

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Людмила Игоревна КОЛМЫКОВА¹
Елена Михайловна КОРОБОВА²
Борис Николаевич РЫЖЕНКО³

УДК 550.4.682; 550.47

СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЙОДА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ¹

¹ аспирант, младший научный сотрудник,
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)
kmila9999@gmail.com

² кандидат географических наук, доцент,
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)
korobova@geokhi.ru

³ доктор химических наук, кандидат геолого-минералогических наук, профессор,
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)
ryzhenko@geokhi.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования геохимических особенностей распределения йода в природных водах Брянской области, значительная часть которой

¹ Финансирование исследований осуществлялось при поддержке РФФИ
(грант 13-05-00823)

Цитирование: Колмыкова Л. И. Содержание и особенности распределения йода в природных водах Брянской области / Л. И. Колмыкова, Е. М. Коробова, Б. Н. Рыженко // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Том 2. № 1. С. 8-19. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-1-8-19

подверглась загрязнению радиоактивными изотопами этого элемента при аварии на ЧАЭС. Авторами показано, что питьевые воды в целом отличаются низким содержанием йода (меньше гигиенического норматива, равного 10 мкг/л). Наиболее обогащенными оказались глубокие артезианские воды, приуроченные к верхнедевонскому комплексу ($M_e=8,15$ мкг/л). Методом термодинамического моделирования установлена преобладающая форма миграции йода (йодид-ион 97,2%), подтверждено образование его минеральных (CaI^+ , CaI_2 и т.д.) и органоинеральных комплексов, способствующих выведению микроэлемента из водных растворов. Таким образом, поступление йода и его радиоактивных аналогов в организм человека с питьевыми водами местного происхождения во многом определяется геохимическими условиями системы «вода-порода».

Ключевые слова

Йод, питьевые воды, Брянская область, термодинамическое моделирование.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-1-8-19

Введение

Благодаря строению и химическим свойствам атома, йод обладает высокой подвижностью в биосфере и относится к биофильным элементам, играющим важную роль в физиологии человека и животных. Он входит в состав молекул гормонов щитовидной железы (тироксина и трийодтиронина), которые принимают активное участие в регуляции процессов обмена веществ в организме. Следствием недостаточного содержания элемента в окружающей среде может стать дисфункция щитовидной железы и распространенность ее характерных заболеваний [16].

Основным источником йода в рационе являются продукты растительного, в меньшей степени животного происхождения, при этом характер перехода элемента между звеньями биогеохимической цепи и доступность для живых организмов зависят от ряда факторов, в том числе от природы его водной миграции. Ряд исследователей указывают на существование теснейшей связи между степенью распространенности зобной эндемии и недостаточностью йода в питьевых водах [2; 9]. Способность микроэлемента к миграции или концентрированию на геохимических барьерах обусловлена формами его существования и геохимическими характеристиками среды. Превалирующими формами нахождения йода в природных водах являются йодид- и йодат-ионы, при определенных условиях возможно наличие молекулярной формы [3; 4]. Некоторые исследователи указывают на преобладание йод-органических комплексов при условии обогащенности вод растворенным органическим веществом [18]. Вероятность поступления стабильных или радиоактивных изотопов йода в местные пищевые цепи с водой обуславливается присутствием в ней его водорастворимых ионных форм или комплексов с органическим веществом.

Целью исследований было рассмотрение особенностей водной миграции йода в природных, в том числе, питьевых водах Брянской области, для объяснения их подвижности и фиксации в различных геохимических условиях на территориях с загрязнением радиоизотопами йода, возникшими при аварии на Чернобыльской АЭС.

Район исследований

Брянская область относится к регионам с низким содержанием йода в объектах среды [7; 13]. В первую очередь это связано со значительной удаленностью территории от морских акваторий и, как следствие, невысоким содержанием элемента в атмосферном воздухе и почвенном покрове. Разнообразие геологического строения, состава четвертичных отложений и почв [12] определяют значительную геохимическую контрастность ландшафтов и классов водной миграции химических элементов [8]. Согласно Перельману [10], наибольшим уровнем геохимической контрастности водной миграции характеризуются ландшафты полесского типа, формирование которых происходило на флювиогляциальных отложениях с преимущественно кислым (Н) и кислым-глеевым (Н-Fe) классом вод, и опольного, сформированные на лессовидных и покровных суглинках и характеризующиеся водами переходного (Н-Са), кальциевого (Са) и кальций-глеевого (Са-Fe) класса.

В гидрогеологическом отношении территория области входит в состав двух артезианских бассейнов (Московского и Днепровского). Районы, наиболее пострадавшие от радионуклидного загрязнения, расположены в юго-западной части области и относятся к Днепровскому бассейну [1]. В разрезе бассейна выделяют два изолированных этажа, при этом верхний этаж (четвертичные, неогеновые, палеогеновые и меловые водоносные горизонты) характеризуется отсутствием водоупора, активным водообменом и гидравлической взаимосвязью водоносных горизонтов и комплексов. Для децентрализованного водоснабжения этой местности широко используются подземные воды четвертичных аллювиальных и флювиогляциальных отложений, а централизованное обеспечивается водами верхнемелового водоносного комплекса, отвечающими гидрокарбонатному кальциевому и сульфатно-гидрокарбонатному магниевому-кальциевому составу с минерализацией, варьирующей в пределах 190-750 мг/л. Глубина залегания водоносных горизонтов от 30-150 м (турон — маастрихтская толща) до 200 м (альб-сеноманская толща верхнего мела) [1].

Питьевое централизованное водоснабжение северо-восточной части области обеспечивается, главным образом, за счет палеозойских (верхнедевонских) водоносных горизонтов, перекрытых верхнеюрским региональным водоупором. Состав вод преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый, кальциево-магниевый и натриево-кальциевый, по мере погружения горизонта воды переходят в зону затрудненного водообмена с постепенным повышением минерализации от 200 до 800 мг/л. Глубина залегания горизонтов этого комплекса — от 100 до 250 м.

Методы отбора и анализа природных вод

В период полевых работ (2013-2014 гг.) был осуществлен отбор образцов природных вод, в том числе питьевых, из разных типов источников. Основанием для выбора пунктов отбора были медицинские данные по заболеваемости раком щитовидной железы (Брянский медицинский центр) и результаты ранее проведенных исследований содержания йода в объектах среды (грант РФФИ №10-05-01148).

Опробование производилось по стандартным методикам в полиэтиленовые емкости объемом 400 мл «под крышку» для предотвращения окисления [5]. Часть водных проб консервировалась 4% азотной кислотой для последующего определения катионного состава. До проведения химического анализа образцы хранились в темноте в холодильнике.

В ходе экспедиционных работ было обследовано 32 сельских населенных пункта, в которых отобран 131 образец, из них 90 — питьевых (15 — из систем централизованного водоснабжения, 32 — из локальных скважин, 43 — из колодцев) и 41 проба из открытых водоемов и водотоков. Для большей части отобранных образцов определен общий химический состав, на содержание йода проанализировано 123 образца.

Йод во всех образцах определялся кинетическим роданидно-нитритным методом [11]. Важным достоинством наряду с высокой чувствительностью (1 мкг/л) и точностью определения (2-4%), является высокая селективность метода по отношению к йодид-иону и слабое влияние содержащихся в образцах макрокомпонентов, что позволяет проводить измерения без предварительной обработки.

Кроме измерения микроколичеств йода выполнен общий химический анализ водных проб. Определение катионов осуществлялось методом АЭС-ИСП на модернизированном полихроматоре ICAP и атомно-эмиссионным методом на приборе Перкин-Элмер, модель 603. Определение анионов производилось потенциометрическим методом с использованием ионоселективных электродов посредством Precision Digital pH meter OP-208/1 и спектрофотометрическим методом на КФК-3. Аналитики — И. М. Седых, Н. В. Корсакова и И. Н. Громяко.

Общее содержание органического вещества оценивалось с использованием окситермографии [15]. Аналитик — А. Сараева.

Для выявления возможных форм существования йода в природных водах был применен метод термодинамического моделирования. В качестве входной информации использовались результаты химического анализа образцов и величины термодинамических констант растворенных форм и образующихся минеральных комплексов элементов (Unitherm, кафедра геохимии МГУ им. М. В. Ломоносова).

Результаты и их обсуждение

Минерализация и ионный состав вод. Минерализация вод варьировала от 0,04 до 2,03 г/л, при $Me=0,43$ г/л. По составу основных ионов воды принадлежат

к гидрокарбонатно-кальциевому классу, а по данным Eh-pH измерений определяются как восстановительные и нейтральные-слабощелочные. Содержание органического вещества (данные окситермографии в пересчете на Сорг) в исследованных образцах изменялось в диапазоне от 0,01 мг/л до 64,50 мг/л, наиболее обогащенными оказались воды открытых источников ($Me=9,52$ мг/л).

Содержание йодид-иона изменялось в пределах двух порядков (от 0,74 мкг/л до 41,19 мкг/л), при этом значение медианы для питьевых вод составило 6,85 мкг/л, для поверхностных — 6,26 мкг/л. Полученные данные отвечают литературным, согласно которым, концентрация йода в речных и озерных водах гумидных областей может флуктуировать в диапазоне 0,94-8,03 мкг/л [16], а для питьевых вод характерен больший разброс значений — от 0,1 до 50 мкг/л [17].

Анализ общей совокупности данных выявил определенные тенденции связи между рассматриваемыми химическими параметрами и концентрацией йодид-иона. Так, прослеживалась некоторая зависимость содержания йода от величины минерализации в водах открытых водоемов и водотоков, а также в глубоких скважинных и водопродных водах ($r_{0,05}=0,48$, $n=27$ и $r_{0,1}=0,42$, $n=19$ соответственно). Согласно [6], наличие в воде повышенного содержания катионов K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} способствует удержанию йода и его накоплению в растворе; такая зависимость наилучшим образом проявляется в сильно минерализованных водах. В исследованных образцах отмечена статистически значимая корреляция йода с преобладающими катионами, характерными для данного типа вод ($r_{0,05} \geq 0,5$).

Не обнаружено существенного влияния на содержание йода со стороны присутствующего в воде органического вещества. Для всех типов вод корреляционная связь выражена слабо (r менее 0,3).

В соответствии с существующими нормами [14], содержание йода в водах, используемых для частного и централизованного водоснабжения области, не достигает нижнего предела физиологически оптимального интервала (10-125 мкг/л), что может создавать дополнительный риск возникновения йоддефицитных заболеваний среди местных жителей.

Оценка теоретически возможных форм нахождения йода в равновесной системе «вода-твердая фаза» (минеральная фаза почвы, порода). Термодинамическое моделирование форм нахождения йода, выполненное по данным химического анализа 130 образцов, подтвердило, что преобладающей формой миграции микроэлемента является йодид-ион (97,2% от всех теоретически возможных форм), что согласуется с результатами наших предыдущих исследований [8]. Определенная часть представлена водорастворимыми комплексами йода с кальцием (1,7%), магнием (0,93%) и натрием (0,10%), на остальные формы приходится менее 0,07 %.

Для системы «вода-твердая фаза» моделирование показало, что большинство вод равновесны с карбонатными минералами, кварцем, апатитом и не-

которыми другими, что соответствует минеральному составу вмещающих пород.

Оценка сорбции йода минеральными сорбентами. В 2014 г. в систему моделирования были дополнительно включены потенциальные сорбенты йода с целью оценки роли сорбции йода на твердой фазе, представленной в естественных условиях гетитом и пиролюзитом. Расчет показал, что гидроокись железа играет большую роль в удалении ионов йода из раствора, чем двуокись марганца. Необходимо отметить, что по сравнению с сорбцией на органических сорбентах (гумусовые кислоты), где преобладающей формой являются йодаты [18], в изученной обстановке больший процент сорбированного йода представлен йодид-ионами. Было показано, что содержание гидроокиси железа в разных типах вод различно, что обусловлено разнообразным составом вмещающих пород. Количество природного сорбента уменьшается в следующем порядке: водопроводные воды > колонки и скважины > колодцы. Дальнейший анализ результатов исследований показал, что меньшие концентрации йода в подчиненных гидроморфных ландшафтах могут объясняться, ко всему прочему, значительным содержанием природного сорбента, выполняющего роль естественного сорбционного барьера.

Распределение йода в питьевых водах в зависимости от типа вмещающих пород. Сравнение медиан содержания йода в водах из разных типов питьевых источников показало, что наиболее обогащенными этим элементом оказались колодезные воды, приуроченные к области распространения лессовидных суглинков (опольные ландшафты, $M_e=11,4$ мкг/л), по сравнению с аналогичным типом вод территорий в пределах распространения флювиогляциальных отложений (полесские ландшафты, $M_e=6,46$ мкг/л; табл. 1). Такое распределение соответствует большей обеспеченности йодом почв ополей, что в свою очередь, связано с их относительной обогащенностью органическим веществом и каль-

Таблица 1

**Содержание йода в природных водах Брянской области
в зависимости от типа ландшафтов (мкг/л)**

Тип источника	Тип ландшафта	Число проб	макс	мин	сред	медиана
Реки и озера	Ополье	14	24,73	3,32	14,28	12,82
	Полесье	14	10,43	0,74	5,51	5,50
Колодцы	Ополье	5	41,19	9,41	16,86	11,41
	Полесье	38	29,77	2,54	9,43	6,46
Скважины	Ополье	4	8,66	1,99	5,87	6,42
	Полесье	20	14,56	1,54	6,53	5,26

цием. Это подтверждается ранее полученной корреляцией содержания йода в почвах с содержанием в них органического вещества [8]. Другой причиной повышенного содержания йода в колодезных водах опольных ландшафтов может быть его мобилизация в виде комплексов с кальцием: отмечена высокая корреляционная связь между общей концентрацией йодида и иона CaI^+ (колодезные воды опольных и полесских ландшафтов, $r_{0,1} = 0,81$, $n = 5$ и $r_{0,01} = 0,89$, $n = 38$). Учитывая неглубокое залегание грунтовых вод, питающих колодцы, можно предположить, что почвенные горизонты, относительно обогащенные йодом и кальцием, могут служить дополнительным источником его поступления в воды данного типа.

Воды верхнемелового комплекса, локально выходящего на поверхность, отличаются невысокими значениями водорастворимого йода ($\text{Me} = 5,34$ мкг/л), в то время как воды верхнего девона содержат его несколько больше ($\text{Me} = 8,15$ мкг/л; табл. 2). Для централизованного питьевого водоснабжения северо-востока области в равной степени используются задонский (известняки) и франско-фаменский (известняки, мергели, песчано-глинистые отложения) ярусы верхнедевонского комплекса, содержание йода в водах которых составило 7,83 и 11,99 мкг/л, соответственно. Значительная часть верхнедевонских отложений морского происхождения, что дает основание предположить их заведомую обогащенность йодом. Поступление этого микроэлемента может обеспечиваться и за счет инфильтрации с водами фундамента по трещинным и поровым пространствам в осадочный чехол.

Таблица 2

**Содержание йода в подземных водах Брянской области
в зависимости от типа вмещающих пород (мкг/л)**

Водоносный горизонт	Состав вмещающих пород	Число проб	макс	мин	сред	медиана
Верхнемеловой	Карбонатные отложения с прослойками известковых глин	34	14,56	1,54	6,17	5,34
Верхнедевонский	Морские и прибрежно-морские карбонатные и лагунные терригенные отложения	11	28,67	5,62	12,38	8,15

Заключение

1. Исследования, проведенные в Брянской области, показали значительное варьирование содержания йода и селена в природных водах и общую обедненность питьевых вод этими микроэлементами. Уровень содержания йода в водах открытых водоемов и грунтовых водах инфильтрационного генезиса лимитируется его концентрациями в подстилающих породах, почвах и воздухе, что, в свою очередь, обусловлено удаленностью от моря и типом почв, а также контролируется гидрогеохимическими характеристиками водоисточника.

2. Результаты моделирования подтвердили преобладание йодид-ионов в восстановительных условиях, характерных для изучаемых вод и образование минеральных водорастворимых комплексов с Са и Mg, что, в свою очередь, может повышать растворимость элемента в питьевых водах, с высоким содержанием этих элементов.

3. Водная миграция йода осуществляется главным образом за счет подвижных йодид-ионов, минеральных водорастворимых комплексов и комплексов с низкомолекулярным органическим веществом. По нашему мнению, поступление радиоактивных изотопов йода с питьевой водой могло осуществляться именно в вышеупомянутых формах.

4. Вопрос вклада питьевых вод в обеспечение йодом населения йод-дефицитных районов, а также в поступление нестабильных ядер в условиях радионуклидных выбросов, требует дальнейшего более детального изучения. Важным аспектом остается изучение условий образования и миграции органических комплексов с йодом, которые могут выступать для микроэлемента, как в роли депо, так и своего рода переносчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов М. А. Окончательный отчет по проекту РУС/95/004 / М. А. Антипов, Е. А. Батова, А. Е. Бахур и др. М., 2001. С. 47-75.
2. Бумбу Я. В. Йод и кобальт в водоисточниках Северной и Центральной зон Молдавии и распространение эндемического зоба / Я. В. Бумбу // Доклады VI научной конференции молодых ученых Молдавии. Кишинев, 1969.
3. Вернадский В. И. Геохимия йода и брома / В. И. Вернадский. М.: Наука, 1967. 240 с.
4. Виноградов А. П. Йод в природе / А. П. Виноградов // Природа. 1927. № 9. С. 670-678.
5. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 2000.
6. Кашин В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода / В. К. Кашин. Л.: Наука, 1987. 261 с.
7. Ковальский В. В. Геохимическая экология эндемического зоба / В. В. Ковальский, Р. И. Блохина // Проблемы геохимической экологии организмов. 1974. Т.13. С. 191-216.

8. Коробова Е. М. К вопросу о формах нахождения йода и селена в природных водах и их концентрирование на ландшафтно-геохимических барьерах / Е. М. Коробова, Б. Н. Рыженко, Е. В. Черкасова и др. // *Геохимия*. 2014. № 6. С. 554-568.
9. Олюнина З. В. Проблема эндокринологии и гормонотерапии / З. В. Олюнина, Т. А. Бананьян. 1938. № 2. С. 24-35.
10. Перельман А. И. Геохимия ландшафтов / А. И. Перельман. М.: «Высшая школа», 1975. 342 с.
11. Проскуракова Г. Ф. Способ определения йода в почве, воде, растениях, молоке и крови / Г. Ф. Проскуракова, Р. В. Швейкина, О. В. Никитина // Тезисы докладов 2-го Всесоюзного Симпозиума по методам определения микроэлементов в природных объектах. Самарканд, 1973. С. 43-44.
12. Просяников Е. В. Закономерности развития природных и антропогенно трансформированных экосистем Брянской области, пострадавших от глобальной аварии на Чернобыльской АЭС. Научно-учебное издание / Е. В. Просяников. Брянск, 2002.
13. Прошин А. Д. Дефицит йода среди населения Брянской области / А. Д. Прошин, В. Н. Дорощенко. Брянск: ООО «Ладомир», 2005. 164 с.
14. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
15. Филоненко В. Г. Экспресс-метод мониторинга суммарного содержания органических веществ в воде: автореф. дис. канд. хим. наук: 03.00.16, 02.00.02 / В. Г. Филоненко. М., 2003. 122 с.
16. Fuge R. Iodine in Waters; Possible Links with Endemic Goiter / R. Fuge // *Applied Geochemistry*. 1989. Vol. 4. Pp. 203-208.
17. Johnson C. C. Commissioned Report Cr/03/057n. The Geochemistry of Iodine and its Application to Environmental Strategies for Reducing the Risks from Iodine Deficiency Disorders (IDD) / C. C. Johnson. 2000. 29 p.
18. Kaplan D. I. Iodide Sorption to Subsurface Sediments and Illitic Minerals / D. I. Kaplan, R. G. Serne, K. E. Parker et al. // *Environmental Science and Technology*. 2000. No. 34. Pp. 399-405.

Liudmila I. KOLMYKOVA¹
Yelena M. KOROBOVA²
Boris N. RYZHENKO³

THE CONTENT AND DISTRIBUTION PECULIARITIES OF IODINE IN THE NATURAL WATERS OF THE BRYANSK REGION

- ¹ PhD Student, Geochemical Department,
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
Russian Academy of Sciences
kmila9999@gmail.com
- ² Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Geochemical Department,
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
Russian Academy of Sciences
korobova@geokhi.ru
- ³ Dr. Sci. (Chem.), Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Professor, Geochemical Department,
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
Russian Academy of Sciences
ryzhenko@geokhi.ru

Abstract

The article presents the results of the study of geochemical peculiarities of iodine distribution in natural waters of Bryansk region, the most part of which suffered from radioiodine contamination during the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. The article shows that drinking water generally has low iodine content (below the sanitary standard equal to 10 µg/l). The deep artesian waters of the upper Devonian complex are comparatively most enriched with it (Me=8,15 µg/l). Thermodynamic modelling has confirmed the possible predominant form of iodine migration and the formation of its mineral (CaI⁺, CaI₂, etc.) and organo-mineral complexes, which promote the removal of the traced element from aqueous. Thus, iodine and its radioactive analogues intake with local drinking waters into the human body largely depends on particular geochemical conditions in the “water-rock” system.

Citation: Kolmykova, L. I., Ye. M. Korobova, and B. N. Ryzhenko. 2016. “The Content and Distribution Peculiarities of Iodine in the Natural Waters of the Bryansk Region”. Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 2, no. 1, pp. 8-19.
DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-1-8-19

Keywords

Iodine, drinking water, Bryansk region, thermodynamic modeling.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-1-8-19

REFERENCES

1. Antipov, M. A., Ye. A. Batova, A. Ye. Bakhur, et al. 2001. Okonchatelnyy otchet po proektu RUS/95/004 [The Final Project Report RUS/95/004], pp. 47-75. Moscow.
2. Bumbu, Ya. V. 1969. "Iyod i kobalt v vodoistochnikah Severnoy i Tsentralnoy zon Moldavii i rasprostranenie endemicheskogo zoba" [Iodine and Cobalt in Water Sources of the Northern and Central Zones of Moldova and the Spread of Endemic Goiter]. Dokl. VI nauch. konf. molodyh uchenyh Moldavii [The Reports Presented at the 6th Scientific Conference of Moldavian Young Scientists]. Kishinev.
3. Filonenko, V. G. 2003. "Ekspress-metod monitoringa summarnogo sodержaniya organicheskikh veshchestv v vode" [The Rapid Method of Monitoring the Total Content of Organic Substances in Water]. Cand. Sci. (Chem.) diss. abstr., RUDN University.
4. Fuge, R. 1989. "Iodine in Waters; Possible Links with Endemic Goiter". Applied Geochemistry, vol. 4, pp. 203-208.
5. GOST R 51592-2000. "Voda. Obschie trebovaniya k otboru prob" ['Water. The General Requirements for Sampling'].
6. Johnson, C. C., 2000. "The Geochemistry of Iodine and its Application to Environmental Strategies for Reducing the Risks from Iodine Deficiency Disorders (IDD)". Commissioned Report CR/03/057N.
7. Kaplan, D. I., R. G. Serne, K. E. Parker, et. al. 2000. "Iodide Sorption to Subsurface Sediments and Illitic Minerals". Environmental Science and Technology, no. 34, pp. 399-405.
8. Kashin, V. K. 1987. "Biogeohimiya, fitofiziologiya i agrohimiya iyoda" [The Biogeochemistry, Phytophysiology, and Agricultural Chemistry of Iodine]. Nauka.
9. Korobova, Ye. M., B. N. Ryzhenko, Ye. V. Cherkasova, et. al. 2014. "K voprosu o formakh nakhozhdeniya iyoda i selena v prirodnyh vodah i ikh kontsentrirovanie na landshaftno-geokhimicheskikh baryerakh [To the Question of Iodine and Selenium Occurrence Forms in Natural Waters and Their Concentration on Landscape-Geochemical Barriers]. Geohimiya [Geochemistry], no 6, pp. 554-568.
10. Kovalskiy, V. V. 1974. "Geohimicheskaya ekologiya endemicheskogo zoba" [Geochemical Ecology of Endemic Goiter]. Problemy geohimicheskoy ekologii organizmov [The Problems of Organisms' Geochemical Ecology], vol. 13, pp. 191-216.
11. Olyunina, Z. B., and T. A. Bananyan. 1938. "Problema endokrinologii i gormonoterapii" [The Problem of Endocrinology and Hormone Therapy], no. 2, pp. 24-35.
12. Perelman, A. I. 1975. Geohimiya landshaftov [Geochemistry of Landscapes]. Moscow: "Vysshaya shkola".
13. Proshin, A. D., and V. N. Doroshenko. 2005. Defitsit iyoda sredi naseleniya Bryanskoy oblasti [Iodine Deficiency among the Population of the Bryansk Region]. Bryansk: OOO "Ladomir".

14. Proskuryakova, G. F., R. V. Shveykina, and O. V. Nikitina. 1973. Sposob opredeleniya iyoda v pochve, vode, rasteniyah, moloke i krovi. Tez. Dokl. 2-go Vses. Simpoz. po metodam opredeleniya mikroelementov v prirodnyh obektah [Method for Iodine Determination in Soil, Water, Plants, Milk and Blood. Proceedings of the 2nd USSR Symposium on Methods of Determining Trace Elements in Natural Objects], pp. 43-44. Samarkand.
15. Prosyannikov, E. V. 2002. Zakonomernosti razvitiya prirodnyh i antropogenno transformirovannyh ekosistem Bryanskoy oblasti, postradavshih ot globalnoj avarii na Chernobylskoy AES. Nauchno-uchebnoe izdanie [The Development Patterns of Natural and Anthropogenically Transformed Ecosystems of the Bryansk Region Affected by the Global Chernobyl Accident. Scientific and Educational Publication]. Bryansk.
16. SanRaN 2.1.4.1074-01. Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannyh sistem pitevogo vodosnabzheniya. Kontrol kachestva [Drinking Water. The Hygienic Requirements to Water Quality of the Centralized Drinking Water Supply System. Quality Control].
17. Vernadskiy, V. I. 1967. Geohimiya iyoda i broma [The Geochemistry of Iodine and Bromine]. Moscow: Nauka.
18. Vinogradov, A. P. 1927. "Iyod v prirode" [Iodine in the Nature]. Priroda [Nature], no. 9, pp. 670-678.