

УДК 631.41:546.15:546.16:631.445.4(571.13)

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЙОДА И ФТОРА В ПОЧВАХ ИШИМСКОЙ СТЕПИ¹

© 2021 г. Г. А. Конарбаева^{1, *}, Е. Н. Смоленцева¹, Ю. В. Кравцов²

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

² Новосибирский государственный педагогический университет
630126 Новосибирск, ул. Вилюйская, 28, Россия

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

Поступила в редакцию 13.08.2020 г.

После доработки 12.12.2020 г.

Принята к публикации 11.03.2021 г.

Изучены особенности содержания и закономерности распределения валовой и подвижных форм йода и фтора в почвах различных угодий (пашня, лесополоса, целина) Ишимской степи. Установлено, что валовое содержание йода и фтора в черноземе южном обычном и карбонатном и в лугово-черноземной выщелоченной почве находится примерно в том же диапазоне, что и в подобных почвах других территорий Западной Сибири. На различие в содержании галогенов в черноземах южных оказал влияние тип угодий, в качестве которых их используют. Наиболее значимая связь отмечена между содержанием галогенов и илистой фракцией почв.

Ключевые слова: черноземы, агроземы, Ишимская степь, галогены йод и фтор.

DOI: 10.31857/S0002188121060077

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая значимость йода и фтора для нормального функционирования живых организмов очень важна и требует всестороннего изучения их содержания и распределения в различных объектах окружающей среды (почвах, водах и растительности) [1, 2]. Тем не менее природные объекты на огромной территории нашей страны в этом плане еще недостаточно изучены.

Установлено, что дефицит фтора снижает устойчивость зубной эмали, вследствие чего происходит разрушение зубов (кариес), а избыток его приводит к эндемическому флюорозу, поражению зубов и скелета, остеопорозу [1]. Йод входит в состав тироксина — гормона щитовидной железы, регулирующий скорость обмена веществ в живых организмах. Дефицит йода является причиной развития в организме человека эндемического зоба, сахарного диабета [3], избыток — йододермы [1]. У животных йодная недостаточность проявляется в замедлении их роста и развития [4].

Занимаясь детальным изучением галогенов в природных объектах Западной Сибири [5–7], ав-

торы сочли целесообразным продолжить эти исследования почв некоторых территорий Западной Сибири, не вошедших по разным причинам в более ранние исследования.

Объектами изучения послужили почвы Ишимской степи, которая находится на юге-востоке Омской обл. в южной части Ишим-Иртышского междуречья. Территория степи характеризуется плоским рельефом с абсолютной высотой поверхности 100–150 м н.у.м, осложненным неглубокими микропонижениями — ложбинами и замкнутыми западинами. В почвенном покрове преобладают черноземы южные обычные и карбонатные мало-мощные тяжелосуглинистые, в микропонижениях встречаются лугово-черноземные почвы [8].

При всей значимости данных о валовом содержании фтора и йода, позволяющих представить их распределение и накопление в почвенном профиле, следует отметить их главный недостаток — по валовому количеству галогенов сложно судить об экологической ситуации в агроценозах. По мнению Ильина [9], учет только валового содержания следует признать малопригодным при агрохимической и тем более при экологической оценке почв. Это связано с тем, что даже на загрязненных почвах в силу их буферных свойств и защитных

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Разрез/угодые	Название почвы по классификации 1977 г.	Название почвы по классификации 2004 г.	Формула профиля по классификации 2004 г.
7-9Иш/пашня	Чернозем южный карбонатный засоленный	Агрозем темный дисперсно-карбонатный засоленный гипс-содержащий	PU'ca–PU''ca–BCAdc–Vca,cs–BCca–Cca
8-9Иш/пашня	Лугово-черноземная выщелоченная	Агрозем темный глинисто-иллювиальный квазиглееватый	PU'–PU''–BI–BCAdc–BCca–Cca
143-19Иш/лесополоса	Чернозем южный обычный	Чернозем дисперсно-карбонатный постагрозенный гипс-содержащий	AO–AUpa–AU–BCAdc–Vca,cs–BCca–Cca
150-19Иш/целина	Чернозем южный обычный	Чернозем дисперсно-карбонатный гипс-содержащий	Ad–AU–BCAdc–Vca,cs–BCca–Cca

