УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-98-122

Ссылки для цитирования:

Березкин В.Ю., Коробова Е.М., Баранчуков В.С., Костин А.С. Органический углерод как фактор дифференциации йода в почвенном покрове пастбищ Брянской и Орловской областей // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 119. С. 98-122. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-98-122

Cite this article as:

Berezkin V.Yu., Korobova E.M., Baranchukov V.S., Kostin A.S., Organic carbon as a factor of iodine differentiation of the soil cover in the Bryansk and Oryol regions by iodine availability, Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, V. 119, pp. 98-122, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-98-122

Благодарность:

Авторы благодарны студентке РУДН А.Г. Ефимовой за участие в определении йода, к. г.-м. н., н. с. ГЕОХИ РАН Л.И. Колмыковой, принимавшей участие в полевых экспедиционных исследованиях 2022 г. Работа выполнена по государственному заданию лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН.

Acknowledgments:

Authors are grateful to A.G. Efimova, a student of Peoples' Friendship University of Russia, for her participation in iodine determination, and L.I. Kolmykova, a researcher at the Vernadsky Institute of V.I. RAS, PhD. in Geological and Mineralogical sciences, who participated in the field expedition research in 2022. The work was performed under the state assignment of the Laboratory of Environmental Biogeochemistry, GEOHI RAS.

Органический углерод как фактор дифференциации йода в почвенном покрове пастбищ Брянской и Орловской областей

© 2024 г. В. Ю. Березкин[1,2*], Е. М. Коробова[1], В. С. Баранчуков[1], А. С. Костин[1***]**

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

[*]https://orcid.org/0000-0002-1025-638X, e-mail: victor76@list.ru,

[**]e-mail: baranchukov@gmail.com,

[***]*e-mail: alexanderk640@gmail.com.*

[2]*Российский университет дружбы народов,*
Институт экологии, Россия,
115093 Москва, Подольское шоссе, 8/5.

Поступила в редакцию 23.05.2023, *после доработки* 10.06.2023,
принята к публикации 04.06.2024

Резюме: Исследовано распределение йода и органического углерода ($C_{орг}$) в верхнем горизонте (0–20 см) различных типов почв пастбищ Брянской и Орловской областей. Отбор образцов почв проводился ручным тростевым буром послойно в следующем интервале глубин: 0–5 см, 5–10 см и 10–20 см. Содержание йода определялось кинетическим роданидно-нитритным методом, содержание $C_{орг}$ определено по бихроматному методу Тюрина. В работу включены данные как многолетних исследований содержания йода в почвенном покрове Брянской области (2008–2020 гг.), так и новые данные экспедиционных исследований в Орловской области (2022 г). Показано, что специфика пространственного распределения йода в почвах пастбищ двух областей заключается в росте его содержания в направлении с северо-запада на юго-восток, что в целом отвечает зональной структуре почвенного покрова. Установлено содержание $C_{орг}$ в почвах и получены статистически значимые коэффициенты корреляции между содержанием йода и $C_{орг}$ в почвах пастбищ (от r = 0.28 в черноземах до r = 0.49 в дерново-подзолистых почвах; кроме того, для всей выборки (n = 48) коэффициент корреляции колеблется от 0.31 в слое 0–5 см до 0.43 в слое 10–20 см). Установлена связь между содержанием йода и $C_{орг}$ в верхнем 20-сантиметровом слое в зональных типах почв (черноземы, серые лесные, дерново-подзолистые и подзолистые), а также почв автоморфных и гидроморфных ландшафтов при шаге опробования 5 см по глубине. Выявленные различия в фиксации почвами йода следует учитывать, поскольку они могут влиять на уровни поступления йода в молоко пастбищных животных и местные рационы питания.

Ключевые слова: Брянская и Орловская области; дефицит йода; гумус; почвенный покров.

Organic carbon as a factor of iodine differentiation of the soil cover in the Bryansk and Oryol regions by iodine availability

© 2024 V. Yu. Berezkin[1,2*], E. M. Korobova[1], V. S. Baranchukov[1], A. S. Kostin[1***]**

[1]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Acacdemy of Sciences, 19 Kosygina Str., GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation,
[*]https://orcid.org/0000-0002-1025-638X, e-mail: victor76@list.ru,
[**]e-mail: baranchukov@gmail.com,
[***]e-mail: alexanderk640@gmail.com.

