

УДК 631.413.2:631.445.25:546.15

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ЙОДУ

© 2019 г. Г. А. Конарбаева^{1,*}, В. Н. Якименко¹

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Лаврентьева, 8/2, Россия

*E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

Поступила в редакцию 30.05.2018 г.

После доработки 16.07.2018 г.

Принята к публикации 12.11.2018 г.

В лабораторных опытах изучено поглощение йодид-аниона серой лесной среднесуглинистой почвой. Выявлены сходства и различия в процессе поглощения йода целинной почвой и почвой вариантов длительного полевого опыта. Установлено, что наиболее интенсивно процесс поглощения галогена происходил в почве варианта с многолетним внесением оптимальных доз минеральных удобрений, обеспечивших повышенную урожайность и, соответственно, усиленное потребление йода культурами в предшествующие годы. Факторы, влияющие на степень поглощения йода почвой, можно расположить в следующем убывающем порядке: содержание илистой фракции > содержание гумуса > реакция среды. Показано, что потенциальная способность серых лесных почв к поглощению йода значительно меньше, чем черноземов.

Ключевые слова: поглотительная способность, серая лесная почва, йод.

DOI: 10.1134/S0002188119020078

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость йода для нормального функционирования организма человека и животных установлена достаточно давно. Дефицит йода приводит к снижению активности щитовидной железы и как следствие к развитию не только эндемического зоба, но и других тяжелых заболеваний. Йод является важнейшим участником процесса формирования пищевой цепи: почва—природные воды—растения—животные—человек. На этом фоне изучение его поведения в объектах окружающей среды (почвах, природных водах и растениях), и, прежде всего, в почвах, как начальном звене цепи, приобретает все большее значение [1–3]. Наиболее важным является исследование процессов трансформации йода в почве агроценозов в аспекте доступности данного микроэлемента выращиваемым культурам.

Известно, что основной источник поступления йода в почву — атмосфера, в которой его содержание определяется близостью к океану [4]. В этой связи масштабы и сама вероятность поступления йода во внутриконтинентальные регионы достаточно неопределенны. В последние годы был получен довольно значительный экспериментальный массив данных о содержании йода в

различных природных объектах Тувы, Забайкалья, Центрального Черноземья и Западной Сибири [4–7]. Однако многое в поведении йода остается еще не ясным. К числу таких не изученных вопросов относится и способность почв к поглощению этого микроэлемента, что крайне важно для прогнозирования ситуации с обеспеченностью йодом интенсивных агроценозов и определения необходимости его внесения с удобрениями. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют, что обработка посевов растворами KI в оптимальной концентрации является эффективным приемом для обогащения наземных органов растений йодом [8]. Йодсодержащие удобрения достаточно дорогие, но, учитывая их значимость, в ближайшем будущем могут быть созданы более дешевые аналоги, что потребует определенных знаний об ответной реакции почв агроценозов на внесение галогена.

В структуре пахотных земель Западной Сибири значительное место занимают серые лесные почвы: в Новосибирской обл. — ~15%, в Кемеровской — 30, в Томской — 74% от площади пашни [9–11]. Общность почвообразующих пород — лесовидных суглинков — определяют их однотипные свойства с другими зональными почвами земледельческой зоны региона, прежде всего,

оподзоленными и выщелоченными черноземами. В связи с этим результаты, полученные на определенных почвенных разностях, можно экстраполировать и на другие генетически сопряженные почвы зоны [12].

Цель работы – изучение потенциальной способности серой лесной среднесуглинистой почвы к поглощению йода и ее изменений при сельскохозяйственном использовании.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение специфики поглощения йода проводили в образцах целинной серой лесной среднесуглинистой почвы и в вариантах многолетнего (30 лет) полевого опыта, заложенного на этой почве [12]. Использовали наиболее контрастные варианты опыта: без удобрений и внесение NPK. В варианте “без удобрений” при постоянном выращивании сельскохозяйственных культур удобрения не вносили в течение 30 лет. В варианте NPK ежегодно вносили сбалансированные научно обоснованные дозы минеральных удобрений (N_{aa} , P_{cd} и K_x) и выращивали сельскохозяйственные культуры. Образцы для исследования были отобраны осенью 2017 г. после уборки урожая почвенным буром послойно до глубины 100 см (слои 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см почвы) в четырехкратной повторности.