функций растений, можно получать чистую продукцию. В связи с этим важно иметь информацию о содержании и распределении подвижных форм фтора и йода, способных поступать в растения. Цель работы – исследование содержания и распределения йода и фтора в почвах Ишимской степи.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были черноземы южные и лугово-черноземная почва, используемые как различные типы угодий (табл. 1). Название почв даны в соответствии с 2-мя классификациями 1977 г. [10] и 2004 г. с дополнениями [11]. В почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам, определяли следующие показатели: содержание органического углерода ($C_{орг}$) по методу Тюрина, содержание карбонатов – газовойметрическим методом, pH_{H_2O} – потенциометрическим методом. Анализ гранулометрического состава проводили по методу Качинского с пробоподготовкой пирофосфатом натрия. В этих же образцах валовое содержание фтора определяли спектрофотометрическим методом с ализаринкомплексом без предварительной отгонки фтора по методике [12], подвижную форму – по разработанной нами методике [13]. Валовое содержание йода определяли кинетическим роданидно-нитритным методом [14], кислоторастворимую форму йода – раствором 1 М HCl, солерастворимую – по методике [15] раствором 0.1 н. KCl. Статистическую обработку данных провели по [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

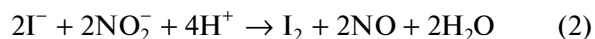
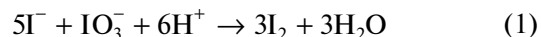
Физико-химическую характеристику данных почв рассматривали в контексте, необходимом

для изучения в них содержания и закономерностей распределения валового количества и подвижных форм фтора и йода, а также солерастворимой формы йода (табл. 2).

Существует ряд факторов, ответственных за аккумуляцию и миграцию данных галогенов в почвах. К ним относятся реакция почвенной среды, содержание органического вещества, гранулометрический состав, тип водного режима и химические свойства фтора и йода. Одинаковая направленность данных факторов положительно сказывается на аккумуляции фтора и йода, если же они имеют разнонаправленный характер, то это негативно влияет на аккумуляцию галогенов и доминирующим может стать процесс их миграции. Особенно это относится к йоду.

Реакция почвенной среды играет значительную роль, т.к. она свидетельствует о способностях почвы к накоплению или потери данных галогенов. Щелочные почвы обладают низкой способностью к фиксации фтора, в то время как в почвах с кислой реакцией отмечена более высокая поглощательная способность по отношению к фтору [17, 18].

Что касается йода, способного к улетучиванию, то в кислой среде возможны следующие реакции [19], в результате которых образуется свободный йод, в дальнейшем улетучивающийся:

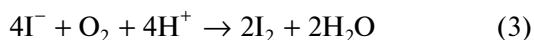


Следует отметить, что вероятность данных реакций в почвенных условиях невелика по ряду причин: концентрация йодат-анионов в условиях кислой реакции почвенной среды не может быть существенной, кроме этого и содержание нитрит-анионов также весьма незначительно в почве. Тем не менее, эти реакции вполне осуществимы.

Таблица 2. Физико-химические свойства изученных почв Ишимской степи

Горизонт	Образец, см	рН _{H2O}	УЭП, мл см/см ³	C _{орг}	CaCO ₃	Ил	Физическая глина
Разр. 7-19Иш, агрозем темный дисперсно-карбонатный засоленный							
PU'ca	0–12	8.02	0.28	2.14	4.23	18.1	47.8
PU"ca	12–24	7.83	0.19	2.07	4.23	16.4	46.7
ABca	30–40	8.08	1.22	1.37	5.92	35.2	61.2
BCAdc	50–60	8.07	2.65	0.96	19.01	34.3	60.6
BCAdc	70–80	8.22	2.37	0.66	11.83	34.4	60.1
Bca,cs	110–120	8.06	3.42	1.08	10.14	31.3	55.8
BCca	140–150	8.00	3.09	0.40	9.30	32.7	56.8
Cca	160–170	7.87	3.12	0.46	7.61	н/о	Не определяли
Разр. 8-19Иш, агрозем темный глинисто-иллювиальный квазиглееватый							
PU'	0–14	6.47	0.11	3.70	2.54	18.0	49.0
PU"	14–24	6.51	0.21	3.27	2.54	20.5	51.0
BI	30–40	6.47	0.67	1.63	1.69	34.8	58.0
BI	60–70	7.22	0.11	0.62	1.69	37.5	54.0
BCAdc	80–90	8.36	0.33	0.30	8.46	36.4	55.0
BCAdc	100–110	8.39	0.51	0.31	12.69	37.2	57.0
BCca	130–140	8.43	0.57	0.15	17.77	35.7	59.0
Cca	170–180	8.47	0.68	0.13	10.03	36.6	56.0
Разр. 143-19Иш, чернозем дисперсно-карбонатный постагрогенный гипс-содержащий							
AO	0–5	7.02	0.24	3.31	2.09	21.4	48.2
AUpa	5–15	6.56	0.10	2.61	2.09	27.6	57.1
AUpa	15–25	6.32	0.65	2.23	2.09	25.7	55.4
AU	25–35	6.52	0.70	2.17	1.67	22.9	54.6
AB	38–48	7.11	0.12	1.20	2.10	31.9	61.9
BCAdc	65–75	7.92	0.18	0.96	15.10	40.5	69.3
BCAdc	85–95	8.15	0.20	0.28	14.68	43.5	67.3
Bca,cs	110–120	7.65	1.72	0.12	8.39	36.4	57.5
BCca	130–140	7.68	1.48	0.24	7.13	27.6	39.6
Разр. 150-19Иш, чернозем дисперсно-карбонатный гипс-содержащий							
AUd	0–3	6.61	Не определяли	3.91	2.09	13.0	34.9
AU	3–8	6.48		3.48	2.50	16.9	40.2
AU	8–18	6.80		3.42	2.50	14.8	37.6
AB	22–32	7.94		1.50	1.67	26.2	43.1
BCAdc	40–50	8.27		0.71	11.68	29.4	48.8
BCAdc	60–70	8.48		0.39	12.52	33.8	53.8
Bca,cs	80–90	8.99		0.24	11.68	32.8	49.8
BCca	108–118	8.82		0.17	11.27	37.6	55.2
Cca	130–140	8.85		0.20	10.85	35.7	53.2

Под действием солнечного света и кислой среды происходит окисление йода кислородом воздуха и потери его с поверхности почв:



В то же время реакции, проходящие в условиях щелочной почвенной среды с участием анионов йода, прямо или косвенно приводят к образованию наиболее устойчивых его анионов (I^- и IO_3^-).

Особенности реакции среды изученных почв обусловлены элювиально-иллювиальным характером распределения в их профиле карбоната кальция с образованием карбонатно-аккумулятивного горизонта (ВСА) в средней части профиля. Например, чернозем южный карбонатный (7–19Иш) характеризуется слабощелочной и щелочной реакцией среды по всему профилю в связи карбонатностью всех горизонтов. Остальные почвы имеют в верхней части профиля бескарбонатную зону со слабокислой и нейтральной реакцией среды. Наиболее низкие величины $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ отмечены в гумусовом горизонте почвы под лесополосой. Максимальная мощность бескарбонатной зоны (80 см) зафиксирована в лугово-черноземной выщелоченной почве (8–19Иш), что обусловлено более глубоким выщелачиванием карбонатов под влиянием дополнительного поверхностного увлажнения.

Естественный барьер, создаваемый карбонатами на пути миграции ионов фтора и йода, предполагает фиксацию последних благодаря процессам окклюзии, сорбции и реакциям обмена (5, 20, 21). В изученных почвах Ишимской степи вертикальное распределение валовой формы йода имеет сходный характер с распределением карбонатов.