[2]RUDN University: Peoples' Friendship University of Russia, Institute of Ecology, 8/5 Podolskoye shosse, Moscow 115093, Russian Federation.

Received 23.05.2023, *Revised* 10.06.2023, *Accepted* 04.06.2024

Abstract: The distribution of stable iodine and humus in the upper horizon (0–20 cm) of various types of soils of the Bryansk and Oryol regions used as pastures has been studied. Soil sampling was carried out with a hand stick drill in layers in the depth interval: 0–5 cm, 5-10 cm and 10–20 cm. Iodine content was determined by kinetic rhodanide-nitrite method. Corg content was determined by the bichromate method of Tyurin. The work includes data from both long-term studies of the iodine content in the soil cover of the Bryansk region (2008–2020) and new data from expeditionary studies in the Oryol region (2022). It is shown that the soils of the Bryansk pastures are depleted of iodine and organic carbon (OC) in comparison with the Oryol region, which corresponds to the change of soil cover composition from west to east. The humus content in soils was determined and statistically significant correlation between iodine and C org. content in pasture soils were obtained (from r = 0.28 in Chernozems to r = 0.49 in Haplic Albeluvisols; in addition, for the whole sample (n = 48) the correlation coefficient ranged from 0.31 in the 0–5 cm layer to 0.43 in the 10–20 cm layer). The dependence of iodine accumulation on the OC content in different types of soils (Chernozems, Grey-Luvic Phaeozems, Umbric Albeluvisols, Haplic Albeluvisols) and their hydromorphism has been established. The identified differences in soil iodine fixation should be considered as they may influence iodine intake levels in pasture animal milk and local rations.

Keywords: Bryansk and Oryol regions; iodine deficiency; humus; soil cover.

ВВЕДЕНИЕ

Йод – один из биологически важных элементов, необходимый для синтеза гормонов щитовидной железы (ЩЖ). Недостаток

йода в организме человека приводит к умственной и физической утомляемости, снижению иммунитета, развитию эндемичного зоба, дефицит йода может провоцировать и ряд других болезней (Виноградов, 1927; Авцын и др., 1993; Дедов и др., 2000; Кашин, 1987; Конарбаева, 2014; Яхияев и др., 2019).

Источниками поступления йода в организм человека являются продукты питания (трофическая цепь, замкнутая на почвы при употреблении местных продуктов), а также питьевая вода и атмосфера (Доглушин Д.И. и др., 2021). Основным глобальным источником йода на суше является океан (через осадки и другие атмосферные выпадения). Имея значительное сродство к органическому веществу, этот элемент фиксируется и накапливается в верхних генетических горизонтах почв (Виноградов, 1927; Ковальский, 1970; Зырин и др., 1972; Потатуева и др., 1976; Кашин, 1987; Коробова и др., 2019). Таким образом, почвы можно рассматривать как ключевой фактор, определяющий уровень поступления йода в организм человека по местной трофической цепи. Помимо удаленности местности от океанов, содержание йода в почвах зависит от климата, положения в рельефе, физико-химических свойств почв и почвообразующих пород.

Многочисленными исследованиями показано, что, природный йододефицит, приводящий к заболеваниям ЩЖ, является одной из глобальных медико-социальных проблем современного общества (от 1.5 до 2 млрд человек живут в условиях недостатка йода) (Долгушин и др., 2021). Несмотря на то, что дефицит йода можно легко предотвращать ежедневной йодной профилактикой, эти данные свидетельствуют о том, что во многих странах она не проводится либо проводится недостаточно, а наблюдаемая заболеваемость обусловлена недостатком йода в окружающей среде, и прежде всего в почвах, поскольку до 2007 г. сельское население, особенно в развивающихся странах, преобладало над городским, а основные продукты питания импортируются из стран с иными геохимическими условиями. Для Брянской и Орловской областей характерно высокое разнообразие почв и почвообразующих пород, что приводит к разной природной обеспеченности почвенного покрова микроэлементами, в том числе йодом.