Исследования поглотительной способности почвы по отношению к йоду проводили в лабораторных опытах. Почвенные образцы массой 5 г заливали раствором йодида калия ($V = 75$ мл) с концентрациями 10^{-4} и 10^{-3} моль/л, время взаимодействия системы почва–раствор составило 1, 4, 6 и 8 сут. На первой стадии опыта образцы почвы взаимодействовали с 75 мл раствора KI с концентрацией 10^{-4} моль/л (0.9525 мг йода), на второй стадии – с тем же объемом KI (75 мл) с концентрацией 10^{-3} моль/л (9.525 мг йода). По окончании каждого из этих сроков и последующей фильтрации по разнице в количестве йода, использованного для взаимодействия с почвой и найденного в фильтрате, определяли его количество, поглощенное почвой. Анализ содержания йодид-анионов проводили кинетическим роданидно-нитритным методом в четырехкратной повторности [13].

Физико-химические свойства почвы (содержание гумуса, величина pH, гранулометрический состав), оказывающие влияние на поглощение галогена, определили общепринятыми методами [14]. Статистическую обработку провели по [15].

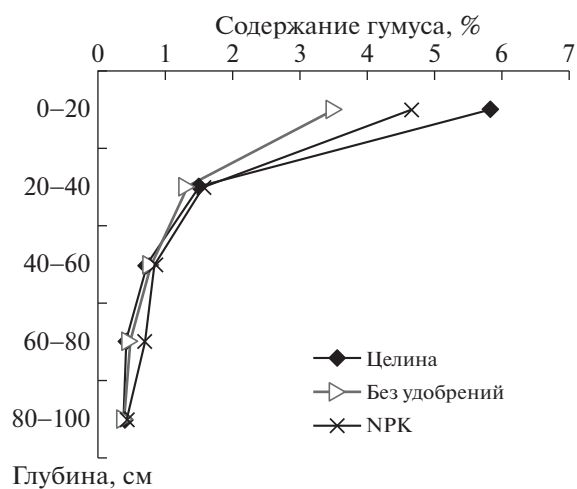


Рис. 1. Содержание гумуса в различных слоях серой лесной почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При длительном сельскохозяйственном использовании почвы в полевом опыте произошли некоторые изменения ряда ее физико-химических свойств (относительно целины), способных повлиять на процессы фиксации йода.

Исследованная целинная серая лесная почва характеризовалась довольно высоким содержанием гумуса ($\approx 6\%$ в слое 0–20 см почвы). При ее длительном экстенсивном сельскохозяйственном использовании в варианте полевого опыта без удобрений произошло заметное снижение содержания гумуса в пахотном слое (рис. 1) в связи с перманентными процессами его минерализации. В почве варианта NPK содержание гумуса занимало промежуточное положение, что свидетельствовало о том, что регулярное внесение минеральных удобрений в сбалансированных дозах оптимизировало продукционный процесс выращиваемых культур и способствовало поступлению в почву большего количества растительных остатков. Ниже по профилю почвы содержание гумуса практически не отличалось.

Длительное использование минеральных удобрений в варианте NPK способствовало небольшому подкислению почвы до глубины 40 см (рис. 2) по сравнению с целиной, тогда как экстенсивное использование почвы (вариант без удобрений) не отразилось на величине показателя pH.

Содержание физической глины и илстой фракции в профиле почвы (в пределах 0–100 см) изменялось незначительно (рис. 3). При этом во всех слоях отмечено постепенное увеличение содержания физической глины от слоя 0–20 см к слою 40–60 см, далее к слою 80–100 см почвы оно

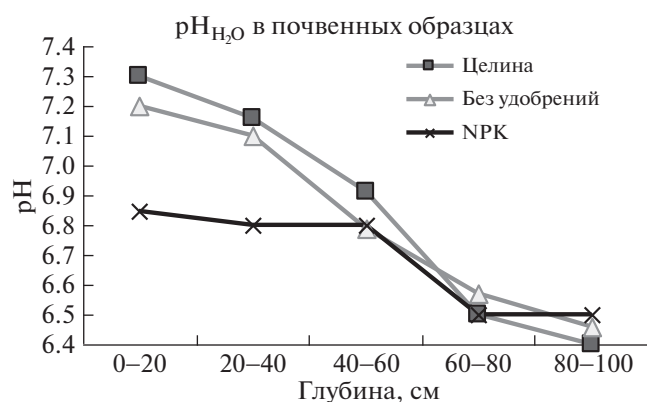


Рис 2. Величина pH_{H_2O} различных слоев серой лесной почвы.

