
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЙОДА В ПОЧВАХ И ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИ КОНТРАСТНЫХ ЛАНДШАФТОВ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ЙОДНОГО СТАТУСА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Геохимический институт (ГЕОХИ РАН)
ул. Косыгина, 19, Москва, Россия, 119991

Исследовано распределение стабильного йода в системе «почва—растение» луговых фитоценозов геохимически контрастных ландшафтов, используемых в качестве местных пастбищ в Брянской области, пострадавшей при аварии на ЧАЭС. Установлена зависимость содержания йода в почвах и растениях от типа почвообразующей породы и почвы и характера увлажнения. Выявленные различия свидетельствуют о пространственном различии в обеспеченности йодом почв и растений Брянской области, что может отражаться на заболеваемости населения, обусловленной йододефицитом, а также повлиять на поступление и усвоение радиоизотопов йода в период аварийного воздействия.

Ключевые слова: йододифицит, геохимические ландшафты, ЧАЭС, заболевание щитовидной железы, йодный статус, полесье, ополье.

Низкое содержание йода в окружающей среде (почвах, водах, растительности и пищевых продуктах) приводит к распространению заболеваний, прежде всего эндемического зоба у животных и человека. В результате аварии на ЧАЭС в некоторых районах с низким содержанием стабильного йода возникла уникальная ситуация поступления в организм радиоактивного изотопа йода в условиях его дефицита. Наиболее тревожная ситуация сложилась в Брянской области, поскольку ее западные районы подверглись значительному радиоактивному загрязнению [1], а население страдает от йододефицита [8; 10].

Разнообразный почвенный покров Брянской области (подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, дерново-глеевые, болотные, серые лесные, черноземы) [3] позволил предположить наличие контрастных районов по содержанию йода в почвах и в соответствующих им продуктах питания.

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 [9].

Натурные исследования, проведенные по инициативе и при участии авторов в Брянской области с 2007 по 2012 гг. (экспедиции лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН и Брянского клинико-диагностического центра по грантам РФФИ 07-05-912 и 10-05-01148) выявили значительное варьирование йода в почвах области. Подобная неоднородность была обусловлена сочетанием

литологических, геохимических и климатических факторов, отражающихся в ландшафтно-геохимической структуре территории [8].

На новом этапе исследований 2012—2013 гг. была сделана попытка выявить различие в распространении и миграции йода в системе «почва—растение» в автономных и подчиненных элементарных ландшафтах, сформировавшихся на геохимически контрастных породах и почвах, используемых под пастбища. Предполагалось, что таким образом можно оценить пространственное варьирование обеспеченности йодом местных пищевых цепей (йодный статус), поскольку поступление йода и его радиоактивного изотопа в рацион происходит в первую очередь с молоком.

Исследования йода в почвах и растениях проводились наиболее активно на территории бывшего СССР в 1960—1970-е гг., когда была организована массовая профилактика микроэлементозов [4; 6].

Ранее на примере ряда центрально-нечерноземных областей было показано, что йод закономерно распределяется в геохимически сопряженных ландшафтах, причем уровень его содержания контролируется как литогеохимическим типом пород, так и условиями увлажнения, т.е. положением в рельефе [5]. Аналогичную закономерность ожидалось выявить и для пастбищ Брянской области. Предполагалось, что известное высокое сродство йода к органическому веществу и гранулометрическому составу отложений найдет свое отражение в соответствующем ряду геохимических ландшафтов и почв, особенно в подчиненных элементарных ландшафтах.

Методы исследования. Для выполнения поставленной задачи полевой отбор проводился на пастбищных участках вблизи населенных пунктов (НП), по которым имелись сведения о заболеваемости щитовидной железы среди местного населения [2]. На каждом пастбище выбирались тестовые площадки, характеризующие элементарные ландшафты: автономные (суходолы, атмосферное питание) и сопряженные с ними подчиненные (мезогидрофитные и гидрофитные луга пониженных элементов рельефа с повышенной увлажненностью за счет дополнительного стока и/или грунтовых вод).

Отбор образцов почв проводился ручным буром из верхнего слоя мощностью 20 см послойно в следующем интервале глубин: 0—5 см, 5—10 см и 10—20 см. В случае выявленной при бурении резкой смены генетических горизонтов (явно отличающихся набором морфологических свойств) образцы отбирались и глубже 20 см.

Отбору почвы предшествовал отбор средней пробы луговых трав с площадки 20×20 см или 40×40 см в зависимости от однородности и плотности фитомассы. Для характеристики естественных кормов молочного скота растительные пробы состригались секатором на высоте 2 см от поверхности почвы. Таким образом, исследованию подвергались нижние звенья пищевой цепочки «почва—растительность—корова—молоко—человек». Кроме того, при наличии отбирались два наиболее распространенных вида луговых растений с разным гидрофильностью (клевер средний (*Trifolium medium*) и щучка дернистая (*Deschampsia casepitosa*)).

Содержание йода в почвах и растениях определялось кинетическим роданид-но-нитритным методом [7]. Обработка первичных данных проводилась в программе MS Excel. Помимо результатов исследования почвенных и растительных проб, отобранных в полевой сезон 2012 г., в работе использовались и данные предыдущих лет исследования.

В результате обработки данных получены статистические характеристики по четырем сформированным массивам данных (содержание йода в почвах и растительности низинных лугов и суходолов геохимически контрастных групп полесских и моренных ландшафтов и опольных ландшафтов).

Результаты исследований. Содержание йода в почвах пастбищ варьировало от 0,02 мг/кг до 20,3 мг/кг (табл. 1—4). Большой разброс значений содержания йода наблюдался и в серых лесных почвах ополья (от 0,29 до 20 мг/кг), и в дерново-подзолистых почвах полесских и моренных ландшафтов (от 0,02 до 18,7 мг/кг), что может быть объяснено влиянием не учтенных в данной группировке факторов, например, вариабельностью гранулометрического состава, а также специфики использования угодий: предшествующей хозяйственной деятельностью и т.п.

Таблица 1

Основные статистические показатели содержания йода в почвах и растениях, низинных лугов опольных ландшафтов Брянской области (мг/кг)

| Показатель | Почва глуб. 0—5 см | Почва глуб. 5—10 см | Почва глуб. 10—20 см | Укосы | Клевер | Щучка дернистая |
|--------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------|--------|-----------------|
| Кол-во проб | 22 | 15 | 14 | 20 | 3 | 2 |
| Минимум | 0,408 | 0,24 | 0,42 | 0,123 | 0,113 | 0,379 |
| Максимум | 20,34 | 3,887 | 2,296 | 0,506 | 0,614 | 0,397 |
| Среднее | 2,95 | 1,33 | 1,12 | 0,287 | 0,312 | 0,388 |
| Станд. откл. | 4,23 | 0,91 | 0,54 | 0,11 | 0,28 | 0,01 |
| Медиана | 1,63 | 1,247 | 1,039 | 0,309 | 0,57 | 0,388 |

Таблица 2

Основные статистические показатели содержания йода в почвах и растениях, низинных лугов полесских и моренных ландшафтов Брянской области (мг/кг)

| Показатель | Почва глуб. 0—5 см | Почва глуб. 5—10 см | Почва глуб. 10—20 см | Укосы | Клевер | Щучка дернистая |
|--------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------|--------|-----------------|
| Кол-во проб | 46 | 38 | 39 | 43 | 5 | 11 |
| Минимум | 0,07 | 0,15 | 0,16 | 0,028 | 0,098 | 0,084 |
| Максимум | 15,84 | 5,63 | 6,96 | 0,694 | 0,208 | 0,397 |
| Среднее | 1,348 | 0,975 | 0,933 | 0,212 | 0,141 | 0,207 |
| Станд. откл. | 2,34 | 0,93 | 1,08 | 0,16 | 0,05 | 0,11 |
| Медиана | 0,806 | 0,78 | 0,75 | 0,171 | 0,112 | 0,235 |

Таблица 3

Основные статистические показатели содержания йода в почвах и растениях, суходолов опольных ландшафтов Брянской области (мг/кг)

| Показатель | Почва глуб. 0—5 см | Почва глуб. 5—10 см | Почва глуб. 10—20 см | Укосы | Клевер | Щучка дернистая |
|--------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------|--------|-----------------|
| Кол-во проб | 28 | 24 | 23 | 26 | 10 | 6 |
| Минимум | 0,29 | 0,28 | 0,57 | 0,030 | 0,062 | 0,088 |
| Максимум | 15,47 | 11,33 | 10,18 | 0,863 | 0,308 | 0,625 |
| Среднее | 1,812 | 1,611 | 1,632 | 0,266 | 0,163 | 0,286 |
| Станд. откл. | 2,78 | 2,21 | 2,02 | 0,2 | 0,09 | 0,19 |
| Медиана | 1,107 | 0,989 | 1,153 | 0,218 | 0,136 | 0,253 |

Таблица 4

Основные статистические показатели содержания йода в почвах и растениях, суходолов полесских и моренных ландшафтов Брянской области (мг/кг)

| Показатель | Почва глуб. 0—5 см | Почва глуб. 5—10 см | Почва глуб. 10—20 см | Укосы | Клевер | Щучка дернистая |
|--------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------|--------|-----------------|
| Кол-во проб | 59 | 45 | 49 | 57 | 12 | 10 |
| Минимум | 0,020 | 0,146 | 0,160 | 0,023 | 0,047 | 0,109 |
| Максимум | 13,100 | 2,968 | 3,633 | 0,892 | 0,512 | 0,701 |
| Среднее | 1,241 | 0,815 | 0,919 | 0,216 | 0,188 | 0,259 |
| Станд. откл. | 1,94 | 0,51 | 0,65 | 0,17 | 0,15 | 0,17 |
| Медиана | 0,820 | 0,670 | 0,800 | 0,147 | 0,119 | 0,219 |

Наиболее высокие средние значения, как и ожидалось, обнаружены в серых лесных почвах опольных ландшафтов, характеризующихся более высоким содержанием органики и более высокой сорбционной способностью, чем дерново-подзолистые и дерново-подзолисто-глебовые почвы полесских и моренных ландшафтов (в среднем 2,3 мг/кг и 1,47 мг/кг соответственно). Почвы опольных ландшафтов характеризуются более высоким содержанием йода по всем статистическим параметрам (максимум, средние и медианные значения и др.). Медианные и средние значения содержания йода в почвах суходолов ополья превышают таковые в почвах лугов полесья, как в автономных, так и в подчиненных ландшафтах (табл. 1—4).

Это свидетельствует о том, что в пределах одной климатической зоны исходная литогеохимическая структура территории, определяющая состав почвообразующих пород и почв, имеет большее значение в дифференцированной аккумуляции йода, чем его локальное перераспределение за счет водной миграции в пределах ландшафтно-геохимической катены. С другой стороны, в пределах одного геохимического типа ландшафта контрастность содержания йода в почвах автономных и подчиненных элементарных звеньев в полесских и моренных ландшафтах выше, чем в опольных, очевидно, за счет большего различия в режиме их увлажнения.

В вертикальном 20-сантиметровом профиле максимальное содержание йода наблюдалось в верхнем 5-сантиметровом слое почвы, вне зависимости от ее типа, природного ландшафта и положения в рельефе, что отражает преимущественно

атмосферное поступление йода в почвы и подтверждает высокое средство этого элемента к органическому веществу, приводящее к концентрации йода на биогеохимическом барьере (рис. 1, 2).

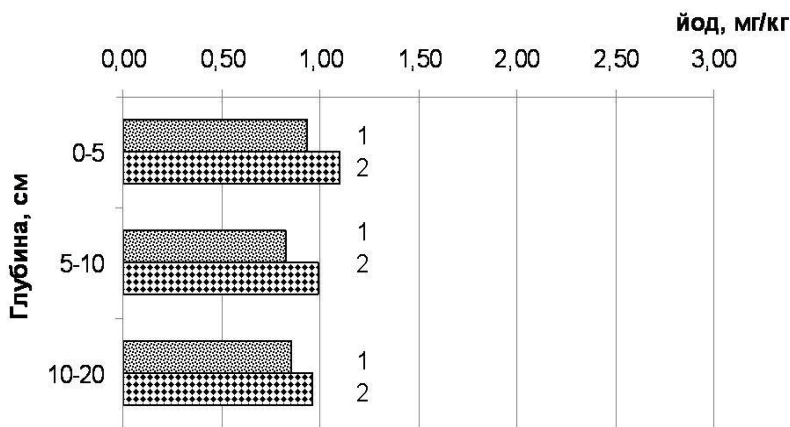


Рис. 1. Содержание йода в почвах суходолов (1) и низинных лугов (2) полесских и моренных ландшафтов Брянской области

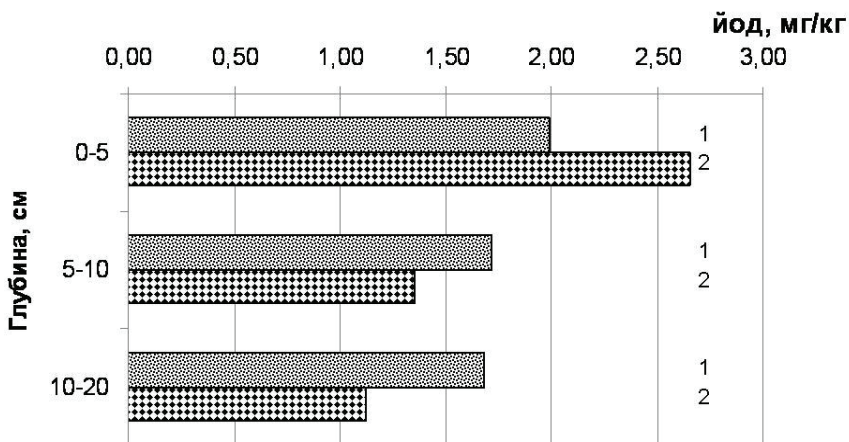


Рис. 2. Содержание йода в почвах суходолов (1) и низинных лугов (2) опольных ландшафтов Брянской области

Отметим, что для йода характерно относительное накопление и на других барьерах: карбонатном (щелочном) и сорбционном, однако собственно выявление барьеров не входило в задачи данного исследования. В целом, в почвах подчиненных ландшафтов с глубиной наблюдается более резкое снижение содержания йода по сравнению с автономными.

Очевидно, это связано с дополнительным поступлением элемента с поверхностным стоком и прочным закреплением в верхнем слое почвы, относительно обогащенной органикой, которая служит мощным барьером на пути миграции йода.

Выявленный ранее разброс значений содержания йода в почвах суходолов и низинных лугов [2] не может быть объяснен только сменой ландшафтов полес-

ского и опольного типа (табл. 3, 4). Однако, как видно из табл. 1, наибольшие значения статистических параметров от максимума до медианы характерны только для низинных лугов опольных ландшафтов.

Содержание йода в пастбищных растениях варьировало от 0,03 до 0,892 мг/кг. Распределение йода в луговых фитоценозах по средним показателям отвечало той же закономерности, что в почвах: его содержание уменьшалось в ряду: подчиненные опольные ландшафты (среднее 0,287, медиана 0,309), автономные опольные ландшафты (среднее 0,266, медиана 0,218), суходолы полесья (среднее 0,216, медиана 0,147) и низинные луга полесья (среднее 0,212, медиана 0,171).

Для пастбищной растительности опольных низинных лугов (см. табл. 1). Наблюдается не только наибольшее среднее содержание йода, но и минимальный разброс значений его содержания (от 0,123 до 0,506 мг/кг).

Как наибольшие (0,892), так и наименьшие (0,023) содержания йода в растениях наблюдаются в суходолах полесских ландшафтов. В целом же содержание йода в укосах трав, а также в клевере и щучке суходолов ниже, чем в таких же пробах лугов низинных, а в полесских ландшафтах ниже, чем в опольных (см. табл. 1—4).

Меньшая контрастность содержания йода в укосах трав суходолов и низинных лугов (см. табл. 1—4) может быть связана с компенсаторной повышенной аккумуляцией элемента в условиях его дефицита. Тем не менее, на примере клевера (среднее от 0,141 до 0,312 мг/кг) и щучки дернистой (среднее от 0,207 до 0,388 мг/кг) подтверждено, что более влаголюбивые растения отличаются более высоким содержанием йода (см. табл. 1—4).

Исследования, проведенные в Брянской области, выявили зависимость содержания йода в почвах и растениях пастбищных угодий от типа почвообразующей породы и почвы, а также характера ее увлажнения. Закономерное убывание содержания йода в почвах и растениях наблюдалось в ряду «опольные подчиненные — опольные автономные — полесские подчиненные — полесские автономные ландшафты». Предполагаем, что пространственное различие в обеспеченности йодом почв и растений геохимически контрастных районов Брянской области может отражаться как на уровне заболеваемости населения, обусловленной йододефицитом, так и на поступлении и усвоении радиоактивных изотопов йода в период аварийного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России Белоруссии и Украины, ФСГиК России. — М., 1998.
- [2] Берёзкин В.Ю. и др. Анализ содержания йода в почвах пастбищ и пастбищной растительности Брянской области // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Вып. 14: Сб. научн. трудов. — М.: Изд-во РУДН, 2013. — С. 150—154.
- [3] Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области: (Генезис, свойства, распространение) / Брянский проект. — изыскат. Центр химизации и радиологии с/х «Агрохимрадиология». — Брянск, 1993.

- [4] *Зборицук Ю.И., Зырин Н.Г.* Среднее содержание В, Mn, Co, Cu, Zn, Mo и J в почвах европейской части СССР // *Агрохимия*. — 1974. — № 3. — С. 88—94.
- [5] *Коробова Е.М.* Медь, кобальт и йод в природных ландшафтах Нечерноземной зоны Русской равнины: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. — М.: Изд-во МГУ, 1992.
- [6] *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 // *Материалы V биогеохимических чтений «Биогеохимическая индикация аномалий»*. — М.: Наука, 2004 — С. 156—167.
- [7] *Проскуракова Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // *Агрохимия*. — 1976. — № 7. — С. 140—143.
- [8] *Прошин А.Д., Дорощенко В.Н.* Дефицит йода среди населения Брянской области. — Брянск: Ладомир, 2005.
- [9] *Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V.* et al. Risk of thyroid cancer after exposure to ^{131}I in childhood // *J. of the National Cancer Institute*. — 2005. — P. 724—732.
- [10] *Shakhtarin 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 // *Inter. J. of Epidemiology*. — 2003. — V. 32. — P. 584—591.

LITERATURA

- [1] Atlas radioaktivnogo zagryazneniya Evropejskoj chasti Rossii Belorussii i Ukrainy, FSGiK Rossii. — М., 1998.
- [2] *Beryozkin V.Yu. i dr.* Analiz sodержaniya joda v pochvax pastbishh i pastbishhnoj rastitel'nosti Bryanskoj oblasti // *Aktual'nye problemy e'kologii i prirodopol'zovaniya*. Vyp. 14: Sbornik nauchnyx trudov. — RUDN, 2013. — S. 150—154.
- [3] *Vorob'ev G.T.* Pochvy Bryanskoj oblasti: (Genezis, svojstva, rasprostranenie) / Bryanskij proekt. — izyskat. Centr ximizacii i radiologii s/x «Agroximradiologiya». — Bryansk, 1993.
- [4] *Zborshhuk Yu.I., Zyrin N.G.* Srednee sodержanie B, Mn, Co, Cu, Zn, Mo i J v pochvax evropejskoj chasti SSSR // *Agroximiya*. — 1974. — № 3. — S. 88—94.
- [5] *Korobova E.M.* Med', kobal't i jod v prirodnyx landshaftax Nechernozemnoj zony Russkoj ravniny: Avtoref. diss. ... kand. geograficheskix nauk. — М.: МГУ, 1992.
- [6] *Korobova E.M., Kuvylin A.I.* Prirodnye biogeoximicheskie provincii s nizkim sodержaniem joda kak rajony dopolnitel'nogo e'kologicheskogo riska v zonax vozdejstviya avarii na Chernobyl'skoj AE'S. Materialy V biogeoximicheskix chtenij «Biogeoximicheskaya indikaciya anomalij». — М.: Nauka, 2004. — S. 156—167.
- [7] *Proskuryakova G.F., Nikitina O.N.* Uskorennyj variant kineticheskogo rodanidno-nitritnogo metoda opredeleniya mikrokolichestv ioda v biologicheskix ob'ektax // *Agroximiya*. — 1976. — № 7. — S. 140—143.
- [8] *Proshin A.D., Doroshhenko V.N.* Deficit joda sredi naseleniya Bryanskoj oblasti. — Bryansk: Ladomir, 2005.
- [9] *Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V.* et al. Risk of thyroid cancer after exposure to ^{131}I in childhood // *J. of the National Cancer Institute*. — 2005. — P. 724—732.
- [10] *Shakhtarin 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 // *Inter. J. of Epidemiology*. — 2003. — V. 32. — P. 584—591.

**STUDY OF IODINE DISTRIBUTION IN MEADOW SOIL
AND PLANTS FORMED IN DIFFERENT GEOCHEMICAL
LANDSCAPES RELATED TO EVALUATION OF IODINE STATUS
OF THE BRYANSK OBLAST'**

**E.M. Korobova, V.U. Berezkin, L.I. Kolmykova,
N.V. Korsakova**

Geochemical Institute (GEOKHI RAS)
Kosygina str., 19, Moscow, Russia, 119991

Iodine deficiency is one of important factors contributing to the risk of thyroid cancer in areas subjected to radioiodine contamination. The aim of the study was to reveal spatial patterns in iodine distribution in soils and vegetation of the grazing lands of the Bryansk oblast affected by the Chernobyl accident. Iodine distribution was proved to be dependent upon the landscape geochemical type related to the type of soil and soil-forming rock and geomorphological position defining water regime. Its mean concentration in topsoils and vegetation has correspondingly decreased in a row: subordinated opolje landscapes — autonomous opolje landscapes — subordinated polesje and moraine landscapes — autonomous polesje and moraine landscapes. The spatial difference revealed in iodine accumulation was suggested to cause difference in iodine transfer to the local food chain and human organism and therefore to contribute to spatial variation in manifestation of thyroid diseases related to iodine deficiency and radioiodine contamination within the studied area.

Key words: iodine deficiency, the Chernobyl accident, iodine distribution, geochemical landscapes, thyroid cancer, opolje landscapes, polesje landscapes.