Проблему природного дефицита йода усугубляет загрязне-

ние окружающей среды радиоактивными изотопами этого элемента, которые поступают в окружающую среду при испытаниях ядерного оружия и авариях на предприятиях атомной промышленности (Тихомиров, 1983; Makhonko et al., 1992; Звонова и др., 2004; Cardis et al., 2005; Korobova et al., 2014; Judprasong et al., 2015 и др.). В России проблема роста риска заболеваемости ЩЖ в результате "йодного удара" (практически одномоментного выпадения радиоактивных изотопов йода) наиболее актуальна для регионов, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС, 1986 г.) (Balonov, 1990; Makhonko et al., 1992).

В результате этой аварии наибольшему загрязнению подверглись четыре области: Брянская, Орловская, Тульская и Калужская (Израэль и др., 1990; Герасимов и др., 2006), где возникли зоны относительно кратковременного (до 2 месяцев) загрязнения почв радионуклидами йода. При этом их поведение следовало стабильному аналогу (фиксация в почвенно-растительном покрове и переход в молоко выпасаемых животных с кормовыми травами и почвой, частично захватываемой животными при стравливании пастбищ).

При одном и том же уровне "йодного удара" на фоне йододефицита в некоторых районах области население могло пострадать значительно больше, чем в районах с более высоким содержанием йода вследствие более активного поступления радиойода в щитовидную железу, испытывающую дефицит стабильного йода.

В связи с этим изучение роли геохимических факторов в формировании эндемических заболеваний ЩЖ проводятся в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН в Брянской области с 2007 г., а с 2022 г. – в Орловской, учитывая то, что наибольшие выпадения радиоизотопов в результате аварии ЧАЭС характерны для западной части Брянской области, а вклад наиболее плодородных почв (черноземов и серых лесных) – для Орловской области. Важно отметить, что характер питания местного населения отличается значительным вкладом личных подсобных хозяйств и пастбищного животноводства в рационы не только сельских жителей, но и жителей поселков городского типа.

Ранее по результатам экспедиций, проведенных совместно с Брянским клинико-диагностическим центром (2007–2021 гг.) были отобраны образцы почв во всех районах области, подтверждено значительное варьирование йода в почвенном покрове. Показано, что подобная неоднородность обусловлена сочетанием литологических, геохимических и климатических факторов, отражающихся в ландшафтно-геохимической структуре территории.

Целью исследований, результаты которых обсуждаются в данной публикации, была оценка специфики распределения йода в верхнем 20-сантиметровом слое почв пастбищ Брянской и Орловской областей в зависимости от содержания $C_{орг}$, типа почв и ландшафтно-геохимической соподчиненности, определяющей разный режим водной миграции элементов.

Сопряженное исследование содержания стабильного йода и $C_{орг}$ как одного из основных факторов его депонирования в почвенном покрове позволяет оценить пространственную специфику его распределения в этих смежных областях, что важно для последующего уточнения оценок сочетанного воздействия йододефицита и техногенного выпадения радионуклидов йода на здоровье местного населения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территории Брянской и Орловской областей характеризуются разнообразием геологического строения, состава четвертичных отложений и структуры почвенного покрова, что обуславливает геохимическую контрастность местных ландшафтов, в том числе на участках выпаса сельскохозяйственных животных.

В Брянской области основной фон в почвенном покрове составляют дерново-подзолистые почвы (50% территории), около 20% занимают серые лесные почвы и 30% остальные типы почв (от аллювиальных и торфяно-болотных до черноземов выщелоченных) (Воробьев, 1993; Воробьев и др., 1975). При этом наиболее плодородные (в том числе богатые $C_{орг}$) типы почв – серые лесные и черноземы выщелоченные – локализованы в центральной (правобережье рек Десна и Судость) и юго-восточной частях области (преимущественно Суземский, Севский и Карачевский районы).

В Орловской области также наблюдается смена почв от дерново-подзолистых до черноземов. В силу климатических особенностей дерново-подзолистые почвы составляют всего 1.6% от общей площади и приурочены к зандровым песчаным равнинам. Большую часть области занимают серые и темно-серые лесные почвы (48%), локализованные в северо-западной и центральной части области, а выщелоченные и оподзоленные черноземы (36%) развиты преимущественно в юго-восточной ее части (Верховец, 2018; Парахин, 2013).