плавно уменьшалось. По абсолютной величине эти показатели незначительны, увеличение было в пределах 3.8% в варианте без удобрений и 1.8% – в варианте NPK в сравнении с целиной. Максимум содержания илистой фракции в вариантах без удобрений и NPK отмечен в слое 60–80 см почвы, в целинной почве – в слое 40–60 см, при этом по сравнению с целиной оно было больше на 3.7% и меньше на 1.9% соответственно. Таким образом, при длительном сельскохозяйственном использовании почвы выявлена слабая тенденция к утяжелению ее гранулометрического состава.

Результаты ранее проведенных исследований показали [16], что вынос йода в агроценозах прямо пропорционален урожайности и дозам внесенных удобрений, особенно калийных; соответ-

ствующим образом нарастает и дефицит йодного баланса. Среднегодовой дефицит баланса йода в контрольном варианте опыта без удобрений составлял 0.11 г/га, в варианте NPK – 0.75 г/га. Несмотря на малые абсолютные количества выносимого урожаем йода, его многолетний отрицательный баланс может привести к дефициту этого микроэлемента в интенсивных агроценозах, что и подтвердило наше исследование. В полевых опытах содержание водорастворимого йода в пахотном слое почвы варианта NPK существенно снизилось по сравнению с контрольным вариантом: при содержании в почве контроля 0.027 мг I/кг, в почве варианта NPK оно составило 0.01 мг I/кг [17].

Лабораторные опыты по изучению поглощательной способности почвы к йоду, в различной степени истощенной в отношении йода, показали следующие результаты (рис. 4). В первой стадии опыта, в которой почвенные образцы всех вариантов взаимодействовали с раствором KI с концентрацией 10^{-4} моль/л в течение 1, 4, 6 и 8 сут, было отмечено, что внесенный йод полностью поглотился почвой, т.к. в фильтрате йод не обнаружили. Во второй стадии опыта, когда почвенные образцы взаимодействовали с раствором KI с концентрацией 10^{-3} моль/л, процесс поглощения элемента отличался от того, который наблюдали в первом случае, при полном поглощении йода почвой. Во второй стадии опыта поглощение йода происходило не столь активно, а потому в фильтрате обнаружили остаточные количества галогена. Отсутствие полного поглощения йода свидетельствовало о том, что поглощи-

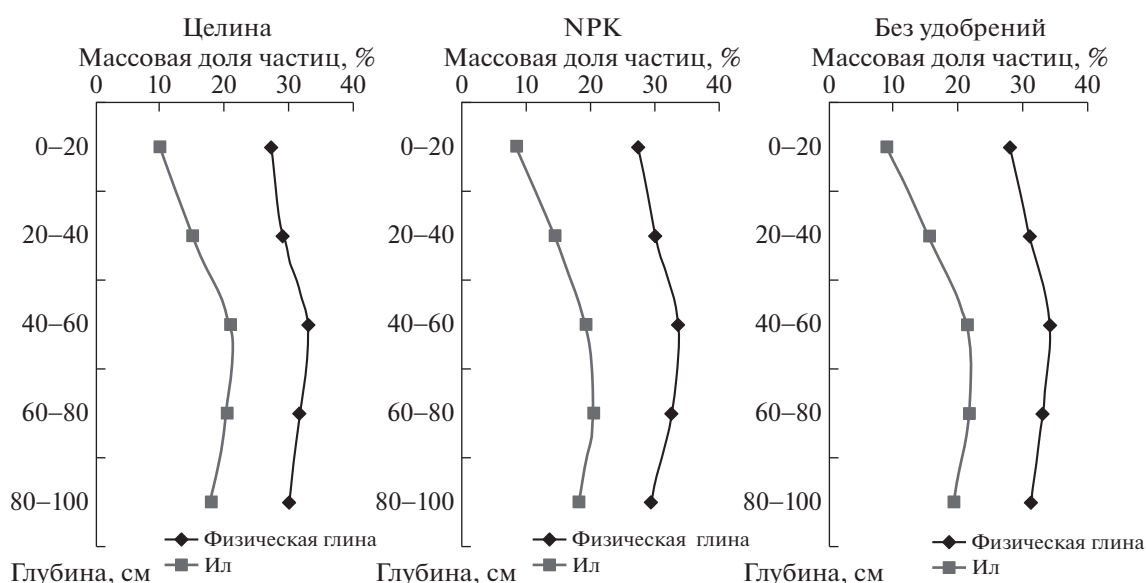


Рис. 3. Содержание физической глины и илистой фракции в различных слоях серой лесной почвы.

