB, Pout TK, Mohan M. Human exposure risks for metals in soil near a coal – fired power – generating plant. Arch Environ Toxicol. 2015, 68(3):451–61.
- Ozkul C. Heavy metal contamination in soils around the Tancbilek Thermal Power Plant (Kutahya, Turkey). Environ Monit Assees. 2016, 188(5) 284.
- Toth G, Hermann T, Szatmari G, Pasztor L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. Science the Total Environment 565 (2016) 1054–1062.
- Rovira J, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL. Concentrations of trasse elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste in cinerator in Girona (Catalonia, Spain). Human healths risks for the population living in the neighborhood. Sci Total Environ. 2018, 630:34–45.