Методы исследования и материалы

Полевые исследования в обеих областях проводились в летний период (июль–август) вблизи населенных пунктов, выбранных предварительно с учетом картографических и медицинских данных.

В Брянской области выбор населенных пунктов осуществлялся с учетом сведений о ренальной экскреции иода и заболеваемости ЩЖ среди местного населения (Дорощенко и др, 2004), а также использовалась дополнительная информация, предоставленная Брянским клинико-диагностическим центром.

В Орловской области выбор населенных пунктов осуществлялся с учетом структуры почвенного покрова, радионуклидного загрязнения и опубликованных медицинских данных по уровням заболеваемости населения в отдельных районах.

На каждом пастбище выбирались тестовые площадки, характеризующие элементарные ландшафты: автономные (суходолы) и сопряженные с ними подчиненные (мезогидрофитные и гидрофитные луга пониженных элементов рельефа). Отбор образцов почв проводился ручным тростевым буром из верхнего слоя мощностью 20 см послойно в следующем интервале глубин: 0–5 см, 5–10 см и 10–20 см. При этом в полевых условиях уточнялся тип почвы, ранее диагностированный по почвенной карте масштаба 1 : 2 500 000 (Иванов и др., 2014). Порядок выбора тестовой площадки и отбора образцов остается неизменным в ходе многолетних полевых исследований авторов, и уже упоминался нами в ранее вышедших публикациях (Коробова и др., 2013; Долгушин и др., 2021; Korobova and al., 2014; Korobova and al., 2019).

Отбору почвы предшествовали: 1) измерение плотности загрязнения почвы радиоцезием с помощью полевого гамма-спектрометра Violinist III (TSA Systems ltd., США) и определение мощности эквивалентной дозы (мкЗв/ч) прибором MIRA-661 (Genitron Instruments GmbH., Германия); 2) отбор средней пробы луговых трав с площадки 20 × 20 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 цепи "почва–растительность–корова–молоко–человек" (Коробова и др., 2013).

Содержание йода в почвах определялось кинетическим роданидно-нитритным методом (Проскурякова и др., 1976), чувствительность метода – 1–4 нг/мл. Содержание $C_{орг}$ определено по бихроматному методу Тюрина (метод "мокрого" сжигания органического углерода почв). Несмотря на то, что метод Тюрина, как и метод Уолкли–Блэка, в наше время относят к полуколичественным (Когут, 2023), полученные таким образом данные обеспечивают достижение поставленной авторами цели. Пробоподготовка осуществлялась стандартными методами (без модификаций) (Аринушкина, 1970; Никитин, 1983). Все аналитические исследования выполнены в лаборатории биогеохимии окружающей среды института ГЕОХИ РАН (Москва).

Статистическую обработку результатов проводили по классическим методикам в программе MS Excel и TIBCO STATISTICA 13, как и в ранее проводившихся исследованиях в Брянской и Гомельской областях (Долгушин и др., 2021). Массив данных, рассматриваемый в настоящей статье, включает информацию по 48 точкам отбора почв, характеризующих пастбища вблизи 38 населенных пунктов, как ранее обследованных в Брянской области (2008–2021 гг), так и результаты последней экспедиции (Орловская область, 2022 г).

Все полученные результаты заносились в базу данных, интегрированную в геоинформационную среду "Брянск-йод", созданную на базе ArcGIS 10.8.1. Расположение тестовых участков, на которых были отобраны пробы, проанализированные на содер-

жание органического углерода в 2022 г., представлены на рисунке 1.

