

## Эколого-агрохимическая оценка трансформации почвенного фонда галогенов в агроценозе

В. Н. ЯКИМЕНКО, Г. А. КОНАРБАЕВА

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18  
E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru*

### АННОТАЦИЯ

Исследования показали, что длительное применение хлорсодержащих калийных удобрений на фоне NP способствовало повышению содержания в почве водорастворимых форм хлора и фтора. Распределение хлора по профилю почвы было равномерным, содержание водорастворимого фтора вниз по профилю снижалось. Систематическое применение фосфорных удобрений привело к заметному накоплению валового фтора в пахотном слое почвы. При сбалансированном питании растений макроэлементами и повышенной урожайности отмечено существенное снижение содержания водорастворимого йода в пахотном слое почвы. Длительное внесение минеральных удобрений не отразилось на содержании валового йода в профиле почвы агроценоза.

**Ключевые слова:** агроценоз, почва, удобрения, галогены, хлор, фтор, йод.

Обеспечение активного баланса биогенных элементов в системе почва – растение, оптимизация циклов макро- и микроэлементов в агроэкосистемах является важнейшей агрохимической и экологической задачей. Ее успешное решение в значительной степени осуществляется при научно обоснованном использовании минеральных удобрений, – это один из решающих факторов эффективного функционирования агроценозов. Внесение минеральных туков оказывает активное разноплановое влияние на окружающую среду из-за токсичных примесей, физиологической кислотности и других нежелательных свойств. В этой связи детальное изучение всех аспектов воздействия средств химизации земледелия на агроэкосистемы представляется весьма актуальным.

Эффективное использование минеральных удобрений может быть осложнено присутствием в них сопутствующих балластных

элементов, в том числе галогенов. Так, при внесении хлорсодержащих калийных удобрений в почву поступает значительное количество хлора, фосфорные удобрения часто имеют заметное содержание фтора. Нередко отмечаемое изменение кислотности почвы при длительном применении минеральных туков, особенно азотных, может сопровождаться активизацией процессов трансформации почвенных форм галогенов, прежде всего содержащихся в макроколичествах, – фтора, хлора и в значительно меньших – йода [1, 2].

Следует отметить, что галогены играют определенную роль в физиологических процессах [3]. Однако их (особенно фтора) избыточное поступление и накопление в агроэкосистемах может оказывать негативное воздействие на свойства почвы и качество растительной продукции.

Вопросы накопления и распределения галогенов в почвах и растениях рассматрива-

ются в ряде работ [4–8]. Однако исследования изменения содержания галогенов в почвах агроценозов при длительном внесении минеральных удобрений немногочисленны и посвящены, главным образом, динамике хлора в связи с изучением эффективности форм калийных удобрений [9, 10]. При этом полученные результаты носят зачастую противоречивый характер, а установленные в одном регионе закономерности накопления и распределения галогенов в почвах агроценозов не подтверждаются в другом. В этой связи выявление региональной специфики влияния длительного применения минеральных удобрений на почвенный фонд макро- и микроэлементов имеет важное агрохимическое и экологическое значение.

Цель наших исследований – в длительных стационарных полевых опытах определить влияние применения минеральных удобрений на содержание и распределение галогенов в профиле почвы агроценоза.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучение изменения содержания и распределения элементов питания растений в почве агроценоза в зависимости от интенсивности применения минеральных удобрений проводили в стационарном полевом опыте, заложенном в 1988 г. на целинной серой лесной почве со следующими характеристиками: 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). Данная почва сформирована на лессовидных карбонатных суглинках и типична для лесостепной зоны Западной Сибири [11].

Схема опыта включала различные варианты, из которых в данном сообщении рассматриваются наиболее контрастные: вариант 1 – непрерывный многолетний пар (без растений и удобрений), 2 – без удобрений (контроль), 3 – NP (фон – вносили азотные и фосфорные удобрения из расчета 100 % компенсации выноса элементов планируемым урожаем выращиваемой культуры), 4 – NP + K1 (калий в дозе 50 % от выноса планируемым

урожаем), 5 – NP + K2 (калий в дозе 100 % от выноса планируемым урожаем). Закладку и проведение опытов осуществляли по общепринятой методике; выращивали овощные культуры и картофель [11]. Повторность в опытах – четырехкратная. Удобрения в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия вносили ежегодно весной перед посевом семян, посадкой рассады или клубней. Общее количество внесенных минеральных удобрений за годы проведения опыта, а также полученный урожай основной и побочной продукции показаны в табл. 1.

