

УДК 631.41 : 631.81

doi: 10.17223/19988591/27/2

Г.А. Конарбаева, В.Н. Якименко

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Изменение содержания галогенов в системе почва – растение в условиях агроценозов

Проведенные исследования свидетельствуют о важной роли оптимизации минерального питания растений с целью получения высоких устойчивых урожаев. Регулярное длительное использование минеральных удобрений (NPK) оказывает влияние на содержание галогенов в системе почва – растение. Постоянное внесение суперфосфата привело к некоторому накоплению фтора в верхней части профиля почвы без повышения ПДК, а хлорида калия – к очень незначительному накоплению хлора, что обусловлено химическими свойствами этого аниона. Концентрация галогенов в ботве картофеля была выше, чем в клубнях. Это свидетельствует о том, что в зеленой массе растений галогены аккумулируются активней, чем в продуктивной части.

Ключевые слова: агроценоз; почва; растения; галогены.

Введение

Изучение действия минеральных удобрений на компоненты системы почва – растение в агроценозе представляет значительный интерес с позиций почвоведения, агрохимии и экологии. Мировой опыт земледелия показывает, что на долю удобрений приходится не менее трети прибавки урожаев сельскохозяйственных культур [1] и получение стабильно высоких урожаев без использования удобрений невозможно. Однако действие удобрений на почву и растения носит двойственный характер: на положительный эффект от внесения удобрений накладывается негатив из-за присутствия в них в виде примесей различных сопутствующих химических элементов, в том числе и галогенов. Галогены являются необходимыми элементами для нормальной жизнедеятельности человека, животных и большинства растений, но чрезмерное увеличение их концентраций в почвах и растениях может представлять экологическую опасность [2].

В ряде проведенных исследований было изучено накопление хлора и фтора в почвах и выращиваемых культурах в связи с использованием минеральных удобрений и мелиорантов [3–6]. При этом полученные результаты носят зачастую противоречивый характер, а установленные в одном регионе закономерности накопления и распределения галогенов в агроценозах не подтверждаются в другом. В этой связи выявление региональной специфики

влияния длительного применения минеральных удобрений на фонд галогенов в агроценозах имеет важное агрохимическое и экологическое значение.

Несмотря на актуальность подобных исследований для почвоведения, агрохимии и экологии, данная тематика в почвенно-климатических условиях Западной Сибири изучена недостаточно, что и обусловило необходимость проведения наших исследований, цель которых – изучить изменения содержания галогенов в системе почва – растение в условиях агроценоза при длительном применении минеральных удобрений.

Материалы и методики исследования

Объектом исследования являлась система почва – растение действующего более четверти века многолетнего полевого опыта, расположенного в лесостепной зоне юга Западной Сибири. Опыт был заложен в 1988 г. на целинной серой лесной почве со следующими характеристиками (слой 0–20 см): содержание гумуса – 4,9%, физической глины – 30,8%, емкость катионного обмена – 21,1 мг-экв./100 г; валовое содержание азота – 0,22%, фосфора – 0,15 (подвижного – 18 мг/100 г), калия – 1,5% (обменного – 12 мг/100 г); почвообразующая порода – лессовидный карбонатный суглинок. Закладку и проведение опыта осуществляли по общепринятой методике [7]; повторность в опытах четырехкратная. Первые годы выращивали овощные культуры в севообороте [8], а с 2000 г. – картофель.

Схема опыта, ежегодные дозы минеральных удобрений под картофель и урожайность клубней за последние годы приведены в табл. 1. Удобрения в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия вносили ежегодно весной перед посадкой клубней.

Осенью 2013 г. (в период уборки урожая) с рассматриваемых вариантов опыта почвенным буром были отобраны образцы почвы из различных слоев до глубины 1 м (0–20, 20–40, 40–60, 60–80 и 80–100 см); с соответствующих делянок также были отобраны образцы растительной продукции – клубни и ботва картофеля.

В почвенных образцах содержание подвижных (водорастворимых) форм галогенов определяли следующими методами: фтор – на потенциометре, хлор – по Мору, йод – кинетическим роданидно-нитритным методом [9]. В растительных образцах содержание галогенов определяли: фтор – спектрофотометрически с ализаринкомплексом после сухого озоления [10], хлор – по методу Фольгарда, йод – по [9].

Включение в исследование йодид-аниона обусловлено наличием общих черт в геохимии йода и легкорастворимого KCl. Аккумуляция подобных солей в почве часто приводит к накоплению и йода [11]. Неодинаковая способность органов культурных растений концентрировать химические элементы обусловила необходимость проведения раздельного анализа галогенов в клубнях и ботве картофеля.