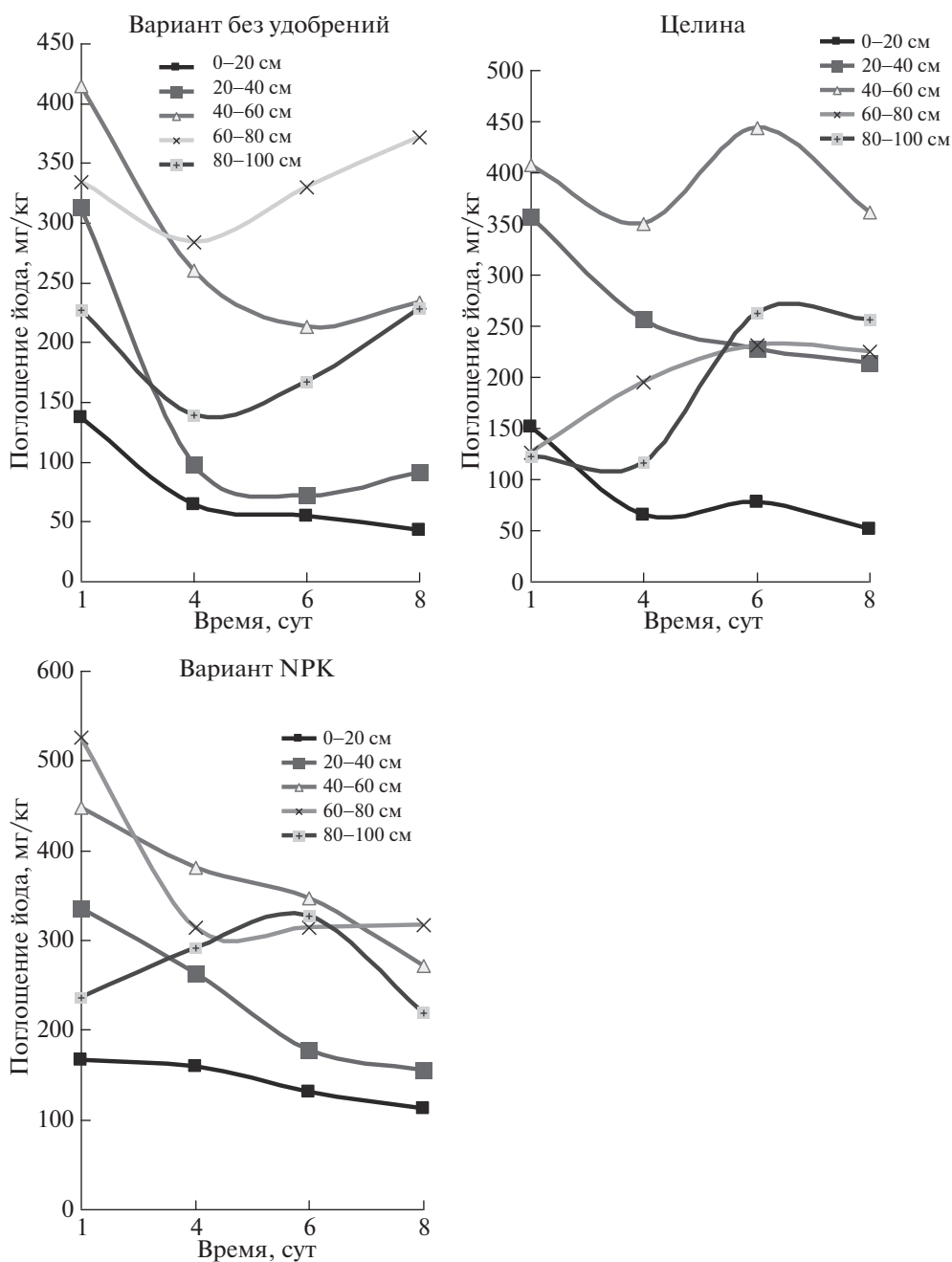


Рис. 4. Поглощение йода из раствора KI образцами разных слоев серой лесной почвы.