Содержание гумуса и его гуматно-фульватный состав является важным показателем прежде всего для йода. О приоритетности вхождения йода в состав органического вещества свидетельствует ряд исследований [22, 23]. Однако стоит отметить, что согласно исследованиям Schnitzer [24], повышенное содержание кислорода в фульвокислотах (40–50%) в сравнении с гуминовыми кислотами (32–38%) может, по нашему мнению, оказывать негативное влияние на химическое взаимодействие этих кислот с йодид-анионом из-за возможного электростатического отталкивания между отрицательно заряженными анионами O_2^- и I^- . Распределение органического вещества в изученных почвенных профилях закономерно снижается от верхних горизонтов к нижним.

Для фтора содержание гумуса менее значимо, поэтому не случайно, что концентрация фтора

увеличивается вниз по профилю почвы из-за роста содержания фракций физической глины и ила. Одна из причин слабого накопления фтора в верхних горизонтах — его нисходящая миграция вследствие слабой сорбирующей способности органического вещества к фтору [25]. Еще одна причина — малочисленность возможных реакций между органическим веществом и фтором по причине того, что прямое фторирование углеводов является очень сильным экзотермическим процессом, а потому оно возможно лишь в строго определенных условиях [26]. Следовательно, вероятность взаимодействия органических компонентов гумуса непосредственно с фтором весьма ограничена. Наблюдаемое увеличение содержания фтора вниз по профилю почвы связано с его поглощением глинистыми минералами и полуторными оксидами минерального субстрата, осаждением на геохимических барьерах, основным из которых является кальциевый барьер.

Почвообразующими породами исследованных почв являются субэдральные лессовидные отложения. Гранулометрический состав почв представлен в основном тяжелыми пылевато-иловатыми суглинками и легкими глинами. Содержание физической глины в черноземах южных карбонатных довольно существенно — от 40 до 60%, в лугово-черноземной выщелоченной и черноземе южном оно варьирует от 40 до 70%. Содержание илистой фракции только до глубины ≈ 20 см составляет 13–21%, ниже по профилю — уже 26–43%. Таким образом, гранулометрический состав почв должен благоприятствовать накоплению в них фтора и йода, особенно с глубины 40 см. Достаточно давно экспериментально установлено, что более активная аккумуляция фтора и йода происходит в более тонких почвенных фракциях [22, 27].

Что касается водного режима изученных почв, необходимо отметить, что черноземы Ишимской степи и их агрогенные аналоги имеют непромывной тип водного режима, при котором вся инфильтрующаяся в почву влага атмосферных осадков возвращается в атмосферу. Это обусловлено как высокой испаряемостью (климатический фактор), так и слабой водопроницаемостью почвенно-грунтовой толщи, имеющей тяжелосуглинистый и легкоглинистый состав (литологический фактор) [28]. Вследствие этого для почв изученной территории характерно неглубокое промачивание и активный водообмен только в верхних горизонтах, что определяет высокую интенсивность микробиологических процессов именно в верхней части профиля и приводит к формированию слабого гумусового горизонта [28]. Все вышесказанное относится, прежде всего, к разрезам

7-19Иш и 150-19Иш, расположенным на микроповышениях. Две другие почвы имеют дополнительное поверхностное увлажнение. Лугово-черноземная выщелоченная (разр. 8-19Иш) расположена в микроложбине, где накапливаются снеготалые воды. Чернозем южный под лесополосой (разр. 143-19Иш) получает дополнительную влагу в зимне-весенний период благодаря снегозадержанию.

Дополнительное поверхностное увлажнение влияет на уровень грунтовых вод [28]. Например, полученные в 2019 г. данные бурения показали следующее: на начало июля уровень грунтовых вод в разр. 7-19Иш составил 350 см, в разр. 8-19Иш – 260 см, в разр. 143-19Иш – 300 см. Под целинным черноземом (разр. 150-1Иш) до глубины 500 см грунтовые воды не обнаружены.

Различия в физико-химических свойствах фтора и йода имеют также немаловажное значение. Фтор устойчив в виде аниона F^- , а йод не только в виде аниона I^- , но и виде йодат-аниона IO_3^- , в котором он распространен в щелочных почвах. Окислительная активность фтора в элементном состоянии больше, чем у йода, что в совокупности с реакцией среды может играть определенную роль в процессах их распределения по профилю почв. Подвижность анионов или скорость миграции йода больше ($7.97 \times 10 \text{ м}^2/\text{с}/\text{В}$), чем у фтора ($5.74 \times 10 \text{ м}^2/\text{с}/\text{В}$) [29]. Так как подвижность ионов с повышением концентрации растворов уменьшается [30], то подобное явление может влиять на скорость перемещения галогенов в почвенных растворах, соответственно и на скорость их миграции в почвах. Кроме этого, число молекул воды в первичной гидратной оболочке этих галогенов разное – 4 молекулы H_2O у фтора и одна молекула H_2O – у йода. Увеличение размера иона, естественно, замедляет скорость его движения.

Теперь конкретно рассмотрим ситуацию с галогенами в изученных почвах. Определяя валовое количество любого элемента, получаем информацию о нем только в статическом плане, а с агрохимической и экологической точек зрения важнее контролировать в почвенном профиле содержание и изменение подвижных форм галогенов, наиболее доступных растениям. Это позволит предварительно оценить масштабы поступления галогенов в растения, что немаловажно с позиций сельского хозяйства и здоровья человека и животных.

Распределение органического углерода в почвенном профиле аналогично было тому, что уже ранее наблюдали в почвах этого типа [5]. Содержание физической глины и илистой фракции в изученных разрезах несколько различались. Распределение илистой фракции таково, что макси-

мальные показатели отмечены в горизонте ВСа чернозема под лесополосой, в этих же горизонтах и горизонте АВ в черноземе южном карбонатном на пашне. В лугово-черноземной выщелоченной почве максимум отмечен в горизонтах ВСа и Сса. В разрезе разр. 150-1Иш максимальное количество ила отмечено в горизонтах ВСа и Сса. Объяснить это можно различием в насыщенности карбонатами.

Результаты анализа содержания йода однозначно свидетельствовали о дефиците валового содержания йода, содержание кислоторастворимой и солерастворимой форм йода показало, что концентрация первой формы заметно больше (рис. 1), что было вполне ожидаемым. Действие раствора кислоты на почвенные образцы является более сильным, чем действие 0.1 н. раствора КСl. Однако в реальных условиях на почву кислые растворы типа 0.1 н. НСl обычно не действуют. Поэтому мы считаем, что использование раствора КСl для извлечения солерастворимого йода не только более целесообразно, но и позволяет избежать ощутимого влияния экстрагента на почву, а также может служить свидетельством доступности солерастворимого йода растениям в присутствии в почве ряда низкомолекулярных органических кислот [15].

Коэффициенты корреляции между параметрами ил–валовой йод, ил–кислоторастворимый йод и ил–солерастворимый йод в разрезах 7–19, 8–19 и 143–19 также свидетельствовали о наличии их значительной связи. Ситуация в разрезе 150–19 не вписывалась в общую картину, только величина содержания кислоторастворимой формы йода коррелировала с величиной содержания ила, в то время как валовой йод и его солерастворимая форма показали положительную связь с содержанием органического углерода в сравнении с остальными разрезами, в которых данная корреляция была отрицательной.

Содержание валового фтора и подвижной его формы приведены на рис. 2. Более высокие концентрации подвижного фтора, найденные в лугово-черноземной почве (разр. 8–19) и черноземе южном карбонатном (разр. 7–19), скорее всего, были связаны с внесением фосфорных удобрений, в составе которых всегда присутствует фтор.

Расчет коэффициентов корреляции между параметрами ил–валовой фтор, ил–подвижный фтор показал, что между этими параметрами существует значимая связь, в то время как между величинами $C_{\text{орг}}$ и содержанием фтора выявлена связь отрицательная (табл. 3).

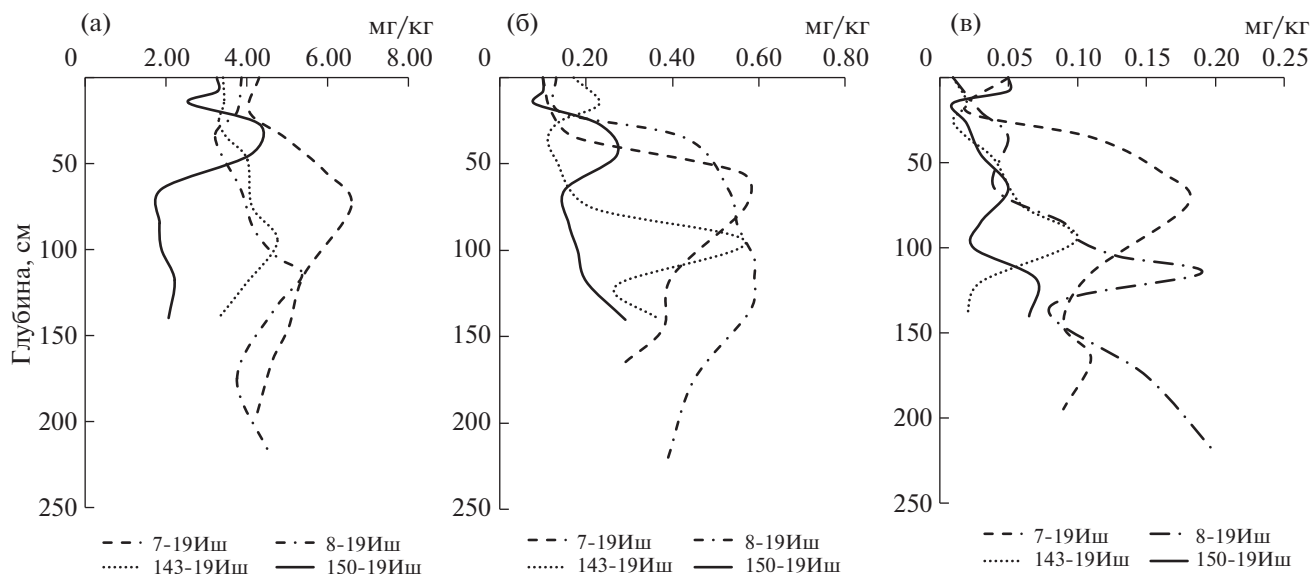


Рис. 1. Содержание валового йода (а), его кислоторастворимой (б) и солерастворимой (в) форм в почвах Ишимской степи.

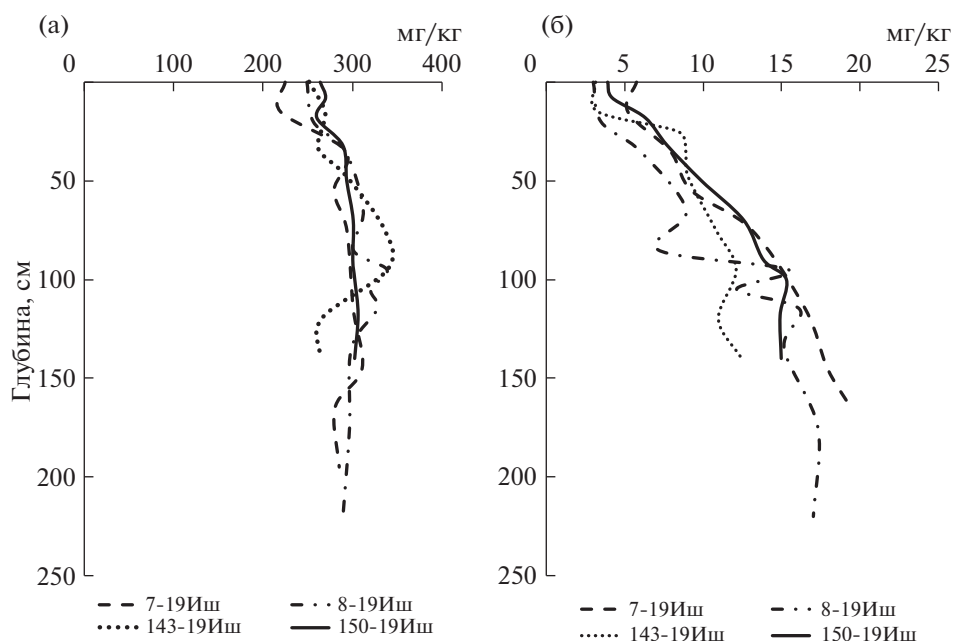


Рис. 2. Содержание валового фтора (а) и его подвижной формы (б) в почвах Ишимской степи.

По литературным данным, допустимым уровнем валового содержания фтора в почвах принято считать 500, критическим – 500–1000, недопустимым – >1000 мг/кг [31]. Основываясь на этих данных, можно утверждать, что валовое содержание фтора в изученных почвах несколько меньше допустимого уровня, что вполне приемлемо. Содержание подвижной формы фтора входит в диапазон концентраций (6–20 мг/кг), найденных в различных типах почв.

Согласно градациям Ковальского [3], валовое содержание йода в почвах до 5.0 – недостаточное, 5.0–40 – нормальное и >40 мг/кг – избыточное. Следовательно, почвы Ишимской степи испытывают дефицит йода, что характерно для большинства зональных почв Западной Сибири. Содержание кислоторастворимой формы йода варьирует в пределах 0.1–0.57, солерастворимой – в пределах 0.01–0.17 мг/кг.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между содержанием ила, органического углерода и галогенов

Показатель	Разрез	Йод			Фтор	
		валовой	кислото- растворимый	соле- растворимый	валовой	подвижный
Ил, %	7-19Иш	0.65	0.69	0.85	0.94	0.58
	8-19Иш	0.33	0.92	0.60	0.86	0.74
	143-19Иш	0.90	0.63	0.89	0.87	0.63
	150-19Иш	-0.49	0.72	-0.02	0.99	0.96
C _{орг} , %	7-19Иш	-0.37	-0.60	-0.61	-0.83	-0.87
	8-19Иш	-0.45	-0.91	-0.69	-0.83	-0.84
	143-19Иш	-0.59	-0.67	-0.58	-0.49	-0.91
	150-19Иш	0.43	-0.74	0.07	-0.98	-0.94

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на содержание галогенов в изученных почвах немаловажное влияние оказывал тип угодья (пашня, лесополоса или целина). В изученных почвах установлены сходства и различия по содержанию и вертикальному распределению валового йода. Максимальное его содержание зафиксировано в черноземе южном карбонатном (агроземе темном дисперсно-карбонатном), минимальное было отмечено в целинном черноземе южном обычном (черноземе дисперсно-карбонатном). Все пахотные почвы имели сходный характер распределения валового йода по профилю, целинная почва заметно отличалась от них по глубине расположения максимума аккумуляции галогена. В отношении фтора еще раз подтверждена значимая связь между его содержанием и количеством илистой фракции.

Отсутствие корреляции между величинами содержания C_{орг} и йода в отличие от сильной связи между содержанием гумуса и йода, которую отмечали практически все исследователи, связано, по нашему мнению, с тем, что в основу ГВ входят ароматические и гетероциклические кольца бензола, фенола, нафталина и другие кольца, а также ароматические амины, спирты, водород которых легко замещается на йод. В чистом виде углерод не взаимодействует с йодом, потому корреляцию не выявляют.

Также показано, что изученные почвы Ишимской степи характеризуются дефицитом йода. По содержанию валового и подвижного фтора дефицита не отмечено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. Микроэлементы человека М.: Медицина, 1991. 495 с.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 438 с.
3. Ковальский В.В. Биологическая роль йода // Биологическая роль йода. Научн. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1972. С. 3–32.
4. Мальгин М.А. Проявление йодной недостаточности на Алтае. Горно-Алтайск, 1988. 55 с.
5. Конарбаева Г.А. Галогены в природных объектах юга Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск: СО РАН, 2008. 33 с.
6. Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А. Пространственно-генетические особенности распределения йода в почвах Западной Сибири // Агрохимия. 2018. № 7. С. 94–105.
7. Конарбаева Г.А., Якименко В.Н. Изменение содержания галогенов в системе почва–растение в условиях агроценозов // Вестн. ТГУ. Сер. Биол. 2014. № 3. С. 23–35.
8. Сеньков А.А. Галогенез степных почв. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 152 с.
9. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва–растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
10. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
11. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
12. Миллер А.Д., Капитонова Г.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. Конарбаева Г.А., Парфенов А.И. Способ фотометрического определения фтора. А. с. № 1670600, приоритет от 4.05.1987 г.
14. Проскуракова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидного–нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
15. Конарбаева Г.А., Ермолов Ю.В. К вопросу о целесообразности извлечения йода из почв нейтральным

- солевым раствором // *Агрохимия*. 2005. № 4. С. 67–72.
16. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 17. *Bower C.A., Hatcher J.T.* Adsorption of fluoride by soils and minerals // *Soil Sci.* 1967. V. 103. № 3. P. 151–154.
 18. *Дубровина И.В., Корнблюм Э.А.* Природа поглощения почвами фтора из удобрений и мелиорантов // *Почвоведение*. 1984. № 9. С. 23–34.
 19. *Уильямс У.Дж.* Определение анионов. М.: Химия, 1982. 622 с.
 20. *Конарбаева Г.А.* Валовое содержание и распределение йода в профиле некоторых почв Западной Сибири // *Агрохимия*. 2003. № 8. С. 74–81.
 21. *Розен Б.Я.* Геохимия брома и йода. М.: Недра, 1970. 132 с.
 22. *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология, агрохимия йода. Л.: Наука, ЛО, 1987. 260 с.
 23. *Yamada Hidekazu, Kiriya Totsuya, Onagawa Yuji.* Speciation of iodine in soils // *Soil Sci. Plant Nutr.* 1999. V. 45. № 3. P. 563–568.
 24. *Schnitzer M.* Recent findings of 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.
 25. *Omuetti J.A.J., Jones R.L.* Fluorine distribution with depth in relation to profile development in Illinois // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1980. V. 44. № 2. P. 247–249.
 26. *Карпер П.* Курс органической химии. Л.: Госхимиздат, 1960. 1216 с.
 27. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 234 с.
 28. *Кравцов Ю.В.* Черноземы Ишимской степи. Новосибирск: НГПУ, 2004. 213 с.
 29. *Чанг Р.* Физическая химия с приложениями к биологическим системам. М.: Мир, 1980. 662 с.
 30. *Некрасов Б.В.* Основы общей химии. М.: Химия, 1973. Т. 1. 656 с.
 31. *Гапонюк Э.И., Кузнецова М.В.* Влияние фтористого натрия на свойства почвы и развитие некоторых сельскохозяйственных культур // *Гигиена и санитария*. 1984. № 6. С. 77–79.

Content and Distribution of Iodine and Fluorine in the Soils of the Ishim Steppe

G. A. Konarbaeva^{a, #}, E. N. Smolentseva^a, and Yu. V. Kravtsov^b

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

^b *Novosibirsk State Pedagogical university, ul. Vilyuiskaya 28, Novosibirsk 630126, Russia*

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

The features of the content and distribution patterns of the gross and mobile forms of iodine and fluorine in the soils of various lands of the Ishim steppe (arable land, forest belt, virgin land) are studied. It is established that the total content of iodine and fluorine in the southern ordinary and carbonate chernozem and in the meadow-chernozem leached soil is approximately in the same range as in similar soils of other territories of Western Siberia. The difference in the content of halogens in the southern chernozems was influenced by the type of land in which they are used. The most significant relationship was observed between the halogen content and the silt fraction of soils.

Key words: chernozems, agrozems, Ishim steppe, halides, iodine and fluorine.