Весной 2011 г. (до начала обработки почвы и внесения удобрений) с рассматриваемых вариантов опыта почвенным буром отобраны образцы почвы из различных слоев до глубины 1 м (0–20, 20–40, 40–60, 60–80 и 80–100 см). Образцы анализировали следующими методами: нитратный азот – на иономере, подвижный фосфор – по Чирикову, обменный калий – по Масловой, валовой фтор – спектрофотометрическим методом с анализаринкомплексом без предварительной отгонки [12], валовой йод – кинетическим роданидно-нитритным методом [13]; водорастворимые формы галогенов: фтор – на потенциометре, хлор – по Морю, йод – роданидно-нитритным методом.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наивысшая общая урожайность выращиваемых культур в опыте получена при сбалансированном (NPK) минеральном питании растений (см. табл. 1). Исключение из состава “полного” удобрения даже одного элемента, в нашем случае калия, существенно снизило со временем продуктивность агроценозов. В качестве примера приведем данные по урожайности клубней картофеля в опыте за 2011 г., ц/га: вариант без удобрений – 81, NP – 95, NPK1 – 239, NPK2 – 274.

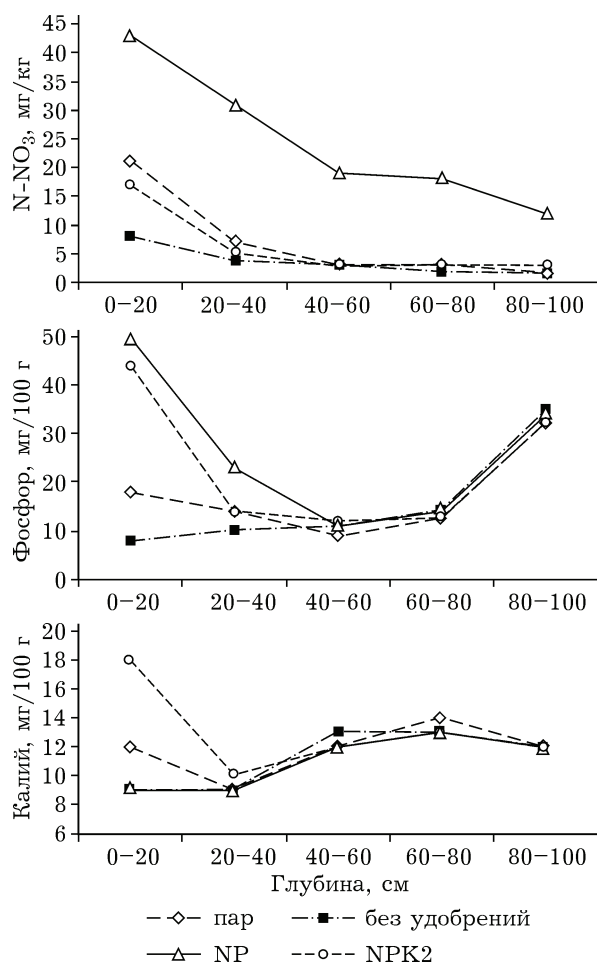
Различная интенсивность использования минеральных удобрений в вариантах опыта отразилась на содержании и распределении макро- и микроэлементов в почвенном профиле. Перед обсуждением трансформации почвенного фонда галогенов рассмотрим изменения содержания подвижных форм основ-

Общий урожай культур и количество внесенных удобрений в опыте (1988–2010 гг.)

| Вариант опыта | Урожай, ц к. е./га | Внесено, кг д. в./га |        |       |
|---------------|--------------------|----------------------|--------|-------|
|               |                    | Азот                 | Фосфор | Калий |
| Без удобрений | 1738               | –                    | –      | –     |
| NP            | 2024               | 2920                 | 1780   | –     |
| НРК1          | 2838               | 2920                 | 1780   | 2528  |
| НРК2          | 2985               | 2920                 | 1780   | 5056  |

ных питательных элементов в почве длительного опыта (см. рисунок).