тельная способность серых лесных почв по отношению к йоду имеет определенный предел, наступающий значительно быстрее, чем у черноземов [18].

Наибольшее количество йода поглощалось слоем 0–20 см почвы за первые сутки ее взаимодействия с раствором KI. По мере увеличения времени взаимодействия (4, 6 и 8 сут) интенсивность поглощения галогена почвой заметно уменьшалась. Наименьшим снижением интен-

сивности поглощения йода в 1.04–1.49 раза от 1-х до 8-х сут характеризовалась почва варианта NPK, тогда как для целинной почвы оно изменялось от 2.3 до 2.95 раза, для почвы варианта без удобрений – от 2.1 до 3.24 раза. Полученные результаты могут свидетельствовать в пользу того, что внесение минеральных удобрений в оптимальной дозе не является существенным препятствием для поглощения галогена. Более того, ранее было показано, что внесение NPK в научно

обоснованных дозах оптимизирует режим галогенов в агроценозах [16, 17].

Отмечено еще одно различие в процессе поглощения микроэлемента изученными образцами серой лесной почвы. Максимум поглощения галогена во всех использованных временных параметрах был следующим: для целинной серой лесной почвы он отмечен в слое 40–60 см на 6-е сут, в варианте без удобрений – только в первые сутки в этом слое, на 4-, 6- и 8-е сут – в слое 60–80 см почвы. В почвенных образцах варианта НРК максимум поглощения микроэлемента отмечен в слое 60–80 см в первые сутки. Очевидно, что такие изменения в поглощении галогена могли быть обусловлены действием нескольких факторов.

Результаты проведенных за рубежом исследований показали, что при $pH > 6.0$ среди органических комплексов йода доминируют подвижные низкомолекулярные соединения с фульвокислотами [19]. За то время, когда почвенные образцы взаимодействуют с раствором KI, могут образоваться соединения, оказывающие влияние на динамику микроэлемента в почвенных слоях в процессе его поглощения. Во всех исследованных почвенных образцах величина $pH > 6$, а с учетом того, что содержание фульвокислот в серых лесных почвах значительно (27–50%) [20], то это было вполне возможно. Кроме того, промывной режим, характерный для этого типа почв, создает условия для выноса галогена из верхнего слоя вниз по почвенному профилю, что способствовало некоторому концентрированию йода в слоях 40–60 и 60–80 см почвы до начала взаимодействия с раствором KI.

Содержание валового йода в почвенных слоях варианта НРК до начала эксперимента изменялось в следующем порядке: 0–20 см – 1.4–1.5, 20–40 см – 1–1.1, 40–60 см – 1.7–1.8, 60–80 см – 1.6–1.7, 80–100 см – 1.2–1.4 мг/кг. Поэтому вполне закономерно, что в слоях 40–60 и 60–80 см почвы обнаружили большее количество поглощенного йода, т.е. свой вклад в поглощенное количество внесло исходное содержание элемента в почве.

Кроме того, согласно исследованиям [21], повышенное содержание кислорода в фульвокислотах (40–50%) в сравнении с гуминовыми кислотами (32–38%) может оказывать негативное влияние на химическое взаимодействие этих кислот с иодид-анионом из-за возможного электростатического отталкивания между отрицательно заряженными анионами O_2^- и I^- . В результате этого возможно усиление варьирования в процессе поглощения галогена.

Количество поглощенного йода образцами варианта НРК в первые сутки различалось по максимумам поглощения: от 4-х сут – на 28, от 6-ти сут – на 34, от 8-ми сут – на 40% больше. Аналогичный ход изменения максимального количества поглощенного йода отмечен и в варианте без удобрений – на 32, 21 и 11% и в целинной почве – на 9, 12 и 19% больше. Полученные данные свидетельствовали о наиболее активном поглощении галогена в первые сутки, что могло быть связано с наличием свободных функциональных групп, способных взаимодействовать с йодид-анионом. По мере их связывания скорости реакций замещения, присоединения или комплексообразования с галогеном уменьшались. Отмеченная противоположная закономерность различий максимума поглощения йода в слоях целинной почвы, как предполагаем, была обусловлена его относительно равновесным состоянием, отсутствием вспашки, значительным прогреванием почвы и более медленно разлагающимися остатками растений.