Результаты исследования и обсуждение

Полученные в опыте результаты (см. табл. 1) свидетельствуют о безальтернативности использования минеральных удобрений для обеспечения высокой продуктивности агроценозов. В различные по гидротермическим условиям годы наивысшая урожайность картофеля в опыте стабильно отмечалась в вариантах со сбалансированными дозами удобрений, тогда как в контрольном и фоновом вариантах растения явно не могли реализовать свои потенциальные возможности. Между урожаем клубней и урожайностью надземной биомассы (ботвы) отмечалась прямо пропорциональная зависимость с достаточно тесной корреляционной связью ($r = 0,8-0,9$). Однако ботва картофеля в вариантах опыта с оптимизированным минеральным питанием (NPK3–5) обеспечивала более интенсивный и эффективный продукционный процесс растений по сравнению с контрольным и фоновым вариантами. Так, соотношение клубни:ботва в вариантах опыта «без удобрений» и NP было 2,1–2,3, тогда как при внесении NPK3–5 оно составляло 2,8–3,4, т.е. на единицу надземной биомассы формировался больший урожай клубней.

Таблица 1 / Table 1

Схема полевого опыта, дозы минеральных удобрений
и урожайность картофеля в опыте /

Scheme of field experience, doses of fertilizers and potato yield in the experiment

Вариант опыта / Variant of the experiment	Дозы, кг д.в./га / Doses, kg of active ingredient/ha			Урожай клубней, ц/га / Potato yield, dt/ha					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	2009	2010	2011	2012	2013	Среднее/ Average
Без удобрений / Without fertilizers	–	–	–	78	62	81	84	95	80
NP (фон) (background)	100	60	–	125	78	95	80	172	110
NPK1	100	60	30	203	135	178	92	180	162
NPK2	100	60	60	291	182	239	133	302	233
NPK3	100	60	90	298	187	253	144	310	243
NPK4	100	60	120	309	187	274	148	306	249
NPK5	100	60	150	342	202	312	162	312	270
HCP ₀₅				32	23	24	22	35	

Функционирование циклов различных галогенов в почве в немалой степени зависит от ряда почвенных параметров (гумус, полуторные оксиды и др.), являющихся геохимическими барьерами для этих элементов. Проведенные ранее исследования [12] показали, что при сельскохозяйственном использовании исследуемой почвы содержание гумуса в верхнем горизонте (0–20 см) снизилось в целом по опыту примерно на 20–22% (по сравнению

с целиной), однако в вариантах НРК содержание гумуса было несколько выше, чем в контрольном и фоновом вариантах, очевидно, за счет более интенсивного поступления в почву растительных остатков. Содержание обменных катионов (Ca, Mg) в почве агроценоза снизилось на 10–20% относительно целины, вероятно, за счет выщелачивания и выноса выращиваемыми культурами. Длительное внесение минеральных удобрений привело к небольшому подкислению почвы.

Отмеченные изменения почвенных характеристик могли определенным образом повлиять на трансформацию форм галогенов в исследуемой почве, хотя, разумеется, главным фактором являлось длительное внесение достаточно высоких доз минеральных удобрений (см. табл. 1), что закономерно отразилось на содержании галогенов в почвенном профиле. Различная химическая активность галогенов, специфика процессов их адсорбции–десорбции, наряду с отмеченными факторами, обусловили особенности распределения этих элементов в почве агроценоза.

В почвенных процессах и питании растений наиболее активное участие принимают мобильные формы галогенов (водорастворимая, обменная и специфически сорбированная). И хотя их доля в целом в почвах невелика, мы акцентировали свое внимание на изучении водорастворимых форм фтора, хлора и йода как наиболее доступных растениям.

Систематическое внесение удобрений в течение длительного времени не привело к увеличению содержания водорастворимого фтора до критического уровня по всему профилю почвы до глубины 100 см (рис. 1) на всех вариантах опыта. ПДК водорастворимого фтора в почве равен 10 мг/кг. Изменение наблюдалось преимущественно в интервале от 0,86 до 4,71 мг/кг. Незначительная аккумуляция фторид-аниона в верхней части почвенного профиля на вариантах с внесением удобрений, в отличие от варианта без удобрений, также заметно ниже ПДК.

Подобное поведение водорастворимого фтора обусловлено различными трансформациями, происходящими с ним в почве, что выражается в усилении активности процесса сорбции фторид-аниона на поверхности минеральных частиц, чему благоприятствует небольшое утяжеление гранулометрического состава вниз по почвенному профилю. Кроме того, фторид-анион легко замещает гидроксильные группы в минералах ввиду сходства их ионных радиусов (равного $1,33\text{\AA}$); как следствие, становится возможным внедрение F^- в межплоскостное пространство глинистых минералов. Ионный радиус F^- также очень близок к радиусу кислорода O^{2-} (от 1,32 до 1,40 \AA по разным данным), что способствует их взаимозамещению в кристаллических решетках апатита, слюд и других минералов и соответственно несколько увеличивает вероятность его связывания.