Содержания подвижного фосфора и обменного калия существенно различались между вариантами только в пахотном слое почвы. Лишь в варианте NP уровень подвижного фосфора заметно возрос и в подпа-



Содержание нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в профиле почвы длительного опыта

хотном слое почвы, что связано с невысокой урожайностью культур и повышенным профицитом фосфорного баланса на этих участках. Дефицит калия, лимитирующий продуктивность растений в варианте NP, способствовал значительному росту содержания нитратного азота по всему почвенному профилю с максимумом в пахотном слое; в других вариантах опыта содержание нитратов различалось только в верхнем горизонте.

Таким образом, исследования показали, что изменения содержания подвижных форм макроэлементов в почве агроценоза происходили в основном в пахотном слое. Обладающие повышенной подвижностью нитраты при высоком уровне в пахотном горизонте в заметных количествах мигрировали и вниз по почвенному профилю.

Различная химическая активность галогенов, специфика процессов их адсорбции-десорбции и другие факторы обусловили особенности распределения этих элементов в почве агроценоза.

**Хлор.** Известно, что хлориды, кроме солей серебра, свинца и меди, являются хорошо растворимыми соединениями и обладают повышенной миграционной способностью. Эффективных геохимических барьеров, на которых возможна аккумуляция хлора, не существует, за исключением испарительного в аридных бессточных областях, почвы которых – солончаки и солонцы – наиболее обогащены этим элементом. Автоморфные почвы земледельческой зоны, по разным источникам [1–4, 6], обычно содержат 10–20 мг/кг водорастворимого хлора; отметим, что валовое его содержание, как правило, немногим выше.

Имеющиеся литературные данные по распределению хлора в профиле почв агроце-

нозов неоднозначны. Так, в исследованиях [14] систематическое внесение хлористого калия в дозах 100–150 кг/га привело к накоплению хлора в верхних горизонтах (0–40 см) дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв; на супесчаной почве внесение повышенных доз удобрения не приводило к значительному накоплению хлора в метровом слое почвы. В опытах [10] на среднесуглинистом черноземе при внесении повышенных доз KCl под овощные культуры, выращиваемые при орошении, хлор не накапливался – часть его промывалась в глубь профиля, а основное количество удалялось с боковым внутрипочвенным стоком во время снеготаяния. Длительные полевые опыты [15] на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве показали, что хлор ведет себя по-разному в зависимости от погодных условий. В сухие годы его содержание в метровой толще почвы стабилизируется на одном уровне или возрастает, а в годы с обильными осадками определенная часть хлора может вымываться за пределы метрового слоя, особенно интенсивно на рыхлых почвах.

По результатам наших исследований (табл. 2) длительное ежегодное внесение повышенных доз хлористого калия (например, в варианте NPK2 под капусту – 370, картофель – 270 кг д. в./га [11]) не привело к накоплению в почве агроценоза токсичных концентраций хлора. Аналогичные результаты получены и в работах других авторов [9]. Повышение содержания хлора в почве вариантов NPK1 и NPK2, хотя и статистически значимое, не вызвало опасного для выращиваемых культур уровня этого элемента. Сле-

дует сказать, что ПДК в почвах для водорастворимого хлора до настоящего времени не разработаны.

Почва вариантов опыта, в которых хлорсодержащие удобрения никогда не вносили, также содержала заметное количество этого галогена (11–12 мг/кг). Данное обстоятельство связано, очевидно, как с химическим составом почвообразующих пород, так и с постоянным присутствием хлора в выпадающих атмосферных осадках (среднее содержание для исследуемой зоны Западной Сибири – 2–3 мг/л [16]).

Ранее нами показано [17], что внесенный с удобрениями калий (в случае слабо- или бездефицитного его баланса) аккумулируется только в пахотном почвенном слое, а распределение мобильного нитратного азота по профилю почвы носит явно выраженный убывающий характер при любом его уровне в верхнем горизонте. В отличие от этих ионов хлор в профиле почвы распределялся по-иному (см. табл. 2). Содержание хлора в почвенном профиле любого из вариантов опыта было равномерным, т. е. характер распределения элемента в почве был одинаковым, независимо от использования или не использования хлорсодержащих удобрений. Варианты различались лишь в концентрации хлора: там, где хлористый калий не применяли, в различных почвенных слоях содержалось 11–12 мг/кг водорастворимого хлора, а в вариантах с внесением этого удобрения – 13–14.

