
ДЕФИЦИТ ЙОДА В АГРОЛАНДШАФТАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Е.М. Коробова, В.Ю. Берёзкин, Л.И. Колмыкова, Н.В. Корсакова, Л.В. Кригман

Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН) Москва
ул. Косыгина, 19, ГСП-1, Москва, Россия, 119991

В системе биогеохимического районирования Брянская область является одним из регионов России, дефицитных по ряду микроэлементов в почвах и биогеохимической пищевой цепи, включая йод. Загрязнение ее территории радиоизотопами йода при аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. является фактором дополнительного риска возникновения негативных биологических реакций щитовидной железы (ЩЖ). Для оценки обеспеченности почв и продуктов питания местного населения йодом определено содержание йода в 208 образцах почв, в 51 пробе природных вод и 156 образцах картофеля, отобранных в личных подсобных хозяйствах области из 113 населенных пунктов Брянской области. Показана низкая обеспеченность йодом исследованных звеньев местных пищевых цепей, что экспериментально подтверждает возможность роста риска негативных биологических реакций ЩЖ среди населения Брянской области после техногенного загрязнения радионуклидами йода.

Ключевые слова: Брянская область, дефицит йода, щитовидная железа, агроландшафт, почвы, природные воды, картофель

Брянская область относится к Нечерноземному региону, характеризующемуся дефицитом ряда элементов в почвах и биогеохимической пищевой цепи, в том числе йода, роль которого в функционировании щитовидной железы человека и животных хорошо известна и доказана [5]. Загрязнение техногенными радионуклидами йода западных районов области в 1986 г. вследствие аварии на Чернобыльской АЭС увеличило риск возникновения заболеваний ЩЖ среди местного населения [6]. Основными источниками йода в организме являются продукты питания и питьевая вода, что предопределяет высокую зависимость здоровья населения, живущего простым сельскохозяйственным трудом и питающегося продуктами местного производства, от уровня содержания йода в почвах и природных водах сельскохозяйственных ландшафтов. Повышенная активность поглощения йода ЩЖ при его дефиците в окружающей среде повышает и риск поступления его радионуклидов в организм при их техногенных выбросах в биосферу. Влияние трофической цепочки на заболеваемость ЩЖ [12; 13], а также ее роль в транспорте I-131 в районах, загрязненных радионуклидами подтверждена многочисленными исследованиями [4; 11; 14; 15].

Исследование содержания йода в почвах личных подсобных хозяйств (ЛПХ) Брянской области и сельскохозяйственных культурах (картофеле) как в зоне радиоактивного загрязнения, так и за ее пределами в районах с разной структурой почвенного покрова проводилось с 2007 по 2013 г. в рамках грантов РФФИ. Цель

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-05-00912, 10-05-01148 и 13-05-00823.

исследования — выявить объективные риски жизни и здоровью населения в йододефицитных районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Почвенный покров области характеризуется большим разнообразием, что обусловлено ее геолого-геоморфологическими особенностями. Основную его фон составляют дерново-подзолистые почвы, на долю серых лесных почв приходится около 20%, остальные типы почв занимают 31% территории (рис. 1) [2; 3].

Распространение типов и геохимические особенности вышеперечисленных почв области подчиняются их приуроченностью к конкретному типу почвообразующих пород. Так, дерново-подзолистые песчаные почвы распространены в основном в западных и северо-западных районах области на водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях. Дерново-подзолистые супесчаные почвы встречаются во всех районах и занимают плоские, слабоволнистые задровые равнины и террасы рек. Дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы наиболее распространены на территории области и приурочены ко всем положительным элементам рельефа и почти всем типам пород, встречающимся в Брянской области. Все эти почвы слабогумусированы (0,9—1,7%), верхние их горизонты обеднены основаниями (2,1—6,9 мг-экв/100) и имеют среднекислую реакцию среды ($pH_{KCl} = 4,9$) [2].