Установлено, что фторид-анион в сравнении с другими галогенид-анионами характеризуется большей склонностью к образованию комплексных соединений, устойчивость которых понижается в ряду $F > Cl > Br > I$, по-

этому многие фторидные комплексы устойчивы, не гидролизуются и слабо диссоциируют. Входя в состав комплексных ионов, например тетрафторборатного $[\text{BF}_4]^-$ или гексафторсиликатного $[\text{SiF}_6]^{2-}$, фтор теряет свое негативное воздействие на окружающую среду, так как приобретает свойства уже комплексного аниона, что, по нашему мнению, можно считать положительным фактором с точки зрения экологии.

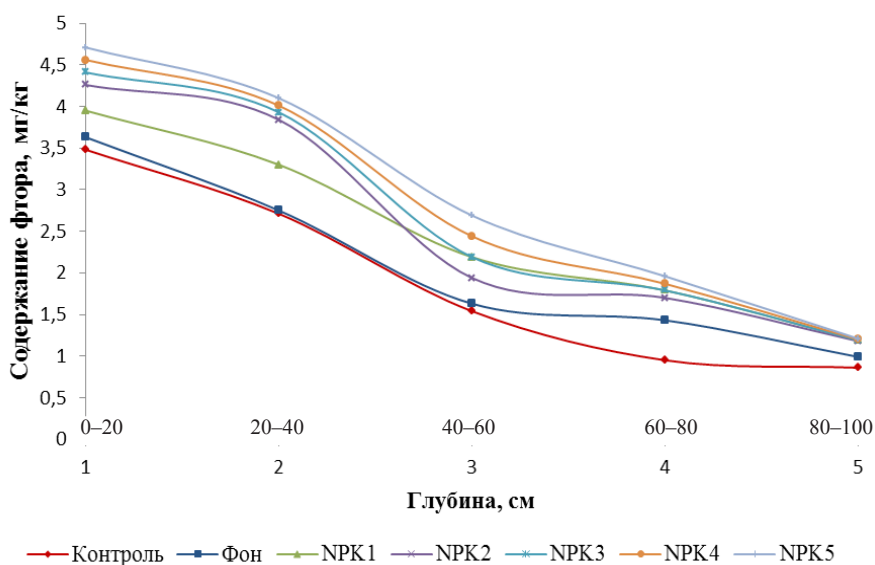


Рис. 1. Изменение содержания в почве водорастворимой формы фтора в вариантах эксперимента в зависимости от глубины /

Fig. 1. Modification of content of water-soluble fluorine form in the soil in the experimental variants (on the ordinate axis - Content of fluorine (mg/kg); on the abscissa axis - Depth, cm)

Доминирование содержания обменного кальция и магния в исследуемой серой лесной почве над количеством водорастворимого фтора способствует связыванию поступающего из удобрений фтора в виде труднорастворимых флюорита CaF_2 и селлаита MgF_2 . Данные соединения благоприятствуют ускорению образования кальциевого геохимического барьера, препятствующего загрязнению фтором как почв, так и растений, тем более что кальций – один из компонентов суперфосфата. Следует учитывать и деятельность корневой системы растений в процессе их роста и развития, способствующей некоторому перемещению фторид-аниона в профиле почвы.

Распределение хлора в почвенном профиле изученных вариантов опыта довольно равномерное (рис. 2). Интервал изменения содержания водорастворимого хлора в целом невелик (12,1–15,2 мг/кг), несмотря на довольно широкий диапазон доз вносимого хлористого калия. Подобные данные о

присутствии водорастворимой формы хлора в почве без строго определенной зависимости от дозы удобрений (KCl) отмечались ранее в опытах на черноземе выщелоченном [13].