Выравнивание содержания хлора по почвенному профилю обусловлено, на наш взгляд, двумя причинами: с одной стороны,

Т а б л и ц а 2

Содержание водорастворимого хлора в профиле почвы длительного стационарного опыта, мг/кг

| Слой почвы, см    | Вариант опыта |               |      |      |      | НСП <sub>05</sub> |
|-------------------|---------------|---------------|------|------|------|-------------------|
|                   | Пар           | Без удобрений | NP   | NPK1 | NPK2 |                   |
| 0–20              | 11,1          | 11,2          | 11,4 | 13,5 | 14,6 | 0,32              |
| 20–40             | 12,0          | 11,5          | 11,7 | 12,5 | 13,9 | 0,44              |
| 40–60             | 12,3          | 12,7          | 12,7 | 13,2 | 13,4 | 0,43              |
| 60–80             | 12,2          | 12,3          | 12,0 | 13,4 | 14,0 | 0,41              |
| 80–100            | 13,4          | 13,1          | 12,9 | 13,9 | 14,5 | 0,33              |
| НСП <sub>05</sub> | 0,57          | 0,41          | 0,31 | 0,31 | 0,33 |                   |

это отсутствие в почве какого-либо специфического накопительного барьера, с другой – активная миграция хлора по профилю почвы как с нисходящими, так и с восходящими потоками влаги. В составе влаги, испаряемой с поверхности незасоленных почв зоны, содержится около 1,5 мг/л хлора [16]. Следовательно, вынос хлора при испарении, потреблении растениями и миграции за пределы почвенного профиля наряду с его поступлением из атмосферы и удобрений формируют галогеохимический баланс элемента в почвах вообще и относительно стабильное распределение по профилю в частности.

**Фтор** – наиболее химически активный элемент в ряду галогенов, образующий множество различных соединений. Большинство из них плохо растворимы, что является фактором, лимитирующим миграцию фтора в профиле почвы; интенсивность его водной миграции ниже, чем у других галогенов. Валовое содержание фтора в почвах юга Западной Сибири в среднем составляет 338 мг/кг при варьировании от 120 до 480 мг/кг [18] и тесно зависит от почвенного гранулометрического и минералогического состава. Связи между содержанием в почвах фтора и гумуса не установлено [4], что обусловлено слабой способностью органического вещества почвы сорбировать фтор и малочисленностью возможных реакций между ними в почвенных условиях.

Несмотря на важность данных по валовому содержанию в почвах фтора, его поведе-

ние в системе почва – растение определяется уровнем подвижных форм элемента, т. е. количеством фторид-анионов, не связанных прочно с компонентами почвы и способных к миграции. Источником поступления подвижного фтора в агроэкосистемы могут быть газопылевые выбросы предприятий, поливная вода, а также фосфорные удобрения, содержание данного галогена в которых составляет от 1 до 4 % [1, 2]. Однако материалов по изучению влияния вносимых фосфорных удобрений на распределение фтора по профилю почвы немного и посвящены они в основном действию фосфогипса при мелиорации солонцов [4].

Распределение водорастворимого фтора по профилю почвы во всех вариантах нашего опыта носило одинаковый, равномерно убывающий характер (табл. 3). Максимальное содержание фтора и в удобренных, и в не удобренных вариантах отмечалось в пахотном горизонте, минимальное – в нижней части профиля (слой 80–100 см). Следует отметить, что по мере продвижения вниз по профилю различия между вариантами по содержанию водорастворимого фтора сглаживались.

Известно, что фторид-анионы могут активно фиксироваться глинистыми минералами, образовывать труднорастворимые соединения со щелочноземельными металлами – кальцием, магнием. Исследуемая нами почва имеет небольшое утяжеление гранулометрического состава к нижней части профиля (с 31 до 33–34 % физической глины) и подсти-

Т а б л и ц а 3  
Содержание водорастворимого фтора в почве агроценозов, мг/кг

| Слой почвы, см    | Вариант опыта |               |      |      |      | НСР <sub>05</sub> |
|-------------------|---------------|---------------|------|------|------|-------------------|
|                   | Пар           | Без удобрений | NP   | NPК1 | NPК2 |                   |
| 0–20              | 3,14          | 3,48          | 3,63 | 4,26 | 4,56 | 0,70              |
| 20–40             | 2,08          | 2,71          | 2,75 | 3,84 | 4,01 | 0,36              |
| 40–60             | 1,22          | 1,54          | 1,63 | 1,94 | 2,44 | 0,22              |
| 60–80             | 0,99          | 0,95          | 1,43 | 1,70 | 1,87 | 0,23              |
| 80–100            | 0,82          | 0,86          | 0,99 | 1,18 | 1,20 | 0,23              |
| НСР <sub>05</sub> | 0,15          | 0,22          | 0,18 | 0,20 | 0,19 |                   |

лается лессовидными карбонатными суглинками. При этом количество трехслойных глинистых минералов вниз по профилю увеличивается, равно как нарастает активность кальциевого геохимического барьера. Данное обстоятельство и обуславливает значительное снижение уровня водорастворимого фтора вниз по профилю почвы.