Динамика изменения количества поглощенного галогена во всех образцах по суткам свидетельствовала, что только в слое 0–20 см почвы всех исследованных образцов и слое 20–40 см целинной почвы отмечено устойчивое уменьшение количества поглощенного йода от 1-х к 8-м сут. В остальных слоях всех исследованных почв наблюдали изменения в количестве поглощенного микроэлемента от 1-х до 8-х сут включительно.

Различие в поглощении йода между целинной серой лесной почвой и вариантом без удобрений могло быть связано, по нашему мнению, с перманентным отчуждением галогена урожаями выращиваемых культур.

Полученные результаты поглощения йода почвенными образцами варианта НРК указывали, что в поглощении галогена не было аналогии целинной серой лесной почве и варианту без удобрений. Такие результаты были ожидаемыми, т.к. систематическое внесение удобрений в течение достаточно длительного времени привело к некоторому изменению физико-химических свойств почвы, что, по-видимому, влияло на процесс поглощения микроэлемента. Изменения касались как содержания гумуса, которое в слое 0–20 см почвы уменьшилось на 20.2%, при этом в остальных слоях оно повышалось от 6.3 до 10.4% в сравнении с целинной почвой, так и величины pH , которая заметно снижалась в слоях 0–20 и 20–40 см почвы, а ниже по профилю оставалась на уровне pH целинной почвы. Увеличение содержания гумуса в данном варианте, очевидно, было связано с более интенсивным поступлением в почву рас-

тительных остатков, а длительное внесение минеральных удобрений способствовало некоторому подкислению почвы, что усиливало поглощение йода, о чем свидетельствовал опыт японских исследователей [22]. Изучение адсорбции йодид- и йодат-анионов с использованием радиоактивного изотопа йода в образцах андосолей, богатых аллофанами (силикатами алюминия), показало, что количество поглощенного йода возрастало с уменьшением величины рН, что, по мнению авторов, указывало на преобладание механизма электростатической адсорбции. По-видимому, это вполне закономерно, т.к. увеличение концентрации иона водорода в системе должно компенсироваться усилением поглощения отрицательно заряженных частиц. Так как опыты проводили в замкнутой системе (сосудах), это позволило установить факт более интенсивного поглощения йода при подкислении почвы.

Экспериментально установлено, что при фильтрации растворов может происходить как задержка солей почвой (гиперфильтрация или обратный осмос), так и преимущественный вынос анионов – “ионный фильтрационный эффект” [23]. В представленных в настоящей работе опытах отмечены именно эти явления, только мы рассматривали первый этап, как процесс поглощения йодида калия, а второй – как переход анионов йода из почвы в фильтрат. На основании этого можно прийти к заключению, что гиперфильтрация (в нашем случае – поглощение KI), а также преимущественный вынос йодид-аниона более интенсивно происходят в первые сутки.

Далее необходимо выяснить степень влияния содержания гумуса, величины рН и гранулометрического состава на поглощение галогена. Так как наиболее активно процесс поглощения йода отмечен в первые сутки, рассчитали коэффициент корреляции (r) для всех вышеназванных параметров для первых суток [15]. Расчеты показали, что корреляция была отрицательной для целинной почвы и для содержания гумуса и йода во всех вариантах, для величин рН – содержание йода корреляция была положительной для целины ($r = 0.45$) и отрицательной для вариантов опыта. Для параметров содержание ила – содержание йода корреляция была положительной ($r = 0.19$ для целины, 0.81 – для варианта без удобрений и 0.8 – для варианта NPK).

Поскольку степень сопряженности в вариации 2-х величин точнее измеряется квадратом коэффициента корреляции (r^2) – коэффициентом детерминации (d_x), рассчитали и его, тем более что для параметров содержание гумуса – содержание

йода и величина рН – содержание йода величина r была отрицательной в некоторых случаях. Получены следующие величины d_{yx} : для целины и параметров содержание гумуса – содержание йода – 0.04 , для величины рН – содержание йода – 0.2 ; в варианте без удобрений – 0.48 и 0.1 , в варианте NPK – 0.41 и 0.1 соответственно. Для параметров содержание ила – содержание йода d_{yx} был равен 0.04 , 0.66 и 0.64 .