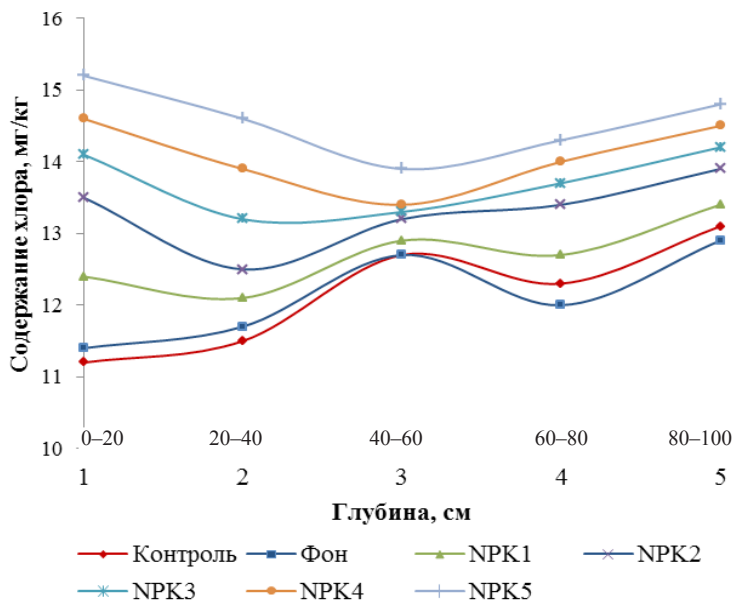


Рис. 2. Изменение содержания в почве водорастворимой формы хлора в вариантах эксперимента в зависимости от глубины /

Fig. 2. Modification of content of water-soluble chlorine form in the soil in the experimental variants (on the ordinate axis - Content of fluorine (mg/kg); on the abscissa axis - Depth, cm)

Вместе с тем необходимо отметить, что различие в концентрации хлорид-аниона на вариантах с внесением хлорида калия примерно на 2–3 мг/кг по сравнению с вариантом без удобрений в нашем исследовании все же имеется. Это свидетельствует о влиянии систематического внесения хлорсодержащего удобрения на почвенный фонд хлора. Следует сказать, что в сухой год (2012 г.) содержание хлора в почве было на 5–10% выше, чем во влажный (2013 г.).

Такое поведение хлора в почве связано со слабым его поглощением почвой и обусловлено отсутствием образования его нерастворимых солей с катионами почвенного раствора и притяжения почвенными коллоидами из-за одинакового заряда [14]. Кроме того, анион Cl^- менее подвержен окислению в условиях земной поверхности. Установлено, что эффективных геохимических барьеров, на которых возможна аккумуляция хлора, подобно тому, как для фтора существует кальциевый барьер, для йода – биогеохимический (накопление в верхнем гумусовом горизонте почв), для него в почве не существует. Более того, хлорид-анион свободно мигрирует в почвенном профиле вследствие зна-

чительной растворимости большинства его солей, что позволяет говорить и о роли поверхностного и бокового внутрипочвенного стоков. Влияние данных стоков, способствующих удалению хлора во время снеготаяния в почве с периодически промывным типом водного режима, отмечено в [5].

По обобщенным литературным данным, низкие концентрации водорастворимого йода в почвах разных регионов делают проблематичным установление закономерностей в его распределении, что подтверждается и нашими аналитическими данными (рис. 3). Изменения в содержании йодид-аниона очень незначительны как по абсолютной величине, так и по интервалу (от $\pm 0,001$ до $\pm 0,003$ мг/кг).

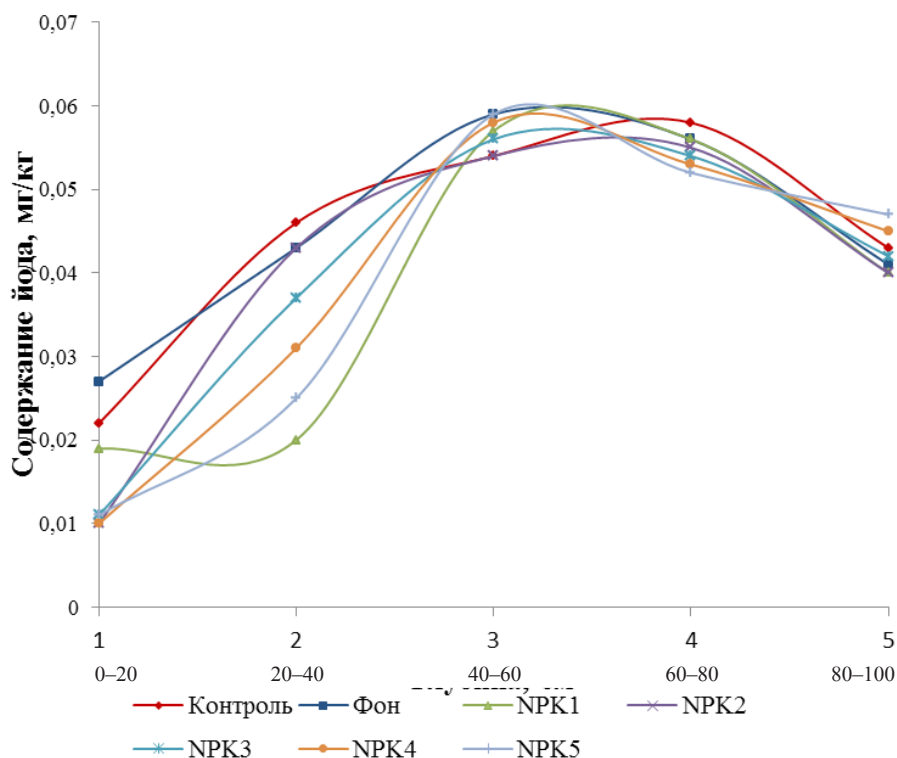


Рис. 3. Изменение содержания в почве водорастворимой формы йода в вариантах эксперимента в зависимости от глубины /