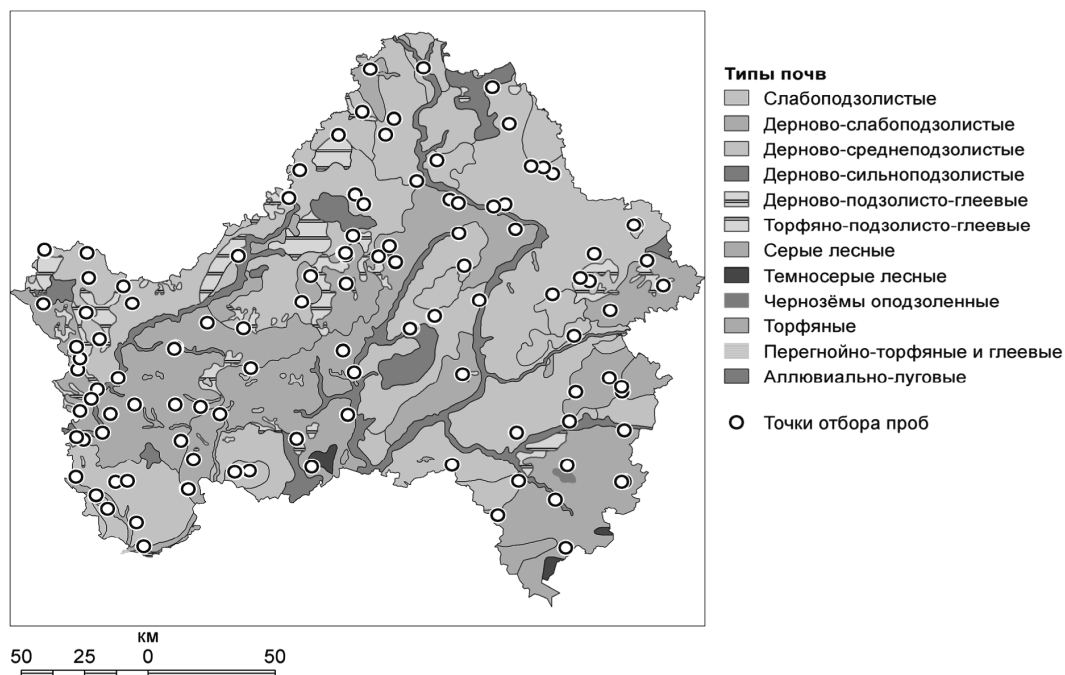


Рис. 1. Карта фактического материала (на карте почвенного покрова)

Серые лесные почвы приурочены к двум регионам — восточной части области и правобережью р. Десны и р. Судости в центре области, где распространены лесовидные карбонатные суглинки. Ввиду более высоких агрохимических показателей (в сравнении с дерново-подзолистыми почвами) большая часть из них вовлечена в сельскохозяйственный оборот. Близкая к нейтральной кислот-

ность ($pH_{KCl} = 5,6-5,7$), содержание гумуса (1,9—4,3%), и наименьшая сумма поглощенных оснований наблюдаются в верхнем пахотном горизонте (11,6—19,9 мг-экв/100) [3].

Среди других почв, занимающих значимые площади в области, заслуживают упоминания дерново-карбонатные (встречаются во всех районах в местах выхода меловых и мергелистых пород), дерново-глеевые (повсеместно приуроченные к понижениям, ложбинам и другим депрессиям рельефа), пойменные дерновые и иловато-торфяные (приурочены к долинам рек) и болотные почвы.

Как известно, для большинства типов почв внутриконтинентальных районов отмечается тесная положительная корреляционная зависимость между содержанием йода и гумуса в почве [4]. Разнообразный почвенный покров Брянской области позволяет предполагать наличие контрастных районов по содержанию йода в почвах и в соответствующих им продуктах питания (см. рис. 1).

Принципиальная возможность пространственной оценки йодного статуса территорий, загрязненных радиоактивными изотопами, на основе сочетания экспериментальных данных по содержанию йода в почвах, почвенных карт и картометрических расчетов была доказана ранее [5].

Исследования, проводившиеся нами ранее (грант РФФИ 07-05-912 и 10-05-01148) выявили высокую дифференциацию йода в почвенном покрове Брянской области в связи со сменой типов почв и их гранулометрического состава. Подобная неоднородность изначально обусловлена ландшафтной структурой исследуемой территории: сочетанием литологических, геохимических и климатических факторов [8; 11].

Анализ первых результатов изучения распределения йода в почвах и природных водах Брянской области показал существование различной обеспеченности этим элементом геохимически контрастных ландшафтов [2; 6; 7]. Новым этапом исследований 2013—2014 гг. стала попытка выявить различие в распространении и миграции йода в системе почва-вода-картофель в агроландшафтах, сформировавшихся на геохимически контрастных породах.