Длительное внесение фосфорных удобрений не привело к повышению концентрации водорастворимого фтора в почве агроценоза до токсичного уровня. Содержание элемента в почве удобряемых вариантов, хотя и заметно возросло по сравнению с не удобрявшимися (см. табл. 3), тем не менее было значительно ниже его ПДК, составляющей 10 мг/кг [19].

Существенное повышение содержания водорастворимого фтора произошло в верхней части профиля почвы вариантов NPK, особенно в пахотном слое (см. табл. 3). Учитывая, что дозы вносимых фосфорных удобрений на всех удобряемых вариантах равны, а сформировавшиеся уровни подвижного фосфора в почве примерно одинаковы (см. рисунок), причиной заметного увеличения концентрации фторид-анионов в почве вариантов NPK служат, на наш взгляд, следующие обстоятельства.

Во-первых, содержание обменного кальция (340–350 мг/100 г) и магния (8–9 мг) в верхней части профиля почвы вариантов NPK заметно ниже, чем в NP (соответственно 375 и 12 мг/100 г), что связано с интенсивным выносом из почвы этих элементов культурами при оптимизированном питании. Снижение содержания щелочноземельных металлов в почвенном растворе способствовало, вероятно, некоторому относительному повышению мобильности фторид-ионов.

Во-вторых, почвы вариантов NP и NPK значительно различались между собой по содержанию обменного калия (см. рисунок). Так, концентрация калия в почвенном растворе пахотного слоя варианта NP была 0,5 мг/100 г (из-за длительного сильно дефицитного калийного баланса), тогда как в вариантах NPK – 3–6 мг. Принимая во внимание некоторое снижение содержания щелочноземельных обменных катионов в почве вариантов NPK (по сравнению с NP),

можно полагать, что доля калия в составе обменных катионов почвы этих вариантов заметно возросла. В то же время известно, что фториды щелочных металлов (K, Na), в отличие от щелочноземельных (Ca, Mg) хорошо растворимы в воде и в определенной степени способны к миграции. Очевидно, в почве с повышенным уровнем калия интенсивность образования его соединений с фтором возрастала (по сравнению с почвой с истощенным калийным фондом), увеличивалось и содержание подвижных фторид-анионов.

Содержание валового фтора в гумусовом горизонте исследуемой почвы составляло 280–285 мг/кг и вполне укладывалось в характерный для региона интервал значений; вниз по профилю оно несколько снижалось. Многолетнее систематическое внесение фосфорных удобрений закономерно отразилось на уровне фтора в почве агроценоза. В вариантах NP и NPK содержание валового фтора в пахотном слое почвы возросло до 320–330 мг/кг, а в подпахотном (20–40 см) – до 285–295 (на контроле – 280). Ниже по профилю (слой 40–60 см) содержание валового фтора в почве различных вариантов опыта практически не различалось и составляло около 270 мг/кг. В проведенных ранее исследованиях [4] по мелиорации солонцов фосфогипсом получены подобные результаты: валовое содержание фтора в почве при внесении различных доз удобрения возросло лишь в слое 0–10 см. Очевидно, что основная фиксация поступающего в почву фтора (илистой фракцией, полутонными окислами и др.) происходит непосредственно в зоне его внесения.

**Йод.** Содержание йода в почвах относительно остальных галогенов минимально. В зональных почвах юга Западной Сибири содержание валового йода колеблется: в дерново-подзолистых – от следов до 2 мг/кг, в серых лесных – 1,4–3, в черноземах выщелоченных – до 6 мг/кг [4]. В целом содержание галогена в почвах различных территорий варьирует очень широко и может отличаться в 250 раз, в растениях – до 23 раз [2]. Отмечается прямо пропорциональная связь между количеством в почвах йода и содержанием в них гумуса и илистой фрак-

Содержание водорастворимого йода в профиле почвы длительного полевого опыта, мг/кг

| Слой почвы, см    | Вариант опыта |       |       |       | НСР <sub>05</sub> |
|-------------------|---------------|-------|-------|-------|-------------------|
|                   | Без удобрений | NP    | NPК1  | NPК2  |                   |
| 0–20              | 0,022         | 0,027 | 0,010 | 0,010 | 0,005             |
| 20–40             | 0,046         | 0,043 | 0,043 | 0,031 | 0,008             |
| 40–60             | 0,054         | 0,059 | 0,054 | 0,058 | 0,006             |
| 60–80             | 0,058         | 0,056 | 0,055 | 0,053 | 0,005             |
| 80–100            | 0,043         | 0,041 | 0,040 | 0,045 | 0,005             |
| НСР <sub>05</sub> | 0,007         | 0,008 | 0,005 | 0,005 |                   |

ции; в кислых почвах йода меньше [5]. Основной барьер, на котором происходит концентрирование йода, – биогеохимический, т. е. накопление в живых организмах. Согласно имеющимся грациям [20], содержание валового йода в почвах до 5 мг/кг характеризуется как недостаточное, способствующее возникновению эндемии зоба.

Наиболее важную роль в процессах аккумуляции и миграции йода в почвах, потребления его растениями играет водорастворимая форма. По некоторым данным она может составлять от 5 до 50 % от валового количества в почве [2]. В Западно-Сибирском регионе содержание водорастворимого йода изменяется от следовых значений в дерново-подзолистых почвах до 0,5 мг/кг в черноземах и не превышает 5 % от общего количества [4]. Основываясь на критериях [21]: 0,01–0,03 – низкое содержание, 0,03–0,05 – пониженное, 0,05–0,10 – оптимальное, содержание водорастворимого йода в зональных почвах юга Западной Сибири следует оценить как низкое и пониженное.

Содержание и распределение водорастворимого йода в почве нашего опыта показано в табл. 4. Можно отметить некоторое увеличение концентрации подвижной формы галогена вниз по профилю, что, видимо, обусловлено соответствующим утяжелением гранулометрического состава и усилением карбонатности. Ранее показано [4], что почвообразующая порода является не столько источником поступления йода в почву, сколько барьером, препятствующим вымыванию его легкорастворимых соединений из корнеобитаемого слоя.

Концентрация водорастворимого йода в пахотном слое вариантов NPK заметно снизилась по сравнению с контрольным и фоновым вариантами. Известно, что йод – важный микроэлемент, необходимый для роста и развития растений, влияющий на азотный режим и водный обмен. На вариантах NPK нашего опыта урожайность культур намного выше, чем в других вариантах, поэтому вынос элементов, в частности йода, существенно возрастал. Вынос йода из почв интенсивных агроценозов с отчуждаемой растениеводческой продукцией превышает его поступление извне [4].

Количество валового йода в исследуемой почве и его распределение по профилю в различных вариантах нашего опыта не различались. В пахотном слое почвы (0–20 см) содержалось 1,4–1,5 мг/кг валового йода, в подпахотном (20–40 см) – 1,0–1,1. Отметим, что количество гумуса в этих почвенных слоях составляло 4,9 и 2,4 % соответственно при одинаковом гранулометрическом составе (31 % физической глины). Следовательно, зависимость уровня общего йода в почве от ее гумусированности очевидна и подтверждает результаты других авторов [4–5].

Ниже по профилю содержание валового йода заметно возрастало и составляло в слое 40–60 см 1,7–1,8 мг/кг, в слое 60–80 см – 1,6–1,7. Доля гумуса в этих почвенных слоях была 0,9 и 0,4 % соответственно, а физической глины – 34 %. Рассматриваемые слои составляют иллювиальный почвенный горизонт, обогащенный илистой фракцией, полуторными окислами и являющийся нако-

питательным барьером для йода. В нижней части профиля (80–100 см) содержание гумуса было 0,3, а физической глины – 30,5 %; при этом уровень валового йода снизился до 1,2–1,4 мг/кг. В целом полученные результаты демонстрируют отчетливую зависимость между содержанием валового йода в почве, с одной стороны, и ее гумусированностью и гранулометрическим составом – с другой.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования в длительном стационарном полевом опыте на серой лесной почве показали неодинаковый характер изменения содержания и распределения различных галогенов в профиле почвы агроценоза.

Многолетнее систематическое внесение хлорсодержащих калийных удобрений (КС1) в дозах, обеспечивающих слабо- или бездефицитный баланс калия в агроценозах, совместно с азотно-фосфорными удобрениями способствовало существенному повышению в пахотном слое почвы содержания водорастворимых форм хлора (на 20–30 % по сравнению с не удобрявшимся участком) и фтора (на 22–31 %); при этом достигнутый уровень галогенов не был токсичным и не оказывал негативного влияния на рост и развитие растений. Распределение водорастворимого хлора в почвенном профиле при различном его содержании в почвах агроценозов было одинаково равномерным, а водорастворимого фтора – убывающим вниз по профилю. Длительное применение фосфорных удобрений в агроценозах привело к накоплению валового фтора в пахотном слое почвы (до 15 % от исходного уровня), ниже по профилю его содержание не изменилось.

Многолетнее сельскохозяйственное использование почвы не отразилось на содержании валового йода в ее профиле. В интенсивных агроценозах с повышенной урожайностью выращиваемых культур содержание водорастворимого йода в пахотном слое почвы существенно снизилось (на 40–45 %).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2002. 334 с.
2. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп: Адыгея, 2003. 1028 с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
4. Конарбаева Г. А. Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
5. Кашин В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 261 с.
6. Фрумина Н. С., Лисенко Н. Ф., Чернова М. А. Хлор. М.: Наука, 1983. 200 с.
7. Белякова Т. М. Фтор в почвах и растениях в связи с эндемическим флюорозом // Почвоведение. 1977. № 8. С. 53–63.
8. Кремленкова Н. П. Геохимическая оценка опасности фторидного загрязнения почв Восточной Европы // Там же. 1996. № 8. С. 1135–1141.
9. Прокошев В. В., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 184 с.
10. Назарюк В. М., Маслова И. Я. Изучение возможности систематического использования хлорсодержащих калийных удобрений в овощеводстве Западной Сибири // Агрохимия. 1990. № 7. С. 45–52.
11. Якименко В. Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
12. Миллер А. Д., Капитонова Т. А. Метод определения фтора с ализаринкомплексом в горных породах и минералах без предварительной отгонки // Методы анализа редкометалльных минералов, руд и горных пород. М., 1971. Вып. 2. С. 80–89.
13. Проскурякова Г. Ф., Никитина О. Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
14. Харьков Д. В. Результаты многолетних полевых опытов с формами калийных удобрений // Калийные удобрения. М.: Колос, 1964. С. 57–92.
15. Танин К. А. Перемещение сульфат- и хлор-ионов по профилю почвы // Калийные удобрения. М.: Колос, 1964. С. 196–207.
16. Казанцев В. А. Проблемы педогалогенеза. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1998. 280 с.
17. Якименко В. Н. Изменение содержания форм минерального азота и калия в профиле почвы агроценоза // Вестник ТГУ. 2009. № 328. С. 202–207.
18. Ермолов Ю. В. Фтор в компонентах природных ландшафтов Обь-Иртышского междуречья: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2002. 101 с.
19. Дмитриев И. Т., Казнина Н. М., Пинигина М. А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. М.: Химия. 1989. 368 с.



20. Ковальский В. В. Биологическая роль йода // Научные труды ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1972. С. 3–32.

21. Покатилов Ю. Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. Новосибирск, 1993. 165 с.

## **Ecological-Agrochemical Evaluation of the Transformation of Soil Cover of Halogens in Agroecenosis**

V. N. YAKIMENKO, G. A. KONARBAEVA

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18  
E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru*

Investigation showed that long-term application of chlorine-containing potassium fertilizers at the background of NP promoted an increase in the concentration of water-soluble forms of chlorine and fluorine in soil. The distribution of chlorine over the soil profile was uniform, the concentration of water-soluble fluorine decreased backward along the profile. Systematic application of phosphorus fertilizers caused noticeable accumulation of total fluorine in the topsoil. With balanced nutrition of plants with macroelements and increased crop-producing power, substantial decrease in the content of water-soluble iodine in topsoil was detected. Long-term application of mineral fertilizers did not affect the total iodine content in the soil profile of the agroecenosis.

**Key words:** agroecenosis, soil, fertilizers, halogens, chlorine, fluorine, iodine.