Fig. 3. Modification of content of water-soluble iodine form in the soil in the experimental variants (on the ordinate axis - Content of fluorine (mg/kg); on the abscissa axis - Depth (cm))

Основных факторов, определяющих подобную ситуацию с водорастворимой формой йода в почве, несколько. К ним следует отнести отсутствие использования конкретно йодистых удобрений, периодически промывной тип водного режима почвы опыта, усиливающий миграцию йода ввиду хорошей растворимости большинства его солей, а также нарушения в круго-

вороте элемента в агроценозе из-за ежегодного отчуждения биомассы (урожая), что исключается в естественном биогеоценозе.

Массопоток химических элементов, в том числе и галогенов, из почвы в растения контролируется рядом факторов: физико-химическими свойствами почв и галогенов, а также биологическими особенностями растений.

Среди исследуемых анионов наибольшей подвижностью обладают также и йодид- и хлорид-анионы, у фтора она заметно ниже [15]. На процесс поступления их в растения может влиять и гидратация молекулами воды. В первичной гидратной оболочке галогенов, находящихся в водном растворе, фторид-анион окружают 4 молекулы воды, а остальные галогены – по одной [16]. По мнению Д.Ф. Сатклиф [17], диаметр гидратированного иона влияет на скорость поступления в растения каждого отдельного иона. Исходя из этого, мы полагаем, что фторид-анион, двигаясь медленнее, чем Cl^- , будет и менее активно поглощаться растениями. Кроме того, Cl^- характеризуется неспецифической адсорбцией в почве, а F^- – специфической, предполагающей образование более прочных связей [18], что может тормозить его поступление в растения.

Рассматривая в этом аспекте анион йода, следует отметить, что большинство реакций с его участием являются эндотермическими, например, с большинством органических соединений почвы [19]. Поскольку для его поступления в растения необходимым условием является свободное перемещение в почвенном профиле, то в этом случае потребуется разрыв этих связей, что затруднительно в условиях почвы. Кроме того, I^- -анион, несмотря на то, что его окружает одна молекула воды, имеет больший, чем у хлора, ионный радиус, что может замедлять его движение. И последнее: с учетом его наиболее низкого содержания в почве среди галогенов поток его в растения, по нашему мнению, должен быть наименьшим.

К особенностям многих культурных растений, в том числе и картофеля, относится наличие у них защитных механизмов, которые способствуют сохранению нормальной жизнедеятельности растения. По мнению В.Б. Ильина [20], дефицитные для процессов метаболизма ионы поглощаются корнями активно, избыточные же – пассивно, без затраты энергии по градиенту концентрации. Установлено, что по органам культурных растений фтор распределяется неравномерно, чаще аккумулируясь в листьях, чем в органах запасаания ассимилятов (плодах, луковицах, зерне и клубнеплодах). Наиболее существенные его концентрации обнаруживаются в корнях.

Данная закономерность подтверждается и результатами наших исследований (табл. 2): содержание фтора в ботве практически в 2 раза превышает его количество в клубнях картофеля. В опытах [4] содержание фтора в надземной биомассе картофеля также было заметно выше, чем в клубнях.

Колебания в содержании фтора, более заметные на вариантах с повышенными дозами KCl , по-видимому, можно объяснить возможным взаимодействием весьма незначительной части калия удобрений с водорастворимым фтором, вследствие чего хорошо растворимый KF далее мигрирует в почвенном профиле.

Максимально допустимый уровень (МДУ) содержания фтора в корнеклубнеплодах в нашей стране составляет 20 мг/кг; в соответствии с этим можно говорить об отсутствии загрязнения картофеля фтором в нашем опыте, что, однако, не исключает необходимости систематического контроля за его содержанием в системе почва – растение. Дело в том, что в некоторых странах ПДК для фтора в корнеклубнеплодах установлен на уровне 2,3 мг/кг [4], что в нашем случае практически достигнуто и вызывает некоторое беспокойство.