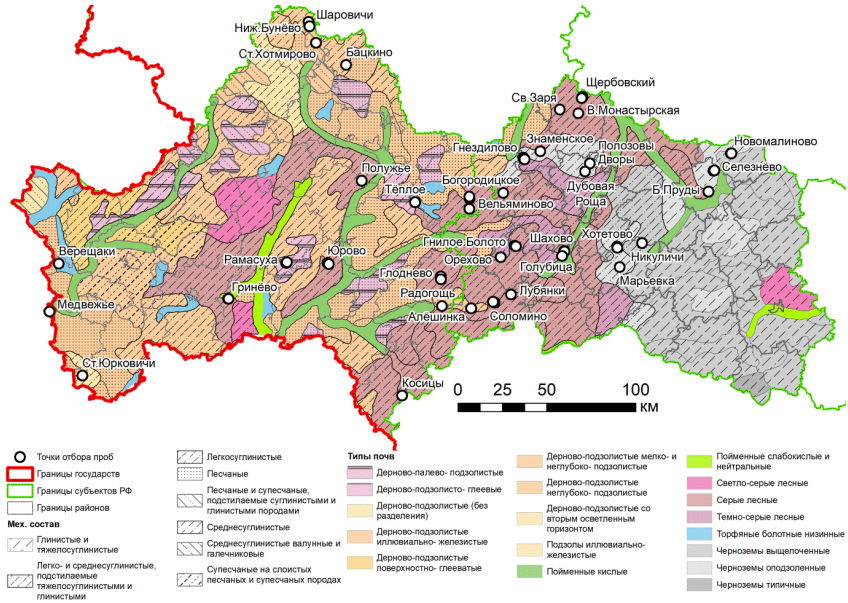

Рис. 1. Карта фактического материала (населенные пункты, в которых осуществлялся отбор почв, проанализированных на содержание органического углерода и йода в 2022 г., картографическая основа – Иванов, Шоба, 2014).
Fig. 1. Map of soil sampling (settlements in which soil sampling was carried out, analyzed for organic carbon and iodine content in 2022, cartographic basis – Ivanov, Shoba, 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание органического углерода в почвах

Содержание органического углерода оказалось закономерно более высоким в черноземах (медиана (Me) = 3.63% в верхнем 5-сантиметровом слое, при варьировании от 2.57 до 4.89%, Me = 3.41% в верхнем 10-сантиметровом слое, при варьировании от

2.23 до 4.36%) и серых лесных почвах (Me = 3.45% в верхнем 5-сантиметровом слое, при варьировании от 1.00 до 7.71%, Me = 2.58% в верхнем 10-сантиметровом слое, при варьировании от 1.0 до 5.51%). Далее идут дерново-подзолистые почвы (Me = 2.46% в верхнем 5-сантиметровом слое, при варьировании от 1.50 до 8.32%, Me = 2.06% в верхнем 10-сантиметровом слое, при варьировании от 0.89 до 7.07%), на последнем месте подзолистые почвы (Me = 1.79% в верхнем 5-сантиметровом слое, при варьировании от 1.33 до 10.9%, Me = 1.59% в верхнем 10-сантиметровом слое, при варьировании от 1.02 до 6.69%) (рис. 2).

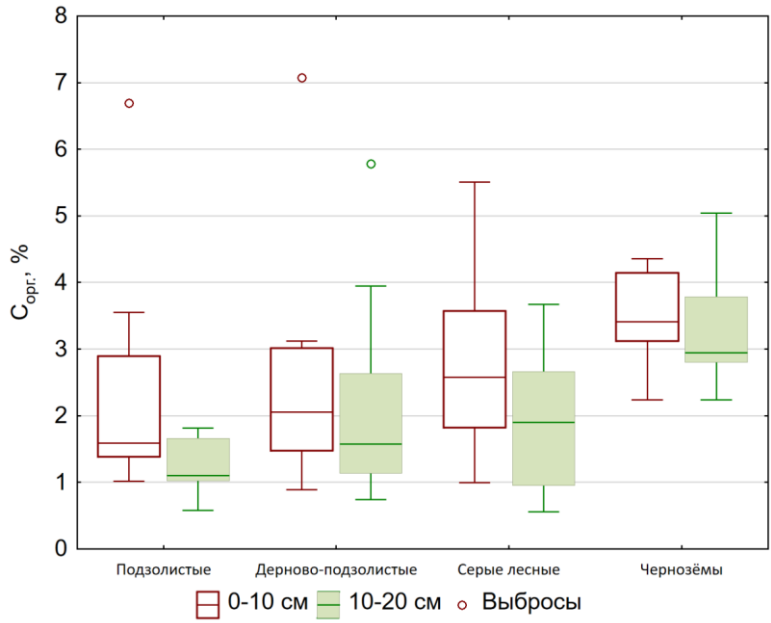

Рис. 2. Показатели варьирования содержания органического углерода в верхних слоях разных типов почв, используемых под выпас скота.
Fig. 2. Indicators of variation of organic carbon content in the upper layers of different soil types used for grazing.