Таким образом, полученные результаты указывали на то, что на поглощение йода целинной серой лесной почвой и почвой вариантов опыта влияние, оказываемое величиной содержания илистой фракции, гумуса и величиной рН, было следующим: в вариантах без удобрений и NPK более значимо влияние илистой фракции, затем гумуса и рН, в целинной почве большее значение ила величина рН, а влияние содержания ила и гумуса было одинаковым.

В ранее проведенных исследованиях было показано, что процесс поглощения йода черноземом обыкновенным и черноземом обыкновенным солонцеватым происходит по аналогичной схеме [14]. Почвенные образцы полностью поглощают йод из растворов KI с концентрациями 10^{-4} и 10^{-3} моль/л. При использовании раствора KI с концентрацией 10^{-2} полное поглощение йода не наблюдали. Это небольшое различие обусловлено большей склонностью чернозема к поглощению йода.

Процесс поглощения йода черноземами определяется несколькими важными факторами, такими как содержание в них гумуса, гранулометрический состав, прежде всего, содержание илистой фракции, реакция почвенной среды, определяющая водный режим, и подвижность галогена, а, следовательно, и его способность к закреплению в почве [18].

Гумусовое вещество почвы содержит около 15 различных видов функциональных групп [24], из которых наиболее важными для взаимодействия с йодом являются гидроксильные, карбонильные, карбоксильные, фенольные и аминогруппы. Гидроксильная группа карбоновых кислот легко замещается анионом йода с образованием галоидангидридов кислот типа $C_nH_{2n+1}COI$, ненасыщенные карбоновые кислоты реагируют с йодом по двойной связи. Фенол и его производные активно взаимодействуют с йодом, т.к. водород гидроксильной группы весьма подвижен. Сама гидроксильная группа, являясь заместителем первого рода, направляет галоген в *орто*- и *пара*-положения, в результате чего образуются изомеры. По аналогичной схеме происходит и йодирование ароматиче-

ских аминов, в которых аминокетонная группа, подобно гидроксильной в фенолах, существенно облегчает этот процесс, в результате чего йод стремится занять все свободные *орто*- и *пара*-положения, что приводит к образованию 3-х изомеров, следовательно, к увеличению числа йодистых соединений.

Для минеральных компонентов почвы взаимодействие с йодид-анионом более характерно по механизмам сорбции, окклюзии, реакциям комплексообразования и обмена. Эти компоненты по способности концентрировать галоген уступают органическому веществу, т.к. процессу сорбции может сопутствовать и десорбция, а химическому взаимодействию — параллельные реакции.

Отмеченные различия в поглощении йода черноземом и серой лесной почвой обусловлены не только преобладанием гуминовых кислот в черноземах, но, согласно [24], и несколько большим содержанием в них углерода, чем в других автоморфных почвах: 57.9 — в черноземе, 54.5% — в серых лесных почвах. Это может привести к увеличению числа реакционно способных групп, что обеспечит более активное взаимодействие с йодом, как в реакциях присоединения, так и замещения. Серые лесные почвы более обогащены фульвокислотами и менее склонны к концентрированию йода. Согласно литературным данным, гуминовые кислоты способны концентрировать до 88% галогена, фульвокислоты — только 12% [25]. В целом, механизмы процесса поглощения йода серой лесной почвой и черноземом существенно не отличаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что серая лесная среднесуглинистая почва интенсивного агроценоза (вариант НРК) поглощала йод значительно сильнее, чем аналогичная почва экстенсивного агроценоза (без удобрений). Следовательно, интенсивное поглощение почвой поступающего извне йода (с атмосферными осадками или удобрениями) может усилить дефицит этого элемента для выращиваемых культур на истощенных в отношении йода почвах.

Установлено, что, помимо длительного дефицита йода, на интенсивность его поглощения почвой влияет ряд ее физико-химических свойств, которые могут изменяться в процессе сельскохозяйственного использования почвы. Из изученных факторов (в полученных интервалах величин) наибольшее влияние оказало почвенное содержание илистой фракции, менее значимое — количество гумуса, еще менее — реакция почвенной

среды. Изучение потенциальной способности серых лесных почв к поглощению йода выявило, что у этих почв она развита слабее, чем у генетически сопряженных региональных черноземов.