Таблица 2 / Table 2

Содержание галогенов (мг/кг сухого вещества) в картофеле /
Content of halogens (mg/kg of dry matter) in potatoes

Вариант / Variant	Клубни / Tubers			Ботва / Tops		
	F	Cl	I	F	Cl	I
Без удобрений / Without fertilizers	2,19	1878,0	0,042	4,16	2526,0	0,043
NP	2,95	1917,0	0,041	4,87	2592,0	0,044
NPK1	2,86	1985,0	0,049	4,92	2649,0	0,059
NPK2	2,49	2104,0	0,067	4,23	2780,0	0,074
NPK3	2,37	2202,0	0,073	4,25	2944,0	0,094
NPK4	2,20	2350,0	0,089	4,19	3279,0	0,112
NPK5	2,10	2402,0	0,092	4,13	3361,0	0,166
HCP ₀₅	0,14	57,2	0,016	0,18	78,4	0,019

Результаты наших исследований показывают, что хлор аналогично фтору также активнее накапливается в ботве, чем в клубнях картофеля, примерно на 25–29% (табл. 2). Этот факт отмечается и в ряде других работ [5, 21]. Что касается непосредственно содержания хлора в клубнях, то наши результаты укладываются в интервал, приводимый другими исследователями. Максимальной концентрацией хлора характеризуются картофель и солома пшеницы и ржи – около 2 000 мг/кг сухого вещества, что значительно выше, чем в других культурах. В опытах [13] при использовании различных калийных удобрений содержание хлора в клубнях изменялось от 0,23 до 0,44% на воздушно-сухое вещество, т.е. 2 300–4 400 мг/кг.

Накопление йода в картофеле происходило по аналогии с фтором и хлором. Больше йода обнаружено в ботве и заметно меньше – в клубнях (см. табл. 2). По [22] пороговые концентрации йода в растениях составляют до 0,07 – недостаток, 0,08–1,2 – норма, 0,8–2,0 мг/кг – избыток, так что найденные нами концентрации в картофеле соответствуют нижнему пределу нормального содержания йода в растениях. Аналогичное содержание йода в картофеле (0,079 мг/кг) в литературе ранее уже отмечалось [23]. Значительное ослабление потока йода в растения, как мы полагаем, не только обусловлено органическим веществом почвы, которое активно и прочно связывает его, низкой концентрацией его, но и существующим антагонизмом между анионами йода и хлора.

Заключение

Результаты проведенных исследований подтверждают важную роль оптимизации минерального питания растений для эффективного функционирования агроэкосистем. Рациональное использование минеральных удобрений обеспечивает интенсификацию продукционного процесса выращиваемых культур и получение высоких и устойчивых урожаев. Однако систематическое длительное использование минеральных удобрений, в связи с наличием в них различных балластных компонентов (Cl, F и др.), обуславливает заметное влияние на содержание и распределение галогенов в системе почва – растение.

Многолетнее внесение удобрений привело к накоплению фтора в почве, главным образом, в верхней части профиля. Тем не менее содержание фтора в почве не превышало установленных предельно допустимых концентраций. Повышение доз калийных удобрений способствовало увеличению в почве содержания хлора, его распределение по почвенному профилю было достаточно равномерным. Используемые дозы хлористого калия (до 150 кг д.в. /га) не привели к накоплению в почве экологически опасных концентраций хлора. Длительное применение удобрений в агроценозе вызвало снижение содержания йода в пахотном слое почвы, вероятно, в связи с выносом его урожаем.

Различная интенсивность использования минеральных удобрений в агроценозе отражалась на поступлении галогенов в растения, при этом концентрация этих элементов в вегетативной части (листья, стебли) выращиваемых культур была заметно выше, чем в запасующих органах (клубни). Содержание фтора в растениях картофеля было наивысшим при внесении только NP-удобрений; сбалансированное питание (NPK) способствовало существенному снижению содержания фтора в растительной продукции. С ростом доз вносимого хлористого калия в растениях картофеля заметно повышалась концентрация хлора, а также йода.

В целом содержание галогенов в основной и побочной растительной продукции агроценоза с многолетним использованием достаточно высоких доз минеральных удобрений не превышало экологически опасного уровня.

Литература

1. Минеев В.Г., Бычкова Л.А. Состояние и перспективы применения минеральных удобрений в мировом и отечественном земледелии //Агрохимия. 2003. № 8. С. 5–12.
2. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп : Адыгея, 2003. 1028 с.
3. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М. : Ледум, 2000. 184 с.
4. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва – растение. М. : Россельхозакадемия, 2004. 106 с.
5. Назарюк В.М., Маслова И.Я. Изучение возможности систематического использования хлорсодержащих калийных удобрений в овощеводстве Западной Сибири // Агрохимия. 1990. № 7. С. 45–52.
6. Конарбаева Г.А. Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.

9. Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // *Агрохимия*. 1976. № 7. С. 140–143.
10. Belcher R., Leonard M.A., West T.S. The preparation and analytical properties of NN-Di/carboxymethyl/aminomethyl derivatives of some hydroxyanthraquinones // *J. Chem. Soc.* 1958. P. 2390–2400.
11. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н. Микроэлементы в почвах Советского Союза. М. : Изд-во МГУ, 1959. 67 с.
12. Якименко В.Н. Плодородие серой лесной почвы при длительном использовании // *Земледелие*. 2012. № 6. С. 21–23.
13. Алексеева Е.Н., Кулакова В.П. Поступление хлора в растения в зависимости от длительного применения удобрений на выщелоченном черноземе // *Агрохимия*. 1973. № 7. С. 84–90.
14. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. М. : Наука, 1978. 293 с.
15. Чанг Р. Физическая химия с приложениями к биологическим системам. М. : Мир, 1980. 662 с.
16. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки. М. : Мир, 1978. 365 с.
17. Сатклиф Д.Ф. Поглощение минеральных солей растениями. М. : Мир, 1964. 221 с.
18. Пинский Д.Л. Ионнообменные процессы в почвах. Пушкино : Ин-т почвоведения и фотосинтеза РАН, 1997. 166 с.
19. Каррер П. Курс органической химии. Л. : Госхимиздат, 1960. 1216.
20. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. 218 с.
21. Физиология картофеля / под ред. Б.А. Рубина. М. : Колос, 1979. 272 с.
22. Ковальский В.В. Биологическая роль йода // *Научные труды ВАСХНИЛ*. М. : Колос, 1972. С. 3–32.
23. Ковальский В.В., Раецкая Ю.И., Грачева Т.И. Микроэлементы в растениях и кормах // *Научные труды ВАСХНИЛ*. М. : Колос, 1971. 235 с.

*Поступила в редакцию 02.12.2013 г.;
принята 30.04.2014 г.*

Авторский коллектив:

Конарбаева Галина Акмүлдиновна – д-р биол. наук, с.н.с., в.н.с. лаборатории биогеохимии почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия). E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

Якименко Владимир Николаевич – д-р биол. наук, доцент, в.н.с. лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия). E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru

Tomsk State University Journal of Biology. 2014. № 3 (27). P. 23–35

Galina A. Konarbaeva¹, Vladimir N. Yakimenko²

¹ *Laboratory of Biogeochemistry of Soils, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation.*
E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

² *Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation.*
E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru

**Halogen content modification in the soil-plant system
under agrocenosis conditions**

The aim of our research was to study halogen content modification in the soil-plant system under agrocenosis conditions during a long-term application of mineral fertilizers under soil-climatic conditions of Western Siberia.

We started the experiment in 1988 on virgin grey forest soil. During the first years, we cultivated vegetable crops in rotation, and since 2000-potatoes. In the autumn of 2013, we selected some samples of different soil layers up to 1 m with the help of a soil tube, as well as tubers and potato tops. In the long-term stationary experiment we studied the effect of increasing doses of potassium introduced on the NP background on agro-ecological condition of agroecosystems, including the behavior of halogens in the soil-plant system. Our investigation showed the importance of optimizing mineral nutrition of plants to obtain high and stable yields.

The results of these studies also confirm the essential role of mineral nutrition of plants for the effective functioning of agroecosystems. Perennial fertilization led to accumulation of fluorine in the soil, mainly in the upper profile. However, the fluorine content in the soil does not exceed the maximum permissible concentrations. Different intensity of use of mineral fertilizers in agroecosystems affected the release of halogens in the plant. The concentration of halogens in the vegetative parts (leaves, stems) was significantly higher than in the storage organs (tubers). The fluorine content in potato plants was the highest when using only NP-fertilizers; balanced nutrition (NPK) contributed to a significant reduction of fluorine in plants. With increasing doses of KCl introduced in potato plants, the concentration of chlorine and iodine increased. In general, the concentrations of halogens in the main and incidental agroecosystems plant production with a long-term use of substantially high doses of fertilizers do not exceed environmentally dangerous levels.

Keywords: agroecosystems; soil; plant; halogen.

References

1. Mineev VG, Bychkova LA. The state and application outlook for mineral fertilizers in Russian and world agriculture. *Agrokimiya*. 2003;8:5-12. In Russian
2. Sheudzhen AKh. Biogekhimiya [Biogeochemistry]. Maikop: GURIPP Adygea; 2003. 1028 p. In Russian
3. Prokoshev VV, Deryugin IP. Kaliy i kaliynye udobreniya [Potassium and potash fertilizers]. Moscow: Ledum Publishing House; 2000. 184 p. In Russian
4. Tandellov YP. Ftor v sisteme pochva - rastenie [Fluorine in the soil-plant system]. Mineev VG, editor. Moscow: Rossel'khozakademiya Publishing House; 2004. 106 p. In Russian
5. Nazaryuk VM, Maslova IYa. Izuchenie vozmozhnosti sistematicheskogo ispol'zovaniya khlorsoderzhashchikh kaliynykh udobreniy v ovoshchevodstve Zapadnoy Sibiri [Study on the possibility of systematic use of chlorinated potash fertilizers in vegetable production in Western Siberia]. *Agrokimiya*. 1990;7:45-52. In Russian
6. Konarbaeva GA. Galogeny v pochvakh yuga Zapadnoy Sibiri [Halogens in soils of the south of Western Siberia]. Novosibirsk: SB RAS Publishing House; 2004. 200 p. In Russian
7. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta [Method of field experience]. Moscow: Agropromizdat Publishing House; 1985. 351 p. In Russian
8. Yakimenko VN. Kaliy v agrotsenozakh Zapadnoy Sibiri [Potassium in agroecosystems of Western Siberia]. Novosibirsk: SB RAS Publishing House; 2003. 231 p. In Russian
9. Proskuryakova GF, Nikitina ON. Uskorennyy variant kineticheskogo rodanidno-nitritnogo metoda opredeleniya mikrokolichestv yoda v biologicheskikh ob'ektakh [Accelerated version of the kinetic thiocyanate-nitrite method for determining trace amounts of iodine in biological objects]. *Agrokimiya*. 1976;7:140-143. In Russian
10. Belcher R, Leonard MA, West TS. The preparation and analytical properties of NN-Di /carboxymethyl/aminomethyl derivatives of some hydroxyanthraquinones. *J. Chem. Soc.* 1958;2390-2400. doi: [10.1039/JR9580002390](https://doi.org/10.1039/JR9580002390)

11. Kovda VA, Yakushevsky IV, Tyuryukanov AN. Mikroelementy v pochvakh Sovetskogo Soyuza [Micronutrients in soils of the Soviet Union]. Moscow: Moscow State University Publishing House; 1959. 67 p. In Russian
12. Yakimenko VN. Fertility of grey forest soil in its long-term use. *Agriculture*. 2012;6:21-23. In Russian
13. Alekseeva EN, Kulakova VP. Postuplenie khloro v rasteniya v zavisimosti ot dlitel'nogo primeneniya udobreniy na vyshchelochennom chernozeme [Release of chlorine in plants depending on a long-term fertilizer application on leached chernozem]. *Agrokhiimiya*. 1973;7:84-90. In Russian
14. Gorbunov NI. Mineralogiya i fizicheskaya khimiya pochv [Mineralogy and physical chemistry of soils]. Moscow: Nauka Publishing House; 1978. 293 p. In Russian
15. Chang R. Physical chemistry with applications to biological systems. New York: Collier Macmillan Ltd; 1977. 538 p.
16. Clarkson DT. Ion transport and cell structure in plants. London:New York: McGraw-Hill; 1974. 350 p.
17. Sutcliffe JF. Mineral salts absorption in plants. New York: Pergamon press; 1962. 194 p.
18. Pinskiy DL. Ionoobmennye protsessy v pochvakh [Ion exchange processes in soils]. Pushchino: Institut pochvovedeniya i fotosinteza RAN; 1997. 166 p.
19. Karrer P. Lehrbuch der organischen chemie. Vasserberg VE, tr. germany; Kolosov MN, editor. Leningrad: Goskhimizdat; 1960. 1216 p. In Russian
20. Il'in VB. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva - rastenie [Heavy metals and non-metals in the soil-plant system]. Novosibirsk: SB RAS Publishing House; 2012. 218 p. In Russian
21. Fiziologiya kartofelya [Physiology of potatoes]. Rubin BA, editor. Moscow: Kolos Publishing House; 1979. 272 p. In Russian
22. Kovalsky VV. Biologicheskaya rol' yoda [Biological role of iodine]. *Nauchnye trudy VASKhNIL* [In: *Proceedings of the VASKhNIL*]. Moscow: Kolos Publishing House; 1972. pp. 3-32. In Russian
23. Kovalsky VV, Raetsky YI, Gracheva TI. Microelements in plants and forage. *Nauchnye trudy VASKhNIL* [In: *Proceedings of the VASKhNIL*]. Moscow: Kolos Publishing House; 1971. 1-235 p. In Russian

Received 2 December 2013;

Accepted 30 April 2014

Konarbaeva GA, Yakimenko VN. Halogen content modification in the soil-plant system under agrocenosis conditions. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2014;3(27):23-35. doi: 10.17223/19988591/27/2
In Russian, English summary.