До 1991 года картофель, произведенный в Брянской области, занимал значительное место в продовольственном балансе страны, посевные площади картофеля в общественном секторе составляли 98 тыс. га, а объемы производства — 1,3 млн т. По ряду объективных и субъективных причин, в том числе вследствие аварии на ЧАЭС, производство картофеля в регионе снизилось. К 2005 году площадь возделывания составляла в общественном секторе 5,6 тыс. га, а валовое производство — 91,1 тыс. т [9]. Однако с 2006 г. в сельском хозяйстве области наметилась положительная динамика, сохранившаяся и по сей день (табл. 1).

Таблица 1

Анализ состояния отрасли картофелеводства в Брянской области [8]

Показатель	Год				
	2006	2007	2013	2014	2015
Сельскохозяйственные товаропроизводители					
Посевные площади, тыс. га	6,1	7,2	24	40	45
Валовой сбор, тыс. тонн	108,8	163,4	900	1 200	1 315,1
Урожайность, ц/га	178,4	227,6	290	300	305

Целесообразность и положительные тенденции в развитии картофелеводства в области, при сохранившейся приуроченности сельхозугодий к почвам и почвообразующим породам, бедным йодом (рис. 2) делают проблему оценки миграции йода в системе почва — картофель наиболее актуальной в наши дни.

Методы исследования

Для выполнения поставленной задачи полевой отбор проводился в одном или нескольких хозяйствах населенных пунктов Брянской области, по которым имелись сведения о заболеваемости ЩЖ среди местного населения. В каждом ЛПХ на картофельном поле закладывалась тестовая площадка размером 5 × 10 м, на которой производился отбор проб в 3—5 точках методом конверта или по диагонали (точка в центре и две в верхнем и нижнем углу площадки). При этом фиксировался уклон площадки, применение удобрений в период посевной и другие факторы, влияющие на содержание и распределение йода в почвах.

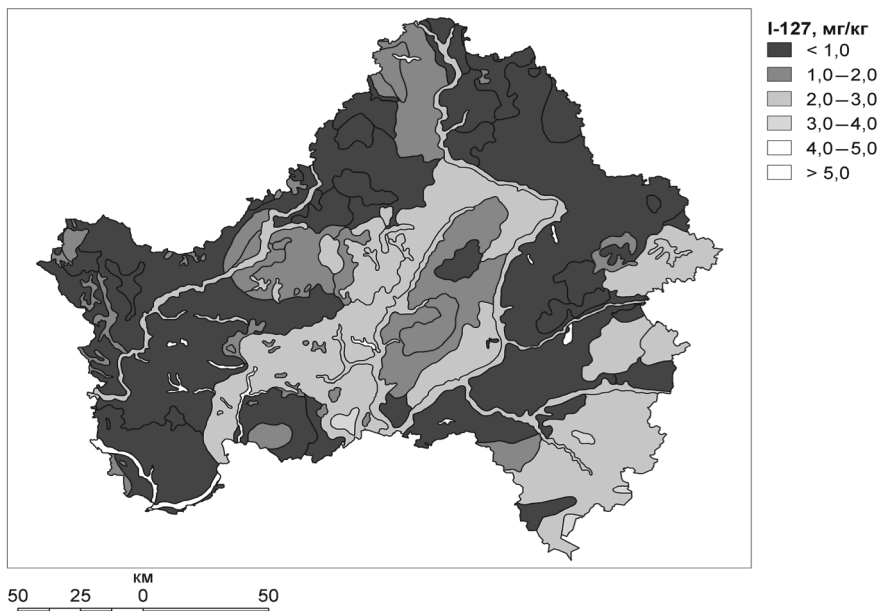


Рис. 2 Картографическая оценка обеспеченности почвенного покрова йодом [6]

Отбор почв проводился ручным буром до средней глубины пахотного слоя (20 см). В некоторых случаях керн разбивался на верхние 0—10 см и нижние 10—20 см для оценки значимости глубины отбора. В полевой сезон 2009 г. проводился отбор средней пробы почв до глубины 20 см. В ряде случаев почва отбиралась самими хозяевами ЛПХ по их желанию с помощью лопаты из верхнего (пахотного) слоя. Предварительно на месте отбора, производилось измерение поверхностной радиоактивности (мощности экспозиционной дозы — прибор MIRA, мсGy/h) и активности радиоцезия (Violinist III, имп/с).

Параллельно в ЛПХ проводилось опробование местных водных источников, отбор проб осуществлялся в пластиковые емкости объемом 400 мл по стандартным методикам [1].

Картофель отбирался непосредственно в месте отбора почвенной пробы. Таким образом, исследованию подвергались нижние звенья пищевой цепочки: почва—вода—картофель—человек.

Содержание йода во всех природных объектах определялось кинетическим роданидно-нитритным методом [10]. Статистическая обработка первичных данных проводилась в программе MS Excel. В работе использована база данных по образцам почв, картофеля, также природных вод, отобранных в ЛПХ синхронно в летние периоды 2007—2013 гг.

Результаты исследований

Первые исследования 2007 г. показали меньшее содержание и вариабельность йода в свекле (5—100 мкг/кг) и моркови (9—40 мкг/кг), по сравнению с сопряженно отобранным картофелем (13—249 мкг/кг). Это обстоятельство и доминирование картофеля в рационе питания предопределило его как основного объекта, исследуемого в дальнейшем (2008—2013 гг.).

Было определено содержание йода в 156 индивидуальных образцах картофеля, 113 населенных пунктов (см. рис. 1). В пахотных почвах содержание йода определено в 78 ядрах на всю глубину отбора (20 см) и в 59 ядрах в двух слоях (верхнем 0—10 см — и нижнем — 10—20 см). Еще 12 образцов были отобраны без точной фиксации глубины. Содержание йода в грунтовых водах измерено в 51 пробе.

В результате обработки данных получены статистические характеристики по трем группам агроландшафтов сформировавшихся на серых лесных почвах; дерново-подзолистых почвах; дерново-подзолисто-глеевых, дерново-глеевых почвах (табл. 2).

Таблица 2

Основные статистические показатели содержания йода в почвах и картофеле агроландшафтов Брянской области (ЛПХ)

Класс водной миграции тип почв	Статистические характеристики	Воды		Картофель		Почва пахотная ЛПХ								
		п	мкг/л	п	мкг/л	мощность		мощность		мощность				
						0—20 см		0—10 см		10—20 см				
						п	мкг/л	п	мкг/л	п	мкг/л			
H ⁺ -Ca ²⁺ серые лесные	Среднее	10	12,1	36	48,15	19	1,57		17	1,33		17	1,48	
	Максимум		34,3		197,03		7,55			2,38			3,1	
	Минимум		1,8		6,02		0,24			0,3			0,4	
	Медиана		12,1		38		1,53			1,45			1,42	
H ⁺ дерново- подзолистые	Среднее	22	6,1	75	41,81	37	0,98		38	1,03		38	1,06	
	Максимум		15,6		203,26		3,5			3,56			3,8	
	Минимум		1,7		2,23		0,13			0,32			0,33	
	Медиана		5,2		35,88		0,89			0,95			1,08	
H ⁺ -Fe ²⁺ дерново- подзолистоглеевые и дерново-глеевые	Среднее	19	10	39	35,75	20	0,97		19	0,89		16	0,98	
	Максимум		30,1		265,11		1,93			2,82			2,21	
	Минимум		3,2		2,99		0,32			0,25			0,29	
	Медиана		7,9		26,81		0,87			0,68			0,8	

Наиболее высокие медианные значения йода, как и ожидалось, были обнаружены в агроландшафтах на серых лесных почвах (в почве — 1,01 мг/кг в слое 20 см; в картофеле 35,35 мкг/кг, в грунтовой питьевой воде — 12,1 мкг/л. В то же время максимальное содержание йода в картофеле зафиксировано на дерново-подзолисто-глеевых почвах в подчиненных ландшафтах.

Таким образом, даже в серых лесных почвах содержание йода колеблется от острого дефицита (0,2—04, мг/кг) до нормы (свыше 5 мг/кг). В остальных же почвах Брянской области даже максимальные значения йода (таблица 2) находятся в области слабого дефицита, а значительная часть в зоне острого дефицита.

При сравнении содержания йода в ландшафтах кислого и глеевого типа водной миграции, обнаружилось более низкое содержание йода в верхних десяти сантиметрах почвы (рис. 3), что отвечает некоторым литературным данным и рекомендациям по опробованию почв на йод из слоя 10—20 см.

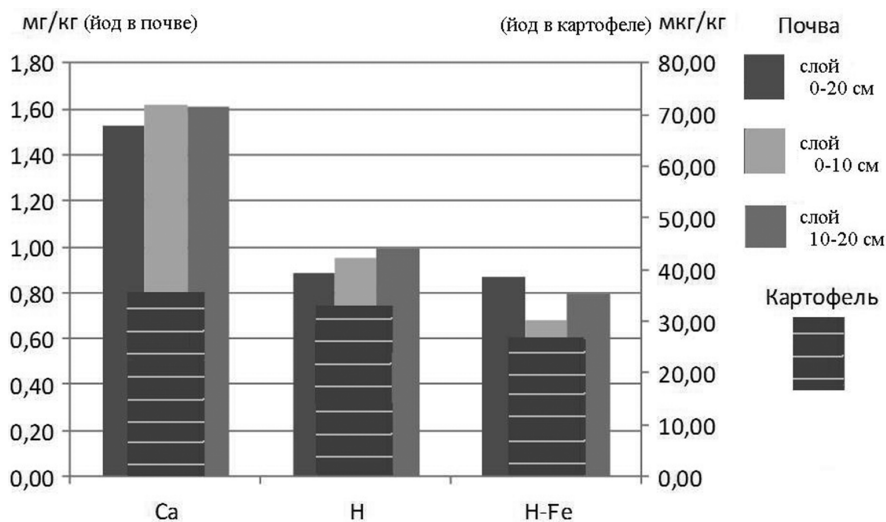


Рис. 3. Йод (медиана) в картофеле и почвах ЛПХ Брянской области

По-видимому, это может быть объяснено потерей йода в молекулярной форме верхними горизонтами. Однако на серых лесных почвах таких потерь не наблюдается и содержание йода наибольшее в верхнем слое почвы. Это может быть связано с тем, что йод здесь находится в малоподвижных формах, будучи связан органическим веществом и ионом Ca, который присутствует в серых лесных почвах в большем количестве.

Именно в ландшафтах кальциевого класса водной миграции наблюдается слабая, но статистически значимая связь между общим содержанием йода в почвах и в картофеле. При этом коэффициент корреляции не превышает 0,3.

Связи между содержанием йода в грунтовых водах и его уровнями в почвах и картофеле не установлено.

Однако это не означает, что ее нет, поскольку в данном исследовании не учтен ряд других факторов, которые могли повлиять на вариабельность содержания йода в картофеле, а именно: сорт картофеля, количество вносимых органических удобрений, особенности обработки земли и др.

Выводы

Установлено различное содержание йода в картофеле и почвах ландшафтов трех классов водной миграции, обусловленных разным типом почвообразующих пород и классом водной миграции химических элементов в почвах. Подтверждено, что наибольшее содержание йода в почве, воде и картофеле характерно для ландшафтов $H^+ - Ca^{2+}$ класса. Локальные максимумы содержания йода в других ландшафтах, по-видимому, связаны не только с местными условиями миграции, но обусловлены внесением удобрений или другими факторами антропогенного воздействия. Подтверждена обедненность йодом почв, картофеля и питьевых вод территорий, относящихся к западной части Брянской области (ландшафты кислого класса водной миграции), поступление на территорию которых радиоактивных изотопов этого элемента при аварии на ЧАЭС могло способствовать росту заболеваний ЩЖ среди местного населения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГОСТ Р 51592—2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».
- [2] Берёзкин В.Ю., Коробова Е.М., Колмыкова Л.И., Корсакова Н.В., Кригман Л.В. Оценка обеспеченности йодом агроландшафтов Брянской области. Материалы IX биогеохимической школы (31 августа — 02 сентября, Барнаул). Барнаул, 2015. С. 127—130.
- [3] Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области (генезис, свойства, распространение). Брянск, 1993. 160 с.
- [4] Кашин В.К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Л.: Наука. 1987. 261 с.
- [5] Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука. 1974. 299 с.
- [6] Коробова Е.М., Кувылин А.И. Природные биогеохимические провинции с низким содержанием йода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС // Материалы V биогеохимических чтений «Биогеохимическая индикация аномалий». М.: Наука. 2004. С. 156—167.
- [7] Коробова Е.М., Данилова В.Н., Корсакова Н.В., Хушвахтова С.Д., Березкин В.Ю., Кригман Л.В. Первые результаты изучения геохимической контрастности распределения йода и селена в ландшафтах на примере Брянской области // Вестник ОНЗ РАН. Т. 3. Специальный выпуск. 2011. NZ6044. doi:10.2205/2011NZ000174
- [8] Коробова Е.М., Рыженко Б.Н., Черкасова Е.В., Седых Э.М., Корсакова Н.В., Данилова В.Н., Хушвахтова С.Д., Березкин В.Ю. К вопросу о формах нахождения йода и селена в природных водах и их концентрирование на ландшафтно-геохимических барьерах // Геохимия / Geochemistry. 52. 2014. № 6. С. 554—568.
- [9] Лобырев И.С. Картофельводство в России и Брянской области, современное состояние, проблемы и перспективы развития // Вестник Брянского государственного университета. 2012. Вып. № 3(2). С. 46—50.
- [10] Проскуракова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140—143.
- [11] Korobova E.M., Romanov S.L., Silenok A.V., Kurnosova I.V., Chesalova E.I., Beriozkin V.Yu. Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident. Journal of Geochemical Exploration. Volume 142. Europe. 2014. Pp. 82—93.
- [12] Judprasong K., Jongjaithe N., Chavasit V. Comparison of methods for iodine analysis in foods. Food Chemistry — 193. 2016. Pp. 12—17.
- [13] Leufroy A., Noel L., Bouisset P., Maillard S. etc. Determination of total iodine in French Polynesian foods: Method validation and occurrence data. Journal of Food Chemistry. 169. 2015. Pp. 134—140.

- [14] Paul W. Eslinger, Bruce A. Napier, Lynn R. Anspaugh. Representative doses to members of the public from atmospheric releases of ^{131}I at the Mayak Production Association facilities from 1948 through 1972. *Journal of Environmental Radioactivity*. 135. 2014. Pp. 44–53.
- [15] Shakhtarin V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Orlov M.Y., Kopecky A.J. and Davis S. Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident. *International Journal of Epidemiology*. 2003. 32. Pp. 584–591.

IODINE DEFICIENCY IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE BRYANSK REGION

E.M. Korobova, V.U. Beryozkin, L.I. Kolmykova, N.V. Korsakova, L.V. Krigman

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry
of Russian Academy of Sciences
Kosygin str., 19, GSP-1, Moscow, Russia, 119991

Bryansk region is one of the regions of Russia which is characterized by a deficiency of a number of elements in soils and biogeochemical food chain, including iodine. Environmental contamination of the areas with natural iodine deficit by radioiodine isotopes can cause additional risk of negative biological reaction of the thyroid gland. The study shows the results of the analysis of the iodine content in 156 potato samples and 208 soil samples of agricultural landscapes, from 113 settlements of the Bryansk region. There are first results of the influence of natural iodine deficiency in agricultural soils and potatoes on the risk of adverse biological reactions of the thyroid gland. One of the results is different contents of iodine in potatoes and soils of landscapes of the three classes of water migration due to differences in the type of parent rocks and by class of water migration of chemical elements in soils. It is confirmed, that in typical landscapes of the $\text{H}^+ - \text{Ca}^{2+}$ class there are highest content of iodine in soil, water and potatoes

Key words: Bryansk region, iodine deficiency, thyroid, agrolandscape, potatoes, soil

REFERENCES

- [1] GOST R [the system of certification in Russia] 51592-2000 «Voda. Obshhie trebovaniya k otboru prob» [Water. General requirements for sampling].
- [2] Beryozkin V.Yu., Korobova E.M., Kolmykova L.I., Korsakova N.V., Krigman L.V. Otsenka obespechennosti jodom agrolandshaftov Bryanskoj oblasti [Assessment of iodine supply of agricultural lands in Bryansk region]. *Materialy IX biogeokhicheskoy shkoly* [Proceedings of the IX biogeochemical school]. Barnaul, 2015. Pp. 127–130.
- [3] Vorob'ev G.T. Pochvy Bryanskoj oblasti (Genezis, svojstva, rasprostranenie) [The soils of the Bryansk region (Genesis, properties, distribution)]. Bryansk, 1993. 160 p.
- [4] Kashin V.K. Biogeokhimiya, fitofiziologiya i agrokhimiya joda [Biogeochemistry, patofiziologiya and agricultural chemistry of iodine]. L.: Nauka [Leningrad: «Nauka»]. 1987. 261 p.
- [5] Koval'skij V.V. Geokhicheskaya ehkologiya [Geochemical ecology]. M.: Nauka [Moscow: «Nauka»]. 1974. 299 p.
- [6] Korobova E.M., Kuvylin A.I. Prirodnye biogeokhicheskije provintsii s nizkim sodержaniem joda kak rajony dopolnitel'nogo ehkologicheskogo riska v zonakh vozdejstviya avarii na

- С Chernobyl'skoj AEHS [Natural biogeochemical province with iodine content as areas of additional ecological risk in the zone affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. *Materialy V biogeokhimicheskikh chtenij «Biogeokhimicheskaya indikatsiya anomalij»* [Materials V biogeochemical readings «Biogeochemical indication of anomalies». Moscow: «Nauka»]. M.: Nauka. 2004. Pp. 156—167.
- [7] Korobova E.M., Danilova V.N., Korsakova N.V., Khushvakhtova S.D., Berezkin V.Yu., Krigman L.V. Pervye rezul'taty izucheniya geokhimicheskoy kontrastnosti raspredeleniya joda i selena v landshaftakh na primere Bryanskoj oblasti [The first results of research of geochemical contrast, the distribution of iodine and selenium in landscapes on the example of Bryansk region]. *Vestnik ONZ RAN. T. 3. Spetsial'nyj vypusk* [Bulletin of the Department of Earth Sciences RAS. T. 3. Special edition]. 2011. NZ6044. doi:10.2205/2011NZ000174
- [8] Korobova E.M., Ryzhenko B.N., Cherkasova E.V., Sedykh E.M., Korsakova N.V., Danilova V.N., Kpushvakhtova S.D., Berezkin V.Yu. K voprosu o formakh nakhozhdeniya joda i selena v prirodnykh vodakh i ikh kontsentrirovanie na landshaftno-geokhimicheskikh bar'erakh [The question of the forms of presence of iodine and selenium in natural waters and their concentration on landscape-geochemical barriers]. *Geokhimiya/Geochemistry*. 52. № 6. Moskva. GEOKHI RAN. [Moscow. GEOKHI RAS]. 2014. Pp. 554—568.
- [9] Lobyrev I.S. Kartofelevodstvo v Rossii i Bryanskoj oblasti, sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya [Potato in Russia and the Bryansk region, modern state, problems and prospects of development]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. Vypusk № 3(2)*. [Bulletin of the Bryansk state University. No. 3(2)]. 2012. Pp 46—50.
- [10] Proskuryakova G.F., Nikitina O.N. Uskorennyj variant kineticheskogo rodanidno-nitritnogo metoda opredeleniya mikrokolichestv joda v biologicheskikh ob'ektakh [Rapid kinetic rhodanide-nitrite method for the determination of trace amounts of iodine in biological objects]. *Agrokimiya*. [“Agrochemistry”]. 1976. № 7. Pp. 140—143.
- [11] Korobova E.M., Romanov S.L., Silenok A.V., Kurnosova I.V., Chesalova E.I., Beriozkin V.Yu. Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident. *Journal of Geochemical Exploration*. Volume 142. Europe. 2014. Pp. 82—93.
- [12] Judprasong K., Jongjaithet N., Chavasit V. Comparison of methods for iodine analysis in foods. *Food Chemistry* — 193. 2016. Pp. 12—17.
- [13] Leufroy A., Nol L., Bouisset P., Maillard S. etc. Determination of total iodine in French Polynesian foods: Method validation and occurrence data. *Journal of Food Chemistry*. 169. 2015. Pp. 134—140.
- [14] Paul W. Eslinger, Bruce A. Napier, Lynn R. Anspaugh. Representative doses to members of the public from atmospheric releases of ^{131}I at the Mayak Production Association facilities from 1948 through 1972. *Journal of Environmental Radioactivity*. 135. 2014. Pp. 44—53.
- [15] Shakhtarin V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Orlov M.Y., Kopecky A.J. and Davis S. Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident. *International Journal of Epidemiology*. 2003. 32. Pp. 584—591.