Довольно высокие значения концентрации органического углерода для всех перечисленных типов почв (в особенности для

слабоподзолистых) объясняются, по-видимому, тем, что все пробы были отобраны на пастбищах, дополнительно удобряемых органическим веществом за счет выпаса крупного рогатого скота, что способствует их гумификации.

Для почв гидроморфных ландшафтов (низинные луга) выявлен больший размах варьирования содержания $C_{орг}$ в слое 5–10 см и 10–20 см, и более высокое медианное значение для слоя 0–5 см (рис. 3) в сравнении с почвами автоморфных ландшафтов (суходолы).

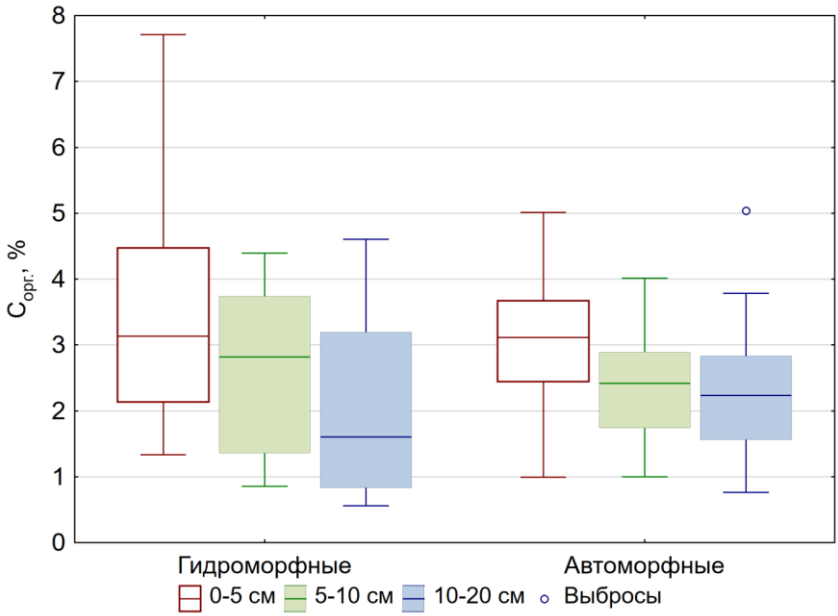

Рис. 3. Показатели варьирования содержания органического углерода в верхних горизонтах почв автоморфных и гидроморфных ландшафтов.
Fig. 3. Indicators of variation of organic carbon content in the upper horizons of soils of automorphic and hydromorphic landscapes.

Содержание йода в почвах

Содержание йода в почвах пастбищ исследованной территории варьировало от 0.18 мг/кг до 10.4 мг/кг воздушно сухой массы

(в. с. м.), достигая максимума в верхнем 5-сантиметровом слое серых лесных почв Брянской области. В Орловской области максимальное значение наблюдалось в верхнем 5-сантиметровом слое черноземов (5.71 мг/кг в. м. с.). Следует отметить, что содержание йода превышало значение в 7 мг/кг только в одной индивидуальной точке опробования (с. Вельяминова) на серых лесных почвах Брянской области, что позволяет предполагать низкую обеспеченность йодом почвенного покрова областей, и искать объяснение максимальных концентраций, скорее, в антропогенном, а не эдафическом факторе.

Медианные величины концентрации йода (рис. 4) подтверждают ведущую роль органического вещества в фиксации иода: максимальные для черноземов (2.36 мг/кг), и закономерно убывающие в ряду черноземы > серые лесные > дерново-подзолистые ≥ подзолистые.

Наибольшее медианное (Me = 2.66 мг/кг) содержание йода, как и ожидалось, было характерно для черноземов, в слое 0–10 см, при значительном варьировании йода (в верхнем слое 0–5 см: 0.41–5.71 мг/кг; в слое 5–10 см: 0.48–4.21 мг/кг; в слое 10–20 см: 1.14–4.17 мг/кг). Содержание йода в серых лесных, дерново-подзолистых и слабоподзолистых почвах отличалось не только меньшим разбросом значений, но и более низкими медианными значениями (серые лесные – 1.09 мг/кг, дерново-подзолистые – 0.69 мг/кг, слабоподзолистые – 0.68 мг/кг в слое 0–10 см) (табл. 1).

Для почв гидроморфных ландшафтов (низинные луга), в сравнение с почвами автоморфных ландшафтов (суходолы) выявлен больший размах варьирования йода, и более высокое медианное значение для слоя 0–5 см (Me автоморфные = 1.29 мг/кг; Me гидроморфные = 2.03 мг/кг) (рис. 5).

Большой разброс значений содержания йода, наблюдавшийся во всех исследованных нами типах почв, в особенности для серых лесных почв (крайние точки и выбросы), может быть объяснен влиянием вариабельности гранулометрического состава почв, или же спецификой использования сельскохозяйственных угодий (то есть предшествующей хозяйственной деятельностью).

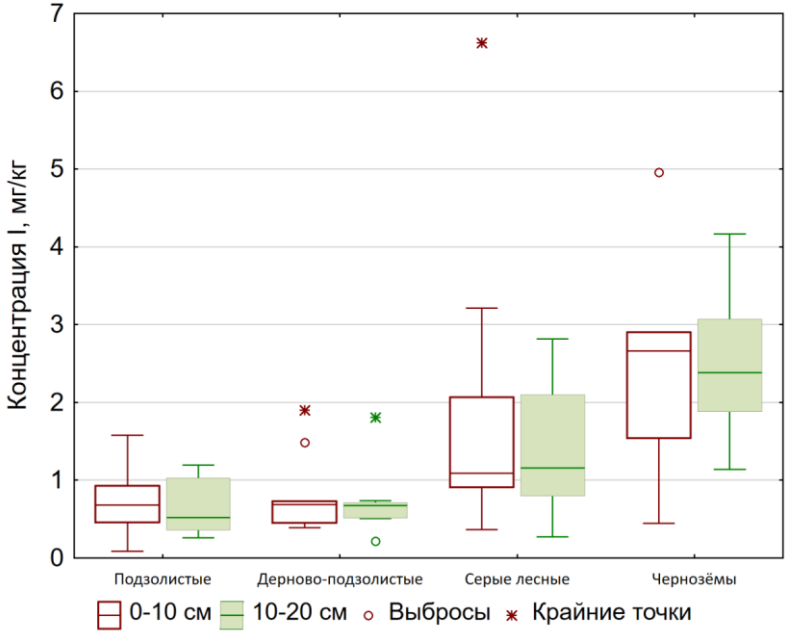

Рис. 4. Показатели варьирования содержания йода в верхних слоях разных типов почв, используемых под выпас скота.
Fig. 4. Indicators of variation of iodine content in the upper layers of different soil types used for grazing.

Влияние органического углерода на содержание йода в почвах

Вне зависимости от рельефа и типа почв, более высокое содержание $C_{орг}$ и йода отмечены для верхних слоев почв суглинистого и глинистого состава (йод: Me = 1.35 мг/кг, $C_{орг}$: Me = 3.52%). По-видимому, это свидетельствует о роли сорбционного барьера в накоплении йода. Почвы супесчаного и песчаного состава характеризуются меньшим содержанием как органического углерода, так и йода в верхних горизонтах (йод: Me = 0.63 мг/кг, $C_{орг}$: Me = 1.83%).

Таблица 1. Основные статистические характеристики содержания иода в зональных типах почв Брянской и Орловской областей
Table 1. Main statistical characteristics of iodine content in zonal soil types of Bryansk and Orel oblasts

Глубина отбора:		**0–10 см**			**10–20 см**		
	N	**Минимум**	**Максим.**	**Медиана**	**Минимум**	**Максим.**	**Медиана**
Подзолистые	8	0.09	1.58	0.68	0.26	1.19	0.52
Дерново-подзолистые	10	0.39	1.90	0.69	0.22	1.81	0.68
Серые лесные	19	0.36	6.63	1.09	0.28	2.82	1.15
Черноземы	8	0.44	4.96	2.66	1.14	4.17	2.39

Статистически значимые высокие коэффициенты корреляции между содержанием органического углерода и содержанием йода были получены для пастбищ, расположенных в областях распространения подзолистых почв (r = 0.807; n = 8; p = 0.015 для слоя 0–5 см; r = 0.847; n = 8; p = 0.008 для слоя 5–10 см), дерново-подзолистых почв (r = 0.668; n = 8; p = 0.070 для слоя 0–5 см; r = 0.839; n = 8; p = 0.018 для слоя 5–10 см). По пастбищам, расположенным на участках с другими типами почв, достоверной зависимости не выявлено, что может быть связано с бо́льшим варьированием сопоставляемых параметров из-за разнообразного гранулометрического состава и разной степени выноса химических элементов и соединений из верхних горизонтов в этих группах почв.

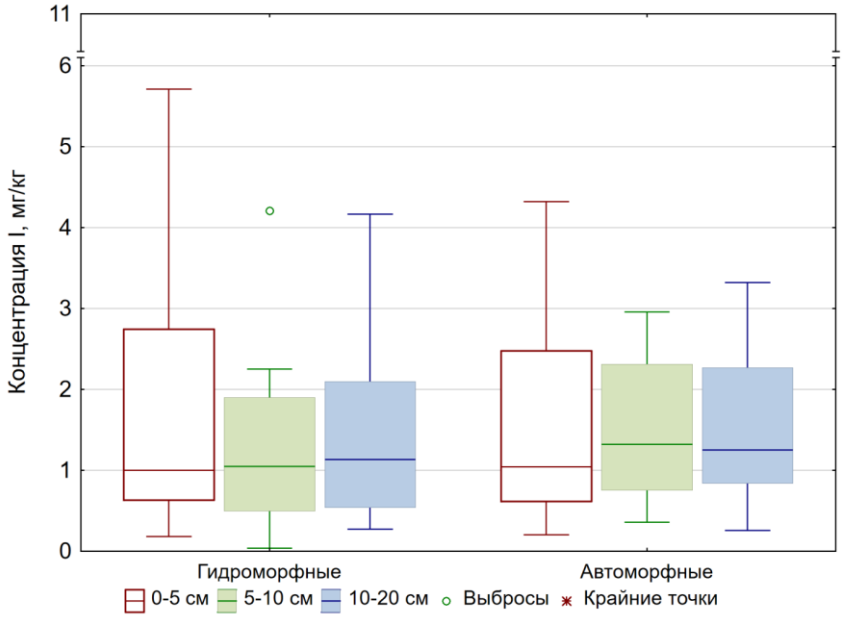

Рис. 5. Показатели варьирования содержания йода в верхних слоях (0–20 см) автоморфных и гидроморфных ландшафтов.
Fig. 5. Indicators of variation of iodine content in the upper layers (0–20 cm) of automorphic and hydromorphic landscapes.

Несмотря на то, что максимальные значения содержания йода были выявлены в Брянской области на серых лесных почвах (как уже упоминалось выше), в целом почвенный покров ее беден йодом по сравнению с Орловской областью.

Медианные значения, верхние и нижние квартили содержания йода в почвах Орловской области стабильно выше, чем в почвах Брянской: в слое 0–5 см – Me (Орел) = 1.58 мг/кг, Me (Брянск) = 0.81 мг/кг; в слое 5–10 см – Me (Орел) = 1.59 мг/кг, Me (Брянск) = 0.83 мг/кг; в слое 10–20 см – Me (Орел) = 1.75 мг/кг; Me (Брянск) = 0.73 мг/кг. Этот факт подтверждает, что уровень фиксации йода почвами во внутриконтинентальных районах может иметь куда большее значение для его содержания в нижних звеньях трофической цепи, нежели удаленность от первичного (морского) источника.

Данное утверждение еще нуждается в экспериментальной проверке. Так, уже упоминалось, что высