

УДК 631.416.3:546.15(571.1)

ЙОД В ПОЧВАХ БАСЕЙНА ВНУТРЕННЕГО СТОКА КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ[§]

© 2024 г. Г. А. Конарбаева^{1,*}, Б. А. Смоленцев¹, Н. В. Елизаров¹,
В. В. Попов¹, В. В. Демин¹

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

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

Распределение йода (I) исследовали в 2-х почвенных катенах, расположенных в бассейнах р. Бурла и Кулунда в Алтайском крае. Почвенные разрезы были заложены на основных типах элементарных ландшафтов. Первый участок расположен на низменной равнине в излучине р. Бурла (рядом с п. Бурла Алтайского края). Заложено 3 разреза, вскрывавшие следующие почвы: темно-каштановая осолодевшая среднесиловатая легкосуглинистая (Calcic Kastanozems), расположенная в элювиальном ландшафте, солонец черноземно-луговой солончаковой высокогипсовый мелкий легкоглинистый (Gleyic Solonetz), сформированный в супераквальном ландшафте, и луговая солончаковая маломощная малогумусная легкосуглинистая (Chernic Gleysols Salic) – в трансупераквальном. Абсолютное превышение по высоте между каштановой почвой и луговой составляло 3 м, длина катены 677 м. Участок в долине р. Кулунда находился в ее среднем течении у с. Нижняя Чуманка Алтайского края. Он имел меньший уклон, поэтому смену почв от вершины всхолмленного участка к пойме р. Кулунда наблюдали на большем расстоянии (длина катены 1650 м). Разрезы заложены на лугово-черноземной глубоко вскипающей маломощной слабогумусированной супесчаной почве (Gleyic Chernozems), солонце черноземно-луговом солончаковом среднем легкосуглинистом (Gleyic Solonetz Salic) и луговой солончаковой маломощной слабогумусированной супесчаной почве (Chernic Gleysols Salic), расположенных в аналогичных первой катене ландшафтах. Во всех генетических горизонтах определяли валовое содержание йода и его водорастворимой формы. Содержание общего I в почвах в среднем составило 26.4 мг/кг (пределы варьирования от 0.36 до 100 и более мг/кг), водорастворимого – соответственно 0.3 мг/кг (от 0.0 до 0.9 мг/кг). Установлено, что содержание общего I со средней силой коррелировало с содержанием физической глины и ила, а абсолютные максимумы содержания йода были приурочены к иллювиальным горизонтам солонцов. В луговых почвах также обнаружено большое количество валового йода, тогда как в почвах элювиальных позиций йод находили в очень малых концентрациях. Выявленные аккумуляции I в интразональных почвах возможно использовать для покрытия йододефицита зональных почв путем вовлечения их в сельскохозяйственный оборот в качестве естественных сенокосов и пастбищ.

Ключевые слова: йод, йододефицит, Кулундинская степь, каштановая почва (Kastanozems), солонец (Solonetz), луговая почва (Gleysols), Западная Сибирь, р. Бурла, р. Кулунда.

DOI: 10.31857/S0002188124010088

ВВЕДЕНИЕ

Йод играет важную биологическую роль в жизни живых организмов. Он относится к эссенциальным (жизненно необходимым) микроэлементам, без которых организм не может совершать свой естественный жизненный цикл. Йод является

обязательным компонентом тиреоидных гормонов щитовидной железы, которые регулируют физиологические процессы в организме человека и животных, в т.ч. их рост и развитие, обмен веществ, терморегуляцию [1–5]. Значимая роль, которую играет йод в процессах жизнедеятельности живых организмов, обуславливает актуальность детальных исследований его содержания в природных объектах (почвах, водах и растительности).

Длительный дефицит йода приводит к заболеваниям щитовидной железы, перинатальной смертности, физической и умственной

[§]Полевые работы и определение свойств почв выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-55-75002); лабораторные анализы по определению йода, а также подготовка статьи к публикации – в рамках государственного задания Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

отсталости детей, сахарному диабету, а при его избытке – к йододерме [6–9].

Йодная недостаточность у животных проявляется в замедлении их роста и развития, ухудшении воспроизводства [10, 11]. Йододефицитные заболевания признаны самыми распространенными во всем мире заболеваниями неинфекционного характера [12].

Йод в природе является наименее распространенным элементом из подгруппы галогенов. Основные его запасы сосредоточены в мировом океане, поступление океанического йода на материки вместе с атмосферными осадками существенно только в прибрежной зоне, а внутриконтинентальные территории являются йододефицитными [13–18]. Круговорот йода бессточных территорий практически замкнут внутри территории и основным естественным источником йода для растений являются почвы [19–24]. В структуре питания животных и человека на долю поступления йода с питьевой водой приходится не более 10% [25]. Изучение и оценка йодного потенциала (состояния) почв в таких областях имеет важное значение для здоровья животных и человека.

Цель работы – изучение содержания и закономерностей распределения йода (валового и водорастворимого) в почвенных катенах внутреннего бессточного бассейна рек Кулундинской равнины.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Кулундинская озерно-аллювиальная равнина расположена на юге Западной Сибири в пределах степной зоны междуречья Оби и Иртыша. По почвенно-экологическому районированию [26] территория относится к Предалтайской степной провинции черноземов обыкновенных и южных, Бурла-Кучукскому округу черноземов южных солонцеватых и лугово-черноземных солонцеватых и солончаковатых почв. Ранее исследователями были описаны основные факторы почвообразования, характерные для Кулундинской равнины [27]. Почвенный покров исследованной части Кулундинской равнины на водораздельных пространствах и верхних частях склонов увалов представлен лугово-черноземными почвами (Gleyic Chernozems), полугидроморфными аналогами черноземов южных (Calcic Chernozems), а также и каштановыми почвами (Calcic Kastanozems), которые в настоящее время используются как пашня. На нижних частях склонов и на пониженных участках равнины в условиях грунтового и поверхностного переувлажнения широко распространены гидроморфные солонцы (Gleyic Solonetz) и луговые засоленные почвы (Chernic Gleysols Salic).

При наличии большого обилия озер различного размера и минерализации местность

характеризуется очень затрудненным и замедленным поверхностным стоком из-за однообразного равнинного рельефа поверхности, с абсолютными высотами от 95 до 160 м. Система древних долин, бывших ложбин стока расчленяет равнинную поверхность на параллельно вытянутые узкие платообразные увалы, с уклоном в сторону Иртыша, однако глубина расчленения не превышает 15 м. С востока на запад глубина вреза древних долин уменьшается, и они сливаются с пониженной зоной степи. К системе ложбин стока приурочены долины современных степных рек Кулунда, Бурла, Кучук и др. (рис. 1).

Почвенные исследования проводили на территории Кулундинской озерно-аллювиальной равнины в водосборных бассейнах рек Бурла (N3.336501°, E78.292122°) и Кулунда (N53.226948°, E80.645954°) Алтайского края, относящихся к внутреннему бессточному бассейну Обь-Иртышского междуречья, берущие начало на Приобском плато и теряющиеся в Кулундинской степи (рис. 2).

По характеру водного режима эти реки относятся к водотокам с весенним половодьем и паводками, в летнее время имеют застойный режим, а местами совсем пересыхают. В целом на территории речная сеть развита слабо, что способствует накоплению солей в почвах и почвообразующих породах.

Характерной особенностью территории является близкое залегание минерализованных грунтовых вод, принимающих активное участие в процессе почвообразования. Различия в уровне залегания и степени минерализации грунтовых вод – главная причина мозаичности почвенного покрова и его засоленности. Глубина залегания, минерализация и солевой состав грунтовых вод варьируют в широких пределах (от 1–2 до 5 м и более). С севера на юг минерализация грунтовых вод увеличивается от 1.0 до 10–50 г/л, а химический состав меняется от гидрокарбонатного до хлоридного [28]. Равнинный рельеф и горизонтальное залегание отложений создают малые уклоны поверхности грунтовых вод.

Так как территория имеет определенную пространственную неоднородность условий почвообразования для выявления особенностей распределения и миграции йода в ландшафтах использован сравнительно-географический метод, основанный на катенном анализе организации почвенного покрова и почвенно-геохимической сопряженности. Почвенные разрезы были заложены на основных типах элементарных ландшафтов. Для изучения содержания йода в профиле почв, различающихся по степени гидроморфности и засолению, образцы отбирали во всех генетических горизонтах.

Анализы проведены общепринятыми методами: содержание органического углерода ($C_{орг}$)

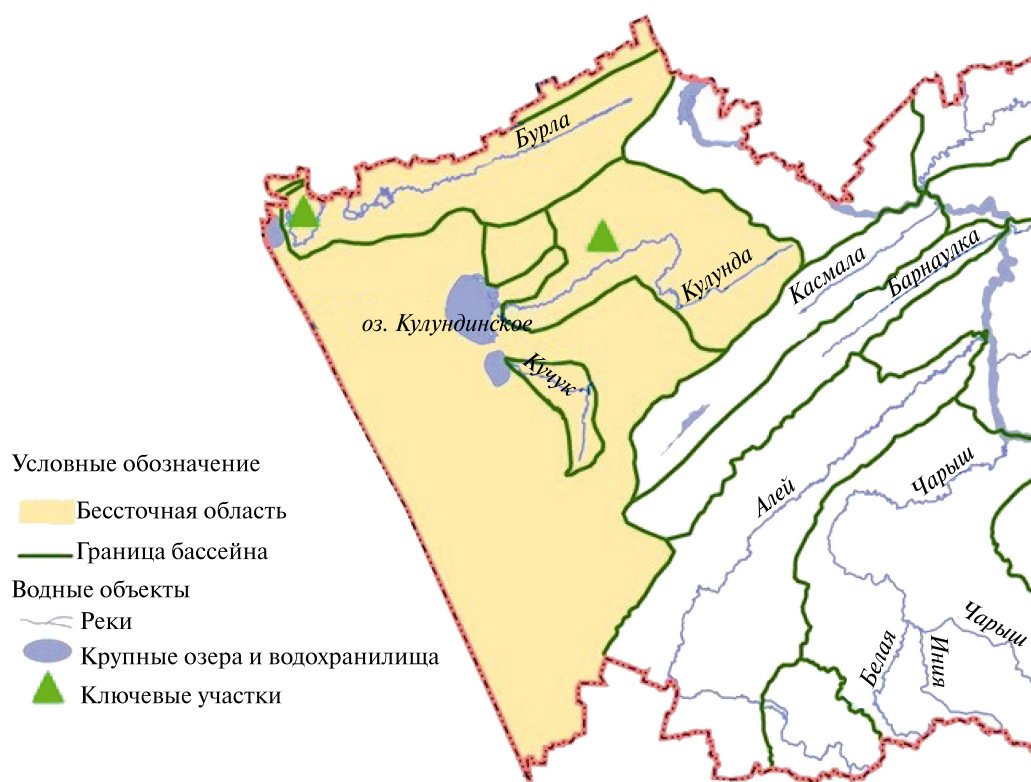


Рис. 1. Расположение ключевых участков.

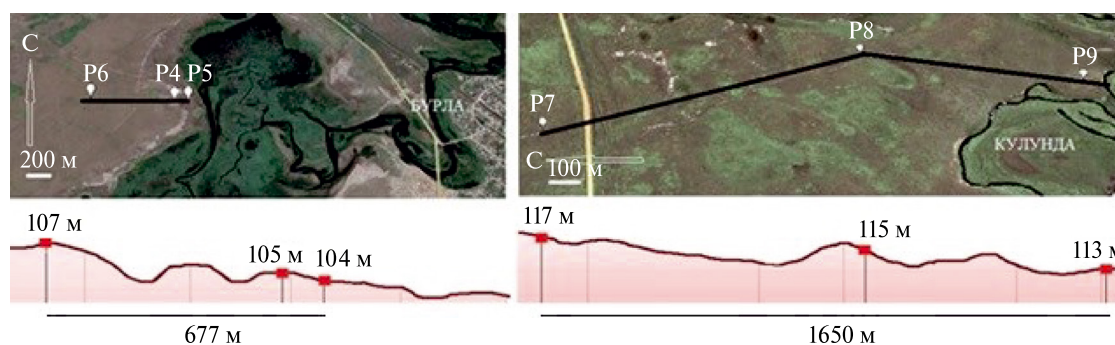


Рис. 2. Геоморфологические профили участков исследования (слева – долина р. Бурла, справа – долина р. Кулунда).

определяли по методу Тюрина [29], величину pH – потенциометрическим методом в водной суспензии (почва : раствор = 1 : 2.5), обменные основания – методом Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой [30] с последующим определением катионов Ca, Mg, Na и K – атомно-абсорбционным методом. Гранулометрический состав исследовали методом пипетки с диспергацией образца пирофосфатом натрия [31].

Содержание валового йода определяли кинетическим роданидно-нитритным методом,

водорастворимой формы – в водной вытяжке (почва : вода = 1 : 4) с временем взаимодействия 4 ч и последующим центрифугированием [32]. Статистическую обработку данных проводили по [33], расчеты и визуализацию результатов – с использованием программы Microsoft Excel 2016.

Название почв определены по классификации и диагностики почв СССР [34] и международной классификации World Reference Base for Soil Resources (WRB) [35].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика почв. На интенсивность аккумуляции йода в почвах равнин и его миграцию влияет конкретная почвенно-геохимическая обстановка. Если в зональных почвах основные факторы, контролирующие содержание йода, — степень их гумусированности, реакция почвенной среды, гранулометрический состав, водный режим, то в интразональных почвах приоритетную роль играют месторасположение почв в ландшафте, обогащенность различными солями и реакция почвенной среды.

Почвы, находящиеся в эллювиальной позиции обоих исследованных участков, характеризуются

нейтральной реакцией среды по всему 1-метровому профилю. В супераквальной и трансупераквальной позициях нейтральная и слабощелочная реакция верхних горизонтов солонцов и луговых почв подщелачивается с глубиной, достигая сильнощелочной в иллювиальных горизонтах солонцов (рН 8.7–8.9). Учитывая, что в щелочной среде происходит образование наиболее устойчивых анионов йода (I^- и IO_3^-) [15, 36, 37], следовало ожидать его аккумуляирования в данных почвах, что и было обнаружено в результате лабораторных исследований (табл. 1).

Участок, находящийся в долине р. Бурла, отличался высоким содержанием органического

Таблица 1. Свойства почв Кулундинской равнины

Горизонт почв	Глубина, см	S_s^* мг-экв/100 г	pH _{H₂O}	Na, % от S	Ил	Физическая глина	Гумус	$I_{вал}$	$I_{водн}$
					%				
Разр. 4. Солонец черноземно-луговой солончаковый высокогипсовый мелкий легкоглинистый									
A	0—4	8.4	7.3	8.4	3.9	15.1	5.23	8.5	0.07
B1	4—16	22.1	8.1	22.1	27.1	41.4	2.54	35.1	0.03
B2	23—33	24.0	8.7	24.0	28.4	40.9	0.99	45.4	0.86
B3	38—48	21.0	8.2	21.0	31.3	44.8	1.03	39.9	0.84
BC	50—60	20.6	8.0	20.6	32.0	49.2		33.1	0.60
CD	75—85	16.6	8.1	16.6	15.2	21.4		11.2	0.25
	103—113	16.8	8.2	16.8	19.4	28.8		14.7	0.25
Разр. 5. Луговая солончаковая маломощная малогумусная легкосуглинистая									
Ад	0—7	8.4	7.5	13.4	8.8	25.0	4.3	15.6	0.08
A	7—21	22.1	7.8	34.7	18.4	30.4	2.02	29.1	0.07
AB	22—32	24.0	8.4	36.4	19.7	29.6	1.09	39.6	0.06
B	50—60	21.0	8.3	23.5	24.0	35.4		37.2	0.9
BC	80—90	20.6	7.9	20.5	18.3	26.0		15.9	0.44
C	100—110	16.6	7.7	17.8	18.9	27.3		14.7	0.25
Разр. 6. Темно-каштановая осолодевшая среднемощная легкосуглинистая									
Ад	0—4	16.8	6.5	0.6	7.7	20.4	4.34	0.98	0.00
Апах	4—20	8.4	6.7	1.7	8.0	21.1	2.66	1.25	0.03
B1	22—32	22.1	6.5	1.3	16.8	25.7	1.69	2.51	0.07
B2	45—55	24.0	6.8	1.7	12.0	18.1	1.12	2.16	0.05
Bca	65—75	21.0	7.6	2.4	14.1	21.6		3.08	0.05
	95—105	20.6	8.0	2.4				1.33	0.02
Разр. 7. Лугово-черноземная глубоко вскипающая маломощная слабогумусированная супесчаная									
Апах	0—20	16.6	6.3	0.9	4.7	11.6	2.49	1.02	0.01
Астаропах	20—32	16.8	6.7	0.9	5.6	10.9	1.48	0.93	0.02
AB	32—39	8.4	6.6	1.2	5.8	11.2	0.96	0.72	0.02
B	45—57	22.1	6.7	1.2	8.4	11.2	0.57	0.36	0.02
BC	85—95	24.0	6.9	1.0	10.6	14.7		0.43	0.04

Таблица 1. Окончание

Горизонт почв	Глубина, см	S_{*} мг-экв/100 г	pH_{H_2O}	Na, % от S	Ил	Физическая глина	Гумус	$I_{вал}$	$I_{водн}$
					%				
Разр. 8. Солонец черноземно-луговой солончаковый средний легкосуглинистый									
A	0–11	21.0	6.7	3.0	4.3	16.0	4.42	30.1	0.07
B1	11–24	20.6	8.3	11.5	29.2	44.2	2.88	99.8	0.07
B2	40–50	16.6	8.9	35.5	21.7	32.0	1.25	43.1	0.9
BCg	65–75	16.8	8.9	35.3	26.6	36.4		43.0	0.88
Cg	88–98	8.4	8.7	35.4	23.0	34.5		42.0	0.69
Разр. 9. Луговая солончаковая маломощная слабогумусированная супесчаная									
A*	0–14	22.1	7.3	0.5	10.5	19.4	2.94	59.6	0.65
A**	14–17	24.0	7.7	2.2	9.8	10.6	1.53	98.2	0.92
Aca	20–30	21.0	7.7	13.7	12.8	22.3	1.08	92.9	0.91
Bca	43–53	20.6	8.1	21.4	17.3	23.5	0.69	47.6	0.90
BCca	70–80	16.6	8.4	25.1	13.4	18.6		8.3	0.27
Cca	93–113	16.8	8.3	21.2	11.7	17.9		5.3	0.12

* S – сумма поглощенных оснований.

вещества верхних дерновых горизонтов почв всех позиций (4.3–5.2%), которое резко уменьшалось с глубиной. Почвы Кулундинского участка были менее гумусированы, содержание гумуса в верхнем горизонте солонца было средним (4.4%), лугово-черноземной и луговой почв – низкое (2.5 и 2.9% соответственно), возможно связанное с водным режимом и слабокислой реакцией почвенной среды первой и доминированием песчаной супеси во второй. Ряд исследователей указывают на существенное влияние гумусированности почвы на аккумуляцию и миграцию йода в профиле [20, 38, 39], однако в нашем исследовании существенной связи между содержанием валового и водорастворимого йода и содержанием органического вещества не зафиксировано, что могло быть связано с региональными особенностями условий миграции йода.

Почвы долины р. Бурла отличались по гранулометрическому составу. Профиль каштановой почвы был легкосуглинистым (20–26% физической глины) с супесчаным прослоем (на глубине 45–55 см – 18% физической глины). Содержание физической глины в профиле солонца в иллювиальных горизонтах достигало 41–49%, что соответствовало легкой глине. Гранулометрический состав луговой легкосуглинистой почвы в связи с постепенным уменьшением количества крупной и средней пыли сверху вниз по профилю менялся от пылевато-песчаного до иловато-песчаного.

Лугово-черноземная почва, сформировавшаяся в элювиальной позиции долины р. Кулунда была супесчаной по всему профилю (10.9–14.7%

физической глины) и отличалась низким содержанием ила (в среднем в 1-метровом профиле – 7%). Гранулометрический состав луговой солончаковой почвы был несколько тяжелее, количество физической глины варьировало в пределах 10.6–19.4% в верхних и самых нижних горизонтах, увеличиваясь до 22.3–23.5% в средних (на глубине 20–53 см). Солонец, расположенный в супераквальной позиции, обладал более тяжелым гранулометрическим составом, содержание физической глины в горизонте B1 достигало 44.2%, что соответствовало легкой глине.

Таким образом, почвы всех типов элементарных ландшафтов долины р. Бурла обладали более тяжелым гранулометрическим составом, чем аналогичные почвы катены долины р. Кулунда.

Ранее исследователями было замечено, что в почвах с легким гранулометрическим составом наблюдается низкое содержание йода, связанное с более слабыми механизмами его связывания и удерживания в них [13]. Данное обстоятельство подтверждено нашими исследованиями, в профилях темно-каштановой легкосуглинистой и лугово-черноземной супесчаной почв, находящихся в элювиальных позициях обоих участков, зафиксировано минимальное содержание валового и водорастворимого йода. Учитывая хорошую растворимость солей йода, это также объясняется водным режимом данных почв.

Выявлена корреляционная связь средней величины между содержанием водорастворимого йода в профиле исследованных почв и содержанием

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между показателями почвенных свойств и содержанием йода

Показатель	Разрез	Коэффициент корреляции	
		валовой йод	водорастворимый йод
Ил (<0.001 мм)	Р 4. Солонец	0.9	0.7
	Р 5. Луговая	0.6	0.6
	Р 6. Каштановая	0.9	0.9
	Р 7. Лугово-черноземная	–0.9	0.9
	Р 8. Солонец	0.6	0.4
	Р 9. Луговая	–0.3	0.4
	Для всех почв	0.4	0.6
Глина <0.01	Р 4. Солонец	0.9	0.6
	Р 5. Луговая	0.8	0.6
	Р 6. Каштановая	0.3	0.5
	Р 7. Лугово-черноземная	–0.5	0.9
	Р 8. Солонец	0.8	0.2
	Р 9. Луговая	–0.2	0.9
	Для всех почв	0.4	0.5
Na ⁺	Р 4. Солонец	0.9	0.6
	Р 5. Луговая	0.8	–0.2
	Р 6. Каштановая	0.7	0.6
	Р 7. Лугово-черноземная	–0.7	0.1
	Р 8. Солонец	–0.3	1.0
	Р 9. Луговая	–0.7	–0.4
	Для всех почв	0.3	0.6

частиц ила и физической глины (коэффициент корреляции 0.6 и 0.5 соответственно) (табл. 2).

Между содержанием валового йода и количеством ила и физической глины отмечена умеренная корреляционная связь (коэффициент корреляции равен 0.4 в обоих случаях). На обоих ключевых участках максимальные количества валового йода найдены в иллювиальных горизонтах солонцов, в количестве 45.4 мг/кг в солонце черноземно-луговом долины р. Бурла и 99.8 мг/кг в солонце черноземно-луговом долины р. Кулунда (при среднем содержании $I_{\text{вал}}$ для почв – 5 мг/кг [13]). Данное обстоятельство объясняется высоким содержанием илистой фракции в солонцовых горизонтах, являющихся природным сорбционным геохимическим барьером, в том числе и для солей йода. По этой причине зафиксирована средняя корреляционная связь между содержанием обменного натрия и водорастворимого йода ($r = 0.6$), максимальные количества которого ($I_{\text{водн}}$) были также приурочены к иллювиальным горизонтам солонцов (0.6–0.9 мг/кг).

Водный режим – один из ведущих факторов, влияющих на миграцию йода, особенно его водорастворимой формы. В верхних частях катен и на склонах элементы вымываются атмосферными осадками,

особенно сильно из почв с легким гранулометрическим составом. Крутизна склона и величина поверхностного стока также влияют на вынос элемента в нижележащие аккумулятивные позиции. Так как на обоих участках склон имел малый уклон, содержание валового йода в сопряженных луговых почвах и солонцах примерно одинаковое (среднее содержание $I_{\text{вал}}$ в слое почвы на Бурлинском участке – 25–26, на Кулундинском – 51 мг/кг). В лугово-черноземной почве в условиях повышенного увлажнения и в каштановой солонцеватой почве в условиях неустойчивого увлажнения атмосферными осадками валовое содержание йода низкое, в пределах 1–3 мг/кг и менее. В распределении валового йода по профилю солонца и луговой почвы прослеживается приуроченность к средним горизонтам на участке в долине р. Бурла и к верхним и средним частям 1-метровой толщи в долине р. Кулунда, что повторяет распределение содержания ила и физической глины по профилю.

Зафиксированы существенные отличия в распределении водорастворимого йода по профилю луговых почв на разных участках. На участке в долине р. Кулунда в профиле луговой почвы максимальные концентрации элемента зафиксированы в верхней части профиля, до глубины 53 см (0.7–0.9 мг/кг), тогда

как на участке в долине р. Бурла в профиле луговой почвы максимальное содержание водорастворимого йода обнаружено на глубине 50–90 см (горизонт В, 0.4–0.9 мг/кг), а в верхней части профиля только в незначительных количествах (0.06–0.08 мг/кг).

Таким образом, несмотря на схожие условия обоих участков в профилях луговых почв водорастворимый йод аккумуляровался на разной глубине из-за своей высокой подвижности и особенностей водного режима исследованных почв, т.к. непосредственно в депрессиях концентрация йода определяется не только аккумуляцией поверхностного стока, но и подъемом солей с грунтовыми водами. По классификации обеспеченности почв водорастворимой формой йода [40], верхние горизонты зональных почв исследованных участков содержали низкое количество йода (<0.05 мг/кг), а интразональных — оптимальное (0.05–0.1 мг/кг) и даже высокое. По градиции Ковальского [41] валового йода в почвах, интразональные почвы были обеспечены нормально и избыточно (5–40 и >40.0 мг/кг соответственно), а зональные — йододефицитны (<5.0 мг/кг). Бессточность территории, нахождение интразональных почв в аккумулятивных ландшафтах и их свойства обусловили аккумуляцию валового и водорастворимого йода в профиле.

Из полученных данных следует, что дефицит йода в продукции растениеводства, полученной на зональных почвах, возможно восполнить, используя интразональные солонцы и луговые почвы как естественные сенокосы и пастбища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены малоизученные почвы Кулундинской равнины: зональные — темнокаштановая осолодевшая среднemocная, лугово-черноземная маломощная, слабогумусированная и интразональные — луговая солончаковая маломощная слабогумусированная, солонец черноземно-луговой солончаковый с позиций обеспеченности территории йодом.

Содержание гумуса в профиле почв низкое, за исключением самых верхних горизонтов. Не зафиксировано существенной связи между накоплением йода в почве и содержанием органического вещества, т.к. в исследованных почвах доминирующее действие на аккумуляцию йода оказывали другие факторы.

Формирование зональных почв происходило в основном на легких породах, что привело к низкому содержанию илистой фракции и, как следствие, йододефициту.

В слабощелочных луговых почвах и щелочных солонцах установлено высокое содержание валового йода, обусловленное аккумуляцией устойчивых

йодид- и йодат-анионов. Содержание водорастворимого йода от его валового количества было очень незначительным (в среднем 1.9%).

Наиболее существенно на накопление йода в данных почвах влиял их гранулометрический состав. Высокое содержание ила и физической глины способствовало аккумуляции йода в почвах, что подтверждено статистически. Особенно высокое содержание валового йода отмечено в иллювиальных горизонтах солонцов обоих участков. В данном случае иллювиальный горизонт послужил сорбционным геохимическим барьером для анионов йода.

Наблюдался явный недостаток валового и водорастворимого йода в зональных почвах, используемых для выращивания основных сельскохозяйственных культур, тогда как в интразональных его концентрация высокая, что позволило рекомендовать вовлечение солонцов и луговых почв в качестве естественных сенокосов и пастбищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабанова Н.С., Удалов М.О., Вейцман И.А. Роль дефицита йода в патогенезе заболеваний щитовидной железы // Бюл. мед. науки. 2019. № 4(16). С. 57–59.
2. Трошина Е.А., Платонова Н.М., Абдулхабилова Ф.М., Герасимов Г.А. Йододефицитные заболевания в Российской Федерации: время принятия решений / Под ред. Дедова И.И., Мельниченко Г.А. М., 2012. 232 с.
3. Саиджанова Ф.Л., Раззаков Б.Ю., Маматалиева М.А., Асранов С.А. Морфометрические параметры сердца при внезапной коронарной смерти в эндемических очагах зоба // Архив исслед-й. 2021. № 7. С. 370–375.
4. Ahmad S., Bailey E.H., Young S.D., Arshad M. Multiple geochemical factors may cause iodine and selenium deficiency in Gilgit Baltistan, Pakistan // Environ. Geochem. Health. 2021. V. 43 № 11. P. 4493–4513.
5. Konečný R., Šeda M., Macháček H., Trávníček J., Švehla J., Fiala K. The iodine content in areas with enhanced landscape management in the Czech Republic // J. Elementol. 2020. V. 25. № 3. P. 1233–1242.
6. Мельниченко Г.А., Трошина Е.А., Платонова Н.М., Панфилова Е.А., Рыбакова А.А., Абдулхабилова Ф.М., Бостанова Ф.А. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат) // Consilium Medicum. 2019. № 4. С. 14–20.
7. Чикин А.Л., Друккер Н.А., Селютина С.Н., Попова В.А. Тиреоидный гомеостаз плаценты у женщин при йододефиците // Совр. пробл. науки и образ-я. 2022. № 2. С. 126.

8. *Moridi A.* Etiology and risk factors associated with infertility // *Inter. J. Women's Health Reproduct. Sci.* 2019. V. 7. № 3. P. 346–353.
9. *Bowley H.E., Young S.D., Ander E.L., Grout N.M.* Iodine bioavailability in acidic soils of northern Ireland // *Geoderma*. 2019. V. 348. P. 97–106.
10. *Пилов А.Х., Тарчоков Т.Т., Пойденко А.А., Миллер Т.В.* Трансформация клеточного состава щитовидной железы коров в условиях йододефицита // *Дальневост. аграрн. вестн.* 2023. Т. 17. № 1. С. 52–60.
11. *Карабаева М.Э.* Проблема йододефицита у животных // *Эффект. животновод-во*. 2018. № 2. С. 28–29.
12. WHO, UNICEF and ICCIDD. Progress towards the elimination of Iodine Deficiency Disorders (IDD) // Geneva: WHO, WHO/NUT, 1999. P. 1–33.
13. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 234 с.
14. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 287 с.
15. *Федак И.Р., Трошина Е.А.* Проблема дефицита йода в Российской Федерации и пути ее решения в ряде стран мира // *Пробл. эндокринолог.* 2007. № 53(5). С. 40–48.
16. *Савченков М.Ф., Селятицкая В.Г., Колесников С.И.* Йод и здоровье населения Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 2002. 286 с.
17. *Cox E.M., Arai Y.* Environmental chemistry and toxicology of iodine // *Adv. Agron.* 2014. V. 128. P. 47–96.
18. *Duborska E., Matulova M., Vaculovic T.* Iodine fractions in Soil and their determination // *Forests*. 2021. V. 12. № 11. P. 2–8.
19. *Русина Т.В.* Атмосферный и почвенный пути поступления йода в растение. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 24 с.
20. *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология, агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 260 с.
21. *Конарбаева Г.А.* Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
22. *Котова З.П., Данилова Т.А., Иванов А.И.* Влияние подкормки йодистым калием на продуктивность и качество клубней картофеля // *Плодородие*. 2021. № 1(118). С. 23–26.
23. *Hu Q., Moran J.E., Blackwood V.* Geochemical cycling of iodine species in soils // *Lawrence Livermore National Lab. (United States)*. 2007.
24. <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/351779.pdf>
25. *Fuge R., Johnson C.C.* Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review // *Appl. Geochem.* 2015. V. 63. P. 282–302.
26. *Fuge R., Selinus O., Alloway B.J., Centeno J.A., Finkelman R.B., Fuge R., Lindh U.* Soils and iodine deficiency // *Essential of medical geology: Impacts of the natural environment on public health*. 2005. P. 417–433.
27. *Урусевская И.С., Алябина И.О., Винюкова В.П., Восстокова Л.Б., Дорофеева Е.И., Шоба С.А., Щупихина Л.С.* Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. М. 1: 2500000. М., 2013. 16 л.
28. *Конарбаева Г.А., Смоленцева Е.Н.* Фтор и йод в почвах Кулундинской равнины // *Почвоведение*. 2023. № 2. С. 170–183.
29. *Елизаров Н.В., Попов В.В., Семендяева Н.В.* Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // *Почвоведение*. 2020. № 12. С. 1451–1459.
30. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. А.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
31. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: ВАСХНИЛ, 1990. 235 с.
32. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
33. *Проскуракова Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // *Агрохимия*. 1976. № 7. С. 140–143.
34. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
35. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 225 с.
36. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, 2015. 192 p.
37. *Конарбаева Г.А., Якименко В.Н.* Содержание и распределение галогенов в почвенном профиле естественных и антропогенных экосистем юга Западной Сибири // *Вестн. ТГУ. Сер. Биол.* 2012. № 4(20). С. 21–35.
38. *Конарбаева Г.А., Смоленцев Б.А., Сапрыкин О.И.* Влияние физико-химических свойств солодей Кулундинской равнины на содержание в них йода // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 78–80.
39. *Розен Б.Я.* Геохимия брома и йода. М.: Недра, 1970. 132 с.
40. *Yamada Hidekazu, Kiriya Totsuya, Onogawa Yuji.* Speciation of iodine in soils // *Soil Sci. Plant Nutr.* 1999. V. 45. № 3. P. 563–568.
41. *Покатилов Ю.Г.* Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма, 1993. 65 с.
42. *Ковальский В.В.* Биологическая роль йода // *Биологическая роль йода*. Научн. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1972. С. 3–32.

Iodine in the Soils of the Basin of the Inner Runoff of the Kulunda Plain

G. A. Konarbaeva^{a, #}, B. A. Smolentsev^a, N. V. Elizarov^a, V. V. Popov^a, V. V. Demin^a

^a*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS,
prosp. Akad. Lavrentyeva 8/2, Novosibirsk 63009, Russia*

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

The distribution of iodine (I) was studied in two soil catenae located in the basins of the Burla and Kulunda rivers in the Altai Territory. Soil sections were laid on the main types of elementary landscapes. The first site is located on a low-lying plain in a bend of the Burla River (near the village of Burla in the Altai Territory). Three sections have been laid, revealing the following soils: Calcic Kastanozems, located in the eluvial landscape, Gleic Solonetz – was formed in the superqual landscape and Chernic Gleysols Salic. The absolute height excess between chestnut soil and meadow was 3 m, the length of the catena was 677 m. The site in the valley of the Kulunda River was located in its middle course not far from the Lower Chumanka point of the Altai Territory. It had a smaller slope, so the change of soils from the top of the hilly area to the floodplain of the Kulunda River was observed at a greater distance (the length of the catena is 1650 m). The sections are laid on Gleyic Chernozems, Gleyic Solonetz Salic and Chernic Gleysols Salic, located in landscapes similar to the first catena. The total iodine content and its water-soluble form were determined in all genetic horizons. The content of total I in soils averaged 26.4 mg/kg (ranging from 0.36 to 100 mg/kg or more), water-soluble – 0.3 mg/kg, respectively (from 0.0 to 0.9 mg/kg). It was found that the content of total I with an average strength correlates with the content of physical clay and silt, and the absolute maxima of iodine content are confined to the illuvial horizons of salt lakes. A large amount of gross iodine was also found in meadow soils, whereas iodine is found in very small concentrations in soils of eluvial positions. The identified accumulations of I in intrazonal soils can be used to cover the iodine deficiency of zonal soils by involving them in agricultural turnover as natural hayfields and pastures.

Keywords: iodine, iodine deficiency, Kulunda steppe, Kastanozems, Solonetz, Gleysols, Western Siberia, river Burla, Kulunda.