Таким образом, в агроценозах с оптимизированным минеральным питанием и повышенной продуктивностью следует уделять дополнительное внимание обеспеченности культур йодом, учитывая физико-химические особенности используемой почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 495 с.
2. *Герасимов Г.А., Фадеев В.В., Свиреденко Н.Ю., Мельниченко Г.А., Дедов И.И.* Йоддефицитные заболевания в России. Простое решение сложной проблемы. М., 2002. 168 с.
3. *Савченков М.Ф., Селятицкая В.Г., Колесников С.И.* Йод и здоровье населения Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. 286 с.
4. *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Ленинград: Наука, 1987. 261 с.
5. *Лузанов А.В.* Приоритетные элементы (I, Se, Mn, Co, Cu, Zn, Hg) в наземных экосистемах Тувинской горной области: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2005. 43 с.
6. *Протасова Н.А., Щербаков А.П.* Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 368 с.
7. *Конарбаева Г.А.* Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 200 с.
8. *Кашин В.К.* Йод в объектах окружающей среды Забайкалья и эффективность обогащения им растений // Химия в интересах устойчивого развития. 2008. Т. 16. С. 173–182.
9. *Хмелев В.А., Каличкин В.К., Азаренко В.Г., Шипилин Н.Н.* Агроэкологические основы землепользования в Томской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 231 с.
10. *Хмелев В.А., Танасиенко А.А.* Земельные ресурсы Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 349 с.
11. *Хмелев В.А., Танасиенко А.А.* Почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 477 с.
12. *Якименко В.Н.* Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 230 с.
13. *Проскураева Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
14. *Агрохимические методы исследования почв.* М.: Наука, 1975. 656 с.

15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Якименко В.Н., Конарбаева Г.А. Влияние калийных удобрений на содержание макроэлементов и галогенов в картофеле // Агрохимия. 2015. № 1. С. 50–56.
17. Якименко В.Н., Конарбаева Г.А. Влияние длительного применения хлористого калия совместно с азотно-фосфорными удобрениями на содержание галогенов в профиле почвы агроценоза // Агрохимия. 2012. № 12. С. 53–60.
18. Конарбаева Г.А. Поглощительная способность черноземов по отношению к бром и йоду // Агрохимия. 2010. № 10. С. 44–51.
19. Kodama S., Takahashi Y., Okumura K., Uruga T. Speciation of iodine in solid environmental samples by iodine K-edge XANES: Application to soils and ferromanganese oxides // Sci. Total Environ. 2006. № 363. P. 275–284.
20. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: Из-во АН СССР, 1963. 314 с.
21. Schnitzer M. Recent findings on the characterization of substances extracted from soils from widely differing climatic zones // Soil organic matter studies. Proc. Symp. of Braunschweig, 6–10 September 1976. Vienna, 1977. P. 117–132.
22. Yashida S., Muramatsu Y., Uchida S. Studies of the sorption of I^- (iodide) and IO_3^- (iodate) onto andosols // Water Air and Soil Pollut. 1992. V. 63. № 3–4. P. 321–329.
23. Пакушина С.М. Передвижение солей в почве. М.: Наука, 1980. 120 с.
24. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1085. 376 с.
25. Дарер Р.С., Мазурова А.Л., Мун А.И. Некоторые данные о формах нахождения брома, йода и бора в озерных осадках и почвах // Изв. АН Казахской ССР. Сер. хим. 1966. № 4. С. 8–12.

Absorption Capacity of Gray Forest Soil Relative to Iodine

G. A. Konarbaeva^{a,#} and V. N. Yakimenko^a

^a Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS
prosp. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia

[#] E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

The absorption of iodide anion by gray forest medium loamy soil was studied in laboratory experiments. Similarities and differences in the process of iodine uptake by virgin soil and soil of long-term field experiment were revealed. It was established that the most intensive absorption of the halogen occurs in the soil of the treatment with long-term application of optimal rates of mineral fertilizers. It provided increased yields and, correspondingly, enhanced iodine consumption by crops in previous years. Factors affecting the degree of iodine uptake by soil can be located in the following decreasing order: content of clay fraction > humus content > reaction of the medium. It was shown that the potential ability of gray forest soils to absorb iodine was much lower than that of chernozems.

Key words: absorptive capacity, gray forest soil, iodine.