

## ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 550.47:574.2:502.22

### ЙОД В ПОЧВАХ И КАРТОФЕЛЕ ЛИЧНЫХ ПОДСОБНЫХ ХОЗЯЙСТВ БРЯНСКОЙ И ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТЕЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВАРИИ НА ЧАЭС

© 2019 г. Е. М. Коробова<sup>а</sup>, \*, В. Ю. Берёзкин<sup>а</sup>, Н. В. Корсакова<sup>а</sup>,  
Л. В. Кригман<sup>а</sup>, С. Л. Романов<sup>б</sup>, В. С. Баранчуков<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия

<sup>б</sup>УП “Геоинформационные системы”, ул. Сурганова, 6, Минск, 220012 Белоруссия

\*e-mail: helene\_k@mail.ru

Поступила в редакцию 14.12.2018 г.

После доработки 29.01.2019 г.

Принята к публикации 25.03.2019 г.

Среди жителей Брянской и Гомельской областей России и Белоруссии, подвергшихся воздействию “йодного удара”, произошедшего в результате аварии на ЧАЭС 1986 г., отмечен резкий рост числа заболеваний щитовидной железы. При этом наличие природного дефицита йода в почвах явилось важным фактором дополнительного риска, способным вызывать негативные реакции, в первую очередь среди детей, среди которых заболеваемость раком щитовидной железы в Белоруссии возросла в 76 раз. В связи с тем, что для местного населения картофель является важнейшим рациональным продуктом питания, на протяжении 2007–2017 гг. на пострадавших в результате аварии на ЧАЭС в 1986 г. территориях России и Белоруссии было обследовано 97 населенных пунктов, в которых для 138 личных подсобных хозяйств было проведено опробование пахотных почв и сельхозпродукции. Полученные результаты показали, что содержание йода в этих почвах Брянской области колеблется от 0.11 до 3.5 мг/кг воздушно-сухой массы. При этом содержание йода в картофеле, выращенном на этих почвах, варьировало в значительно более широком диапазоне: от 0.002 до 0.119 мг/кг (сырой массы), составляя в среднем 0.033 мг/кг, что одновременно свидетельствует и о низкой обеспеченности йодом именно этого продукта питания. Полученные данные заслуживают внимания при организации мониторинга и проведении мероприятий по профилактике йододефицитных заболеваний в зоне йододефицита.

*Ключевые слова:* йододефицит, щитовидная железа, почвенный покров, Fluvisols, Retisols, Gleysols, Phaeozems

DOI: 10.1134/S0032180X19100058

#### ВВЕДЕНИЕ

Йод участвует в синтезе таких важнейших гормонов щитовидной железы, как тироксин и трийодтиронин и, несмотря на то, что общее количество йода, необходимое человеку на протяжении жизни, не превышает 5 г, даже легкая степень йододефицита может стать пусковым механизмом для возникновения таких серьезных заболеваний щитовидной железы, как узловатый нетоксический зоб [1, 5, 8, 10, 14], и еще около 40 других болезней, включая идиосинкразию [11, 18].

Проблема загрязнения окружающей среды радиоактивными изотопами йода возникла параллельно с развитием атомной энергетики и началом испытаний ядерного оружия [10, 16, 23–27]. Именно изотопы йода обеспечили максимальную дозовую нагрузку на население пострадавших районов в течение первых месяцев после аварии на ЧАЭС [9], а наиболее значимым источни-

ком внутреннего облучения явился изотоп <sup>131</sup>I, который поступал в организм не только с водой, молоком и листовыми овощами, но и с вдыхаемым воздухом, вызывая так называемый “йодный удар” [8, 27].

Наиболее пострадавшими в результате аварии явились относящаяся к нечерноземному региону Российской Федерации Брянская область [14] и Гомельская область Белоруссии, где было отмечено значительное (до 18500 кБк/м<sup>2</sup> (500 Ки/км<sup>2</sup>)) загрязнение территории <sup>131</sup>I [7]. При этом для обеих областей возникла уникальная экологическая ситуация, сформировавшаяся в результате сочетанного воздействия радиоактивных и стабильных изотопов йода, поскольку “йодный удар” пришелся на области распространения природного йододефицита, что привело к значимому увеличению числа заболеваний раком щитовидной железы среди местного населения [17].

**Таблица 1.** Агрохимические показатели пахотного горизонта серых лесных и дерново-подзолистых почв Брянской области (по данным Воробьева [6])

Показатель	Серые лесные легкосуглинистые (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems)	Дерново-подзолистые песчаные (Albic Retisols (Arenic, Ochric, Raptic))	Дерново-подзолистые легкосуглинистые, (Albic Retisols (Loamic, Ochric))
$pH_{KCl}$	5.6–5.7	4.7–4.9	5.0–5.1
Гидролитическая кислотность, смоль(экв)/кг	1.9–2.7	2.0–2.3	2.1–2.5
Сумма обменных оснований, смоль(экв)/кг	11.6–19.9	1.7–2.7	5.13–8.41
$C_{орг}$ , %	0.64–2.50	0.41–0.67	0.75–0.99

Примечание. Названия почв даны по классификации СССР 1977 г, в скобках – по WRB 2014 г. [28].

Поскольку основным источником поступления йода в местный рацион является именно почва, исследования, проведенные на протяжении 2007–2013 гг., касались почти исключительно почвенного покрова. Результаты не только подтвердили факт наличия значительного йододефицита на территории Брянской области, но одновременно позволили выявить и весьма высокий уровень пространственной дифференциации содержания йода в почвенном покрове, попутно обнаружив и наличие достоверной связи между типом почв, их гранулометрическим составом и общим количеством содержащегося в них йода [3, 4, 16].

В свою очередь, экспедиционные исследования, осуществленные на территории Брянской и Гомельской областей в 2016–2017 гг., позволили выявить связи и различия в распространении йода в системе почва–картофель. При этом одновременно была решена и задача картографической оценки йодного статуса населенных пунктов, находящихся в геохимически контрастных условиях [17, 25].

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

**Краткая характеристика почвенного покрова района исследований.** Брянская область характеризуется значительным разнообразием геолого-геоморфологических условий. На ее территории имеет место чередование различных водно-ледниковых отложений московского и днепровского оледенений с выходами пород палеоген-неогенового и мелового возраста. В геоморфологическом плане в пределах области отмечено сочетание размытых моренных гряд с лёссовыми плато, низменными равнинами и широкими ложбинами стока. Основной фон (49%) в почвенном покрове составляют зональные дерново-подзолистые почвы (Albic Retisols (Arenic or Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)), около 20% площади приходится на долю серых лесных почв (Eutric Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric) and Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic, Aric)), остальные 31% территории занимают почвы восьми типов, которые по большей части являются интразональными (пойменными и заболоченными) [6].

Дерново-подзолистые песчаные почвы распространены в основном в западных и северо-западных районах Брянской области, где они формируются на моренных, водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях. Дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы встречаются повсеместно и занимают плоские, слабоволнистые зандровые равнины и террасы рек, однако легкосуглинистые разновидности по большей части приурочены к положительным элементам рельефа. Данные почвы характеризуются невысоким содержанием органического углерода ( $C_{орг}$ , 0.52–0.99%), обеднены основаниями (2.1–6.9 смоль(экв)/кг) и имеют в среднем повышенную кислотность ( $pH_{KCl}$  4.7–5.1) [3, 4, 6] (табл. 1).

Серые лесные почвы приурочены к восточной и центральной частям области, где они распространены, главным образом, на лёссовидных карбонатных суглинках. Эти почвы отличаются меньшей кислотностью ( $pH_{KCl}$  5.6–5.7) и повышенным содержанием  $C_{орг}$  (1.10–2.50%), а сумма поглощенных оснований в верхнем пахотном горизонте составляет 11.6–19.9 смоль(экв)/кг [6].

Среди других почв локально встречаются дерново-карбонатные (Rendzic Phaeozems) (в местах выхода меловых и мергелистых пород), дерново-глеевые (Mollic Gleysols) (приуроченные к понижениям), пойменные дерновые (Fluvisols), луговые и иловато-торфяные (Histic Gleysols) и болотные почвы (Histosols).

Проведенный анализ образцов пахотных почв, отобранных в ходе полевых экспедиционных исследований, показал, что выявленные агрохимические показатели в целом соответствуют имеющимся литературным данным, что косвенно свидетельствует о репрезентативности полученной выборки (табл. 2).

В силу более однородных геолого-геоморфологических условий почвенный покров Гомельской области Белоруссии характеризуется значительно меньшим разнообразием. Основной фон здесь также составляют дерново-подзолистые почвы (Albic Retisols (Arenic or Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)) (68.1%), а 18.4% приходится на долю

**Таблица 2.** Агрохимические показатели пахотного горизонта дерново-подзолистых и мелиорированных торфяно-глеевых почв Брянской области (аналитик О.А. Бухарева, 2008)

Зональный/интразональный тип почвы	Населенный пункт	Индекс ЛПХ	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	C <sub>орг</sub> , %	Сумма обменных катионов, смоль(экв)/кг
Дерново-слабоподзолистые пахотные (агродерново-подзолистые), Albic Retisols (Arenic, Aric, Ochric, Raptic)	Новые Бобовичи	1	6.74	0.55	0.90
		2	5.85	1.29	0.63
	Киваи	7	5.55	0.29	0.04
Дерново-среднеподзолистые пахотные (агродерново-подзолистые), Albic Retisols (Arenic, Aric, Ochric, Raptic)	Николаевка	1	5.85	0.23	0.17
		5	4.79	0.12	Не отр.
	Верещаки	4	6.92	2.13	1.51
Осушенные торфяно-подзолисто-глеевые (агроперегнойно-глеевые), Histic Gleysols (Aric, Drainic)	Увелье	3	5.95	0.54	0.46
	Яловка	3	6.29	1.32	1.15
	Старый Вышков	1	6.66	0.85	1.17

Примечание. Названия почв даны по классификации почв СССР 1977 г., в скобках – по классификации почв России 2004 г. [12], латиницей по WRB 2014 [28].

дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв (Albic Stagnic or Gleyic Retisols (Arenic or Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)). Оставшиеся проценты делят между собой торфяно-болотные, аллювиальные дерновые и другие почвы разной степени заболоченности [21]. Дерново-подзолистые почвы – основная составляющая фонда пахотных земель Белоруссии. Данные почвы слабогумусированы (2.67% C<sub>орг</sub>), характеризуются невысоким содержанием элементов минерального питания и имеют повышенную кислотность (pH<sub>KCl</sub> 4.5–5) [13]. Они повсеместно распространены на водно-ледниковых песчанисто-пылеватых и лёссовидных суглинках, а низкий уровень высотной стратификации территории способствует процессам их интенсивного заболачивания и переувлажнения [13]. Наиболее плодородными из них являются дерново-подзолистые почвы на лёссовидных супесях и суглинках. К другим почвам, занимающим значимые площади, принадлежат дерново-подзолистые глеевые, торфяно-болотные и дерновые заболоченные [13, 21].

#### Методы полевых и лабораторных исследований.

Все полевые исследования проводили в летний период (июль–август), в хозяйствах тех населенных пунктов, по которым имелись сведения о заболеваемости щитовидной железы среди местного населения (рис. 1). В каждом опробуемом личном подсобном хозяйстве (ЛПХ) закладывали тестовую площадку размером 5 × 10 м, на которой производили одновременный отбор проб почвы и овощных культур в пяти точках методом “конверта”. При этом фиксировали тип почвы, мощность пахотного горизонта, наличие уклона, применение удобрений, увлажненность и др.

Отбор проб почв проводили ручным буром на глубину пахотного слоя (20 см) с предварительным измерением плотности загрязнения почвы радиоцезием с помощью полевого гамма-спектрометра Violinist III (США) и определением мощности эквивалентной дозы (мкЗв/ч) прибором MIRA-661, Genitron Instruments GmbH (Германия). Проведенные полевые измерения показали, что несмотря на очевидное снижение загрязнения пахотных почв, происходящее за счет радиоактивного распада и механического перемешивания верхнего слоя почв, соотношение уровней загрязнения населенных пунктов радиоцезием сохранилось неизменным, что подтверждается наличием корреляции между полученными и опубликованными данными по первичному загрязнению населенных пунктов пострадавших территорий [20].

Содержание йода определяли в ГЕОХИ РАН кинетическим роданидно-нитритным методом [19], статистическую обработку результатов проводили по классическим методикам средствами программы MS Excel [2, 3, 17, 22].

Массив данных, рассматриваемый в настоящей статье, включает информацию по 211 точкам отбора почв и картофеля, характеризующим 138 ЛПХ в 97 населенных пунктах.

**Методы картографических исследований.** Предварительную оценку йодного статуса территории осуществляли на основе анализа имеющихся почвенных карт, для чего дополнительно привлекали доступную атрибутивную информацию о содержании йода в почвах разного типа и гранулометрического состава [5, 15, 17]. После этого непосредственную картографическую оценку йодного статуса отдельных населенных пунктов Брянской и Гомельской областей вели уже с учетом структуры

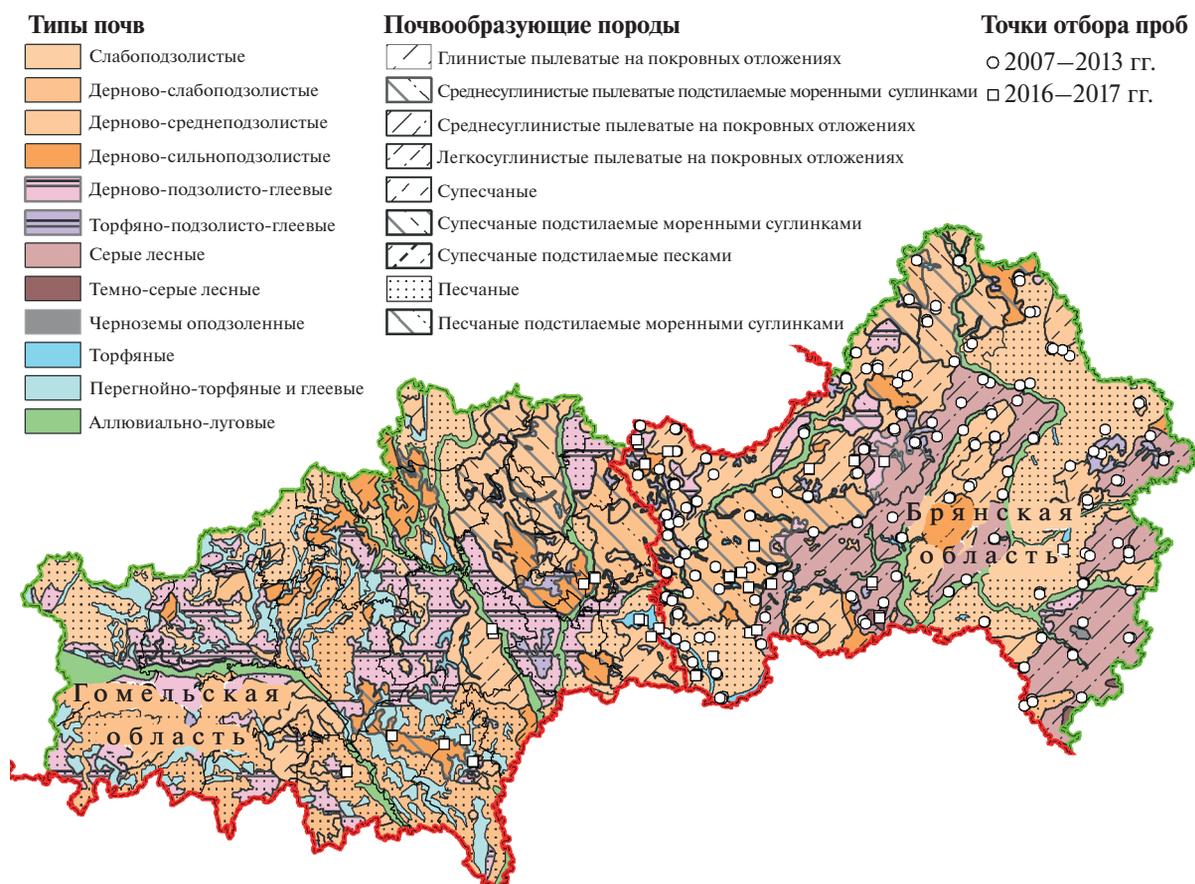


Рис. 1. Карта фактического материала 2007–2017 гг., построенная на фоне фрагмента государственной почвенной карты масштаба 1 : 1000000.

почвенного покрова, представленного на почвенной карте в радиусе 2.5 км от центра каждого из анализируемых населенных пунктов (НП), что в среднем соответствовало площади хозяйств, существовавших на момент на аварии.

Данную процедуру осуществляли средствами ГИС ESRI ArcGIS 10.0 [2], а общую обеспеченность почв НП йодом рассчитывали по формуле:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i S_i, \quad (1)$$

где  $I$  – средневзвешенное содержание йода, определенное для всех почв, присутствующих в пределах заданного радиуса, мг/кг воздушно-сухой массы;  $I_i$  – содержание йода в почве  $i$ -го типа, мг/кг;  $S_i$  – доля площади  $i$ -го типа почв в заданном радиусе;  $n$  – общее число почвенных полигонов в заданном радиусе.

При картографической оценке использовали литературные и ранее полученные собственные данные по концентрации йода в почвах разного типа, гидроморфности и гранулометрического состава [17, 25].

Полученные данные использовали для предварительного ранжирования НП по уровню йодо-

дефицита, его осуществляли с применением пороговых критериев Ковальского [14]. При этом наибольший интерес представлял показатель интенсивности перехода йода в системе почва–растение, рассчитанный как отношение содержания йода в продукции (картофеле) к его содержанию в почве, называемый коэффициентом биологического накопления ( $КБН_1$ ), вычисление которого осуществляли по формуле:

$$КБН_1 (\%) = \frac{C_{1к}}{C_{1п}} \times 100\%, \quad (2)$$

где  $КБН_1 (\%)$  – процент перехода йода в 1 кг сырого картофеля из 1 кг воздушно-сухой массы почвы;  $C_{1к}$  – концентрация йода в картофеле (мг/кг сырой массы);  $C_{1п}$  – концентрация йода в почве, среднее для пахотного слоя общей мощностью 20 см (мг/кг воздушно-сухой массы).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Картографическая оценка параметров йододефицита в исследованных ЛПХ.** Результаты картографической оценки уровня обеспеченности почв йодом, осуществленной в радиусе 2.5 км для

123 обследованных НП, показали наличие как минимум среднего уровня йододефицита на территории Брянской области. В абсолютно благополучных условиях обеспеченности почв йодом, согласно критерию В.В. Ковальского ( $>5$  мг/кг воздушно-сухой массы), находится не более 1% обследованных НП, 41% – в относительно благополучных условиях и в неблагоприятных условиях ( $<2$  мг/кг воздушно-сухой массы) – 58%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Содержание йода в почвах.** Анализ вертикального распределения йода в почвах обследованных ЛПХ (верхнем 0–10 см и нижнем 10–20 см) показал, наличие закономерной однородности содержания йода в пахотном горизонте всех типов почв, а наблюдаемое в 63% случаев незначительное (на 0.1–0.3 мг/кг) увеличение содержания йода верхних 0–10 см объясняется как поверхностным способом внесения органических удобрений, так и различием в приемах агротехники, используемых в тех или иных ЛПХ (тракторная и конная вспашка).

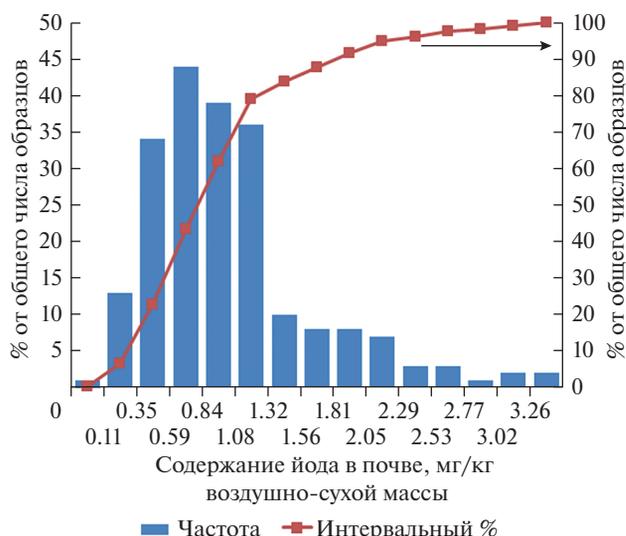
В связи вышесказанным дальнейшую оценку содержания йода в почвах производили на всю глубину пахотного слоя (0–20 см). Гистограмма распределения почв обследованных ЛПХ по среднему содержанию йода в пахотном горизонте представлена на рис. 2.

Сопоставление экспериментальных данных с величинами ранее полученной картографической оценки по населенным пунктам показало, что между этими параметрами наблюдается лишь слабый тренд положительной связи.

Однако при этом экспериментальные данные показали, что содержание йода в пахотном горизонте повсеместно более чем в два раза меньше величины имеющейся картографической оценки, что вызвано закономерной разницей содержания элемента в гумусном и пахотном (смешанном) горизонтах исследуемых почв.

Статистические характеристики содержания йода в пахотном горизонте семи основных групп почв представлены в табл. 3. Анализ приведенных данных демонстрирует не только значительное варьирование содержания йода в почвах всех типов, но и отсутствие значительной разницы между его средним содержанием в пахотных горизонтах большинства обследованных почв.

Несколько более обеспеченными йодом, как и ожидалось, оказались ЛПХ на серых лесных почвах. Среди дерново-подзолистых почв относительно повышенным содержанием характеризуются суглинистые разновидности (в среднем 1 мг/кг воздушно-сухой массы), но значимо большее содержание йода отмечено только в образцах почв гидроморфного ряда (мелиорированных луговых и болотных, 2.7 и 3.3 мг/кг воздушно-сухой мас-



**Рис. 2.** Гистограмма распределения содержания йода в пахотном слое почв ЛПХ (0–20 см) ( $n = 211$ ). По оси абсцисс указаны верхние границы интервалов концентрации йода.

сы). Наименее обеспечены йодом слабоподзолистые песчаные почвы.

Характерно, что для большинства проб мелиорированных торфяно-глеевых почв обеспеченность йодом оказалась значительно ниже, чем для их ненарушенных аналогов и не превышала 1.5–2.68 мг/кг, что сопоставимо с обеспеченностью пахотных дерновых и дерново-среднеподзолистых суглинистых почв.

**Содержание йода в картофеле.** Содержание йода в очищенных клубнях картофеля, отобранных в Брянской и в Гомельской областях, варьировало от 0.002 до 0.119 мг/кг сырой массы и в среднем составило 0.042 мг/кг сырой массы, что в целом соответствует литературным данным (0.040–0.070 мг/кг сырой массы). При этом большая часть образцов (66%) отличалась низкой обеспеченностью йодом и содержала менее 0.044 мг/кг сырой массы. Более 0.05 мг/кг сырой массы было определено в 30% изученных образцов и только в 10% проб содержание йода превысило 0.077 мг/кг сырой массы. Частотная гистограмма распределения йода в образцах картофеля представлена на рис. 3.

Анализ содержания йода в образцах картофеля, выращенного на почвах разных типов, показал, что, во-первых, средняя концентрация этого элемента слабо различается для почв разных типов, а, во-вторых, содержание йода существенно варьирует в пределах всех исследованных групп почв (табл. 4).

Частотные гистограммы, характеризующие специфику распределения йода в данных выборках, наглядно свидетельствуют о количественном преобладании образцов с относительно низким содержанием йода и о некотором росте числа обогащенных йодом проб по мере уменьшения

**Таблица 3.** Основные статистические показатели содержания йода в пахотных почвах ЛПХ Брянской области

Тип и подтип почв, гранулометрический состав (выборочно)	Число образцов	Содержание йода в слое 0–20 см, мг/кг воздушно-сухой массы		
		среднее	максимум	минимум
Окультуренные аллювиально-дерновые (агрогумусовые аллювиальные типичные), Eutric Fluvisols (Loamic, Aric, Ochric)	20	1.04	3.31	0.13
Слабоподзолистые песчаные (агроподзолы), Albic Ortsteinic Podzols (Arenic, Aric)	27	0.86	2.28	0.11
Дерново-среднеподзолистые песчаные (агродерново-подзолы), Albic Podzols (Arenic, Aric, Ochric)	37	0.90	2.53	0.39
Дерново-среднеподзолистые суглинистые (агродерново-подзолистые), Albic Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)	34	0.99	1.89	0.23
Дерново-слабоподзолистые (агродерново-подзолистые), Eutric Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)	31	0.89	2.25	0.29
Осушенные перегнойно-глеевые (агроперегнойно-глеевые), Histic Gleysols (Aric, Drainic)	18	0.99	2.68	0.24
Серые и темно-серые лесные (серые и темно-серые типичные и агросерые типичные), Luvic Retic Greyzemis Phaeozems (Loamic, Aric)	44	1.47	3.50	0.24

Примечание. Названия почв даны по классификации почв СССР 1977 г., в скобках – по классификации почв России 2004 г. [12], латиницей по WRB 2014 [28].

выраженности подзолистого процесса на почвах легкого гранулометрического состава.

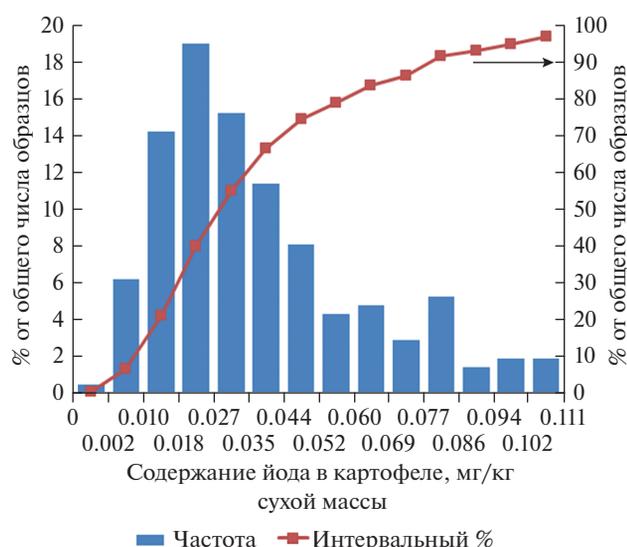
**Коэффициент биологического накопления (КБН) йода в картофеле.** Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что прямой связи между содержанием йода в почве и в картофеле нет. Об этом свидетельствуют и практически все частотные гистограммы, указывающие на то, что в подавляющем большинстве случаев растением реализуется сценарий близкого к минимальному поглощения йо-

да из почвы, что должно отражать генотипические особенности растений данного вида, поскольку первичным ареалом возникновения дикого картофеля являются предгорные территории Боливии и Перу, традиционно известные как области острого природного йододефицита.

О слабой физиологической потребности в йоде свидетельствует и тот факт, что на разных почвах фиксируются практически одинаковые средние значения КБН (0.05–0.07). При этом стоит обратить внимание на значительные различия максимально наблюдаемых величин КБН, которые варьируют от 0.15 до 0.4, что, скорее всего, представляет результат последующей селекции и возникновения таким образом сортового разнообразия (рис. 4).

Однако целиком отрицать наличие обратной связи между величиной КБН и содержанием йода в почве нельзя, поскольку величина коэффициента достоверности аппроксимации составляет 0.402. Выявленный рост величин КБН с уменьшением содержания йода в почве в области его низких концентраций (рис. 5) свидетельствует о том, что для клубней картофеля при содержании йода в почве <1.25 мг/кг воздушно-сухой массы существует определенная физиологическая потребность в йоде, которая компенсируется повышением КБН.

**Сравнительный анализ содержания йода в почвах и картофеле трансграничных территорий России и Белоруссии.** Анализ образцов картофеля, отобранных в трансграничных районах Брянской (Россия) и Гомельской областей (Белоруссия) в



**Рис. 3.** Частотная гистограмма распределения йода в образцах картофеля.

**Таблица 4.** Содержание йода в картофеле, произведенном на разных типах почв в ЛПХ Брянской области

Тип и подтип почв	n	Содержание йода в картофеле, мг/кг сырой массы		
		среднее	максимум	минимум
Окультуренные аллювиально-дерновые (агрогумусовые аллювиальные типичные), Eutric Fluvisols (Loamic, Aric, Ochric)	20	0.034	0.112	0.010
Слабоподзолистые песчаные (агроподзолы), Albic Ortsteinic Podzols (Arenic, Aric)	27	0.036	0.094	0.001
Дерново-среднеподзолистые песчаные (агродерново-подзолы), Albic Podzols (Arenic, Aric, Ochric)	37	0.041	0.119	0.002
Дерново-среднеподзолистые суглинистые (агродерново-подзолистые), Albic Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)	34	0.043	0.119	0.008
Дерново-слабоподзолистые (агродерново-подзолистые), Eutric Retisols (Loamic, Aric, Cutanic, Ochic)	31	0.036	0.103	0.007
Осушенные перегнойно-глеевые (агроперегнойно-глеевые), Histic Gleysols (Aric)	18	0.049	0.104	0.004
Серые и темно-серые лесные (серые и темно-серые типичные и агросерые типичные), Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Loamic, Aric)	44	0.043	0.119	0.009

Примечание. Названия почв даны по классификации почв СССР 1977 г., в скобках – по классификации почв России 2004 г. [12], латиницей по WRB 2014 [28].

летний период 2016–2017 гг. в зоне распространения дерново-подзолистых почв, показал, что, несмотря на близкие величины содержания йода в почвах, заметное различие в части обеспеченности йодом картофеля все же имеет место.

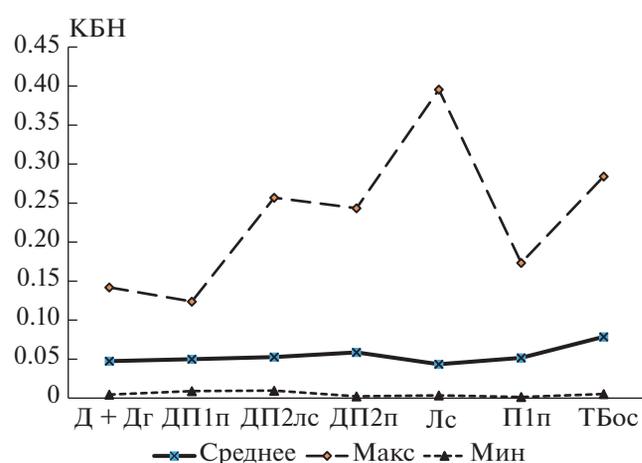
В обеих областях установлено в среднем невысокое содержание йода в дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственного назначения (0.21–2.53 мг/кг воздушно-сухой массы). Для верхних десяти сантиметров пахотного слоя почв ЛПХ получены практически одинаковые средние значения концентрации йода (0.72 и 0.76 мг/кг воздушно-сухой массы). Однако при этом содержание йода в картофеле, отобранном в Белоруссии, в среднем оказалось вдвое выше, чем в России, и составило 0.074 против 0.041 мг/кг сырой массы.

Большее содержание йода в картофеле Гомельской области по сравнению с Брянской может быть объяснено спецификой ведения хозяйства (большей регулярностью и объемами внесения органических удобрений, специфической сортностью картофеля и др.). Незначительность объема существующей выборки ( $n = 8$ ) пока не позволяет сделать окончательного заключения о статистической значимости выявленных различий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные полевые исследования продемонстрировали в целом низкую обеспеченность йодом пахотных почв ЛПХ, размещенных как в Брянской области, где среднее содержание йода составило 1.05 мг/кг воздушно-сухой массы, так и Гомельской области, где этот показатель со-

ставлял 0.81 мг/кг воздушно-сухой массы при оптимальном содержании (5 мг/кг [14]). В наибольшей степени оказались обеспеченными йодом серые лесные почвы (1.47 мг/кг воздушно-сухой массы,  $n = 44$ ), мелиорированные перегнойно-торфяные (0.99 мг/кг,  $n = 18$ ) и дерново-среднеподзолистые суглинистые почвы (0.99 мг/кг,  $n = 34$ ), а минимальные значения содержания йода были зафиксированы для слабоподзолистых песчаных и окультуренных пойменных почв, кото-



**Рис. 4.** КБН йода в картофеле, выращенном на почвах разных типов: Д + Дг – дерновые и дерново-глеевые, ДП1п – дерново-слабоподзолистые песчаные, ДП2лс – дерново-среднеподзолистые легкосуглинистые, ДП2п – дерново-среднеподзолистые песчаные, Лс – серые лесные, П1п – слабоподзолистые песчаные, ТБос – торфяно-болотные мелиорированные.

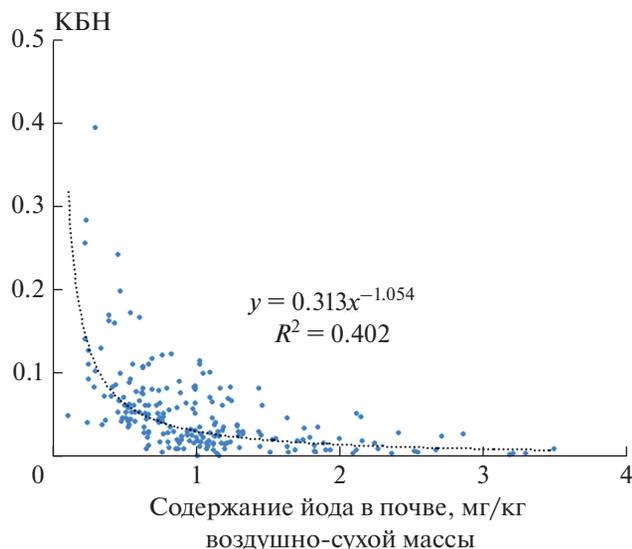


Рис. 5. Зависимость между содержанием йода в почве и КБН в клубнях картофеля.

рые составили 0.11 и 0.13 мг/кг воздушно-сухой массы. При этом зафиксировано существенное обеднение йодом пахотных почв ЛПХ по сравнению с их природными аналогами.

Одновременно обнаружено низкое среднее содержание йода в картофеле местного производства – для Брянской области это величина составила 0.041 мг/кг при разбросе 0.002–0.119 мг/кг сырой массы, для Гомельской области 0.074 мг/кг при разбросе 0.027–0.115 мг/кг сырой массы. Достоверной связи этих величин с типом почв или гранулометрическим составом породы не зафиксировано, что, по всей вероятности, является генетическим свойством, присущим данному виду растений. Вместе с тем величина этого показателя подвержена значительному варьированию, причиной которого, по-видимому, является различие используемых средств агротехники и сортность высаживаемого картофеля, что, несомненно, нуждается в дополнительном исследовании.

Полученные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на значимую роль в рационе, местный картофель не может являться надежным и постоянным источником поступления йода в рацион местного населения и наблюдаемое доминирование этого продукта способно усугубить состояние йододефицита, что, соответственно, требует разработки специальных мер контроля и профилактики специфических йододефицитных заболеваний.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках госзадания, полевые работы проводились при частичной финансовой поддержке грантами РФФИ 07-05-00912, 10-05-01148, 13-05-00823 и 16-55-00205.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова А.С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1993. 496 с.
2. Баранчуков В.С., Коробова Е.М., Берёзкин В.Ю., Романов С.Л., Чесалова Е.И. Создание геоинформационной среды для изучения пространственной структуры природно-техногенных биогеохимических провинций // Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы (Тр. биогеохимической лаборатории. Т. 26) М.: Изд-во ГЕОХИ РАН, 2017. С. 132–139.
3. Коробова Е.М., Берёзкин В.Ю., Колмыкова Л.И., Корсакова Н.В., Кригман Л.В. Дефицит йода в агроландшафтах Брянской области // Вестник Рос. ун-та Дружбы Народов. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2016. № 3. С. 57–65.
4. 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 // Мат-лы IX биогеохимической школы (31 августа–02 сентября, Барнаул). Барнаул, 2017. С. 127–130.
5. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана М.: Наука, 1967. 216 с.
6. Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области: генезис, свойства, распространение. Брянск, 1993. 160 с.
7. Герасимов Г.А., Фигге Д. Чернобыль 20 лет спустя // Клиническая и экспериментальная тиреологическая. 2006. № 2. С. 5–13.
8. Дедов И.И., Свириденко Н.Ю., Герасимов Г.А. Оценка йодной недостаточности в отдельных регионах России // Проблемы эндокринологии. 2000. № 6. С. 3–7.
9. Звонова И.А., Балонов М., Братилова А.А., Данилова И.О., Власов О.К., Шукина Н.В. Дозы облучения щитовидной железы у населения России вследствие выпадений радиоактивного йода после аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 2004. № 4 (96). С. 310–316.
10. Кашин В.К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 261 с.
11. Кашин В.К. Йод в объектах окружающей среды Забайкалья и эффективность обогащения им растений // Химия устойчивого развития. 2008. № 2 (16). С. 173–182.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. Клебанович Н.В., Аношко В.С., Чертко Н.К., Ковальчик Н.В., Черныш А.Ф. География почв Белоруссии. Минск: БГУ, 2009. 198 с.
14. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.
15. Коробова Е.М. К вопросу о пространственной структуре современных биогеохимических провинций // Почвоведение – журнал продовольственной и экологической безопасности страны. Тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всеросс. с междунар. участием научн. конф. (Белгород, 15–22 августа 2016 г.). Ч. I. М.–Белгород, 2016. С. 418–419.
16. Коробова Е.М., Данилова В.Н., Корсакова Н.В., Хушвахтова С.Д., Берёзкин В.Ю., Кригман Л.В. Первые результаты изучения геохимической кон-

- трастности распределения йода и селена в ландшафтах на примере Брянской области // Вестник ОНЗ. 2011. № Специальный выпуск (3). NZ6044. <https://doi.org/10.2205/2011NZ000174>
17. Коробова Е.М., Кувьлин А.И. Природные биогеохимические провинции с низким содержанием йода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС. М.: Наука, 2004. С. 156–167.
  18. Мальгин М.А. Йод в почвах Алтая // Почвоведение. 1980. № 8. С. 74–81.
  19. Проскуракова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
  20. Радиация и риск. Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра. 1993. Вып. 3. Приложение 1. Загрязнение территории России радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ + $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{131}\text{I}$ . 157 с.
  21. Смян Н.И., Шибут Л.И., Цытрон Г.С. Пригодность почв юго-восточной части Белоруссии под основные сельскохозяйственные культуры (на примере Гомельского района) // Весці Акадэміі аграрных навук Рэспублікі Беларусь. 1997. № 3. С. 33–35.
  22. Cardis E., Kesminiene A., Drozdovitch V., Tenet V., Ivanov V., Vlassov O., Abrosimov A., Chekin S., Lushnikov E., Maksimov M., Parshin V., Parshkov E., Tsyb A., Malakhova I., Polyakov S., Shabeka N., Shibata Y., Yamashita S., Khrouch V., Maceika E., Zvonova I., Bouville A., Goulko G., Hochi M., Anoshko J., Astakhova L., Demidchik E., Neronvia A., Pilipisevich N., Galanti R., Ito M., Korobova E., Masyakin V., Pinchera A., Suonio E., Williams D. Risk of thyroid cancer after exposure to  $^{131}\text{I}$  in childhood // J. National Cancer Institute. 2005. № 10 (97). P. 724–732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039103>
  23. Eslinger P.W., Napier B.A., Anspaugh L.R. Representative doses to members of the public from atmospheric releases of  $(^{131}\text{I})$  at the Mayak Production Association facilities from 1948 through 1972 // J. Environ. Radioactivity. 2014. V. 135. P. 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.04.003>
  24. Judprasong K., Jongjaithe N., Chavasit V. Comparison of methods for iodine analysis in foods // Food Chem. 2015. V. 193. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.058>
  25. 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 // J. Geochem. Exploration. 2014. V. 142. P. 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.02.028>
  26. Leufroy A., Noel L., Bouisset P. et al. Determination of total iodine in French Polynesian foods: Method validation and occurrence data // Food Chem. 2015. V. 169. P. 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.142>
  27. Shakhhtar V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F. et al. 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 // Int. J. Epidemiology. 2003. V. 32. № 4. P. 584–591. <https://doi.org/10.1093/ije/dyg205>
  28. 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, Rome.

## Iodine in Soils and Potatoes Produced in Private Farms of Bryansk and Gomel Regions Located in the Impact Zone of the Chernobyl Accident

E. M. Korobova<sup>1, #</sup>, V. U. Berezkin<sup>1</sup>, N. V. Korsakova<sup>1</sup>, L. V. Krigman<sup>1</sup>,  
S. L. Romanov<sup>2</sup>, and V. S. Baranchukov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia

<sup>2</sup>UE “Geoinformation systems”, Minsk, 220012 Republic of Belarus

#e-mail: helene\_k@mail.ru

Among residents of the regions Bryansk and Gomel of Russia and Belarus, who were exposed to the so-called iodine impact as a result of the 1986 Chernobyl nuclear power plant accident, there was a sharp increase in thyroid disease. In this regard, the natural iodine deficiency in soils was an important additional risk factor that could cause negative reactions primarily among children, for whom the incidence of thyroid cancer in Belarus increased by 76 times. Potatoes belongs to one of the main ration-forming foods among the local population. In this regard, in 2007–2017, 97 settlements were surveyed in the affected areas, in which samples of local arable soils and potatoes were taken from 138 private subsidence farms (PFs). The iodine content in the studied soils of the private farms of the Bryansk region ranged from 0.11 to 3.5 mg/kg (air-dry weight). The content of iodine in potatoes grown on these soils varied within a considerably wider interval: from 0.002 to 0.119 mg/kg (wet weight), averaging 0.033 mg/kg, which indicates a generally low iodine availability of this food. The data obtained deserve attention when organizing monitoring and carrying out measures for the prevention of iodine deficiency.

**Keywords:** iodine, soil-potato system, iodine deficiency, private subsidence farming, thyroid gland, soil cover, potato, Fluvisols, Podzols, Retisols, Gleysols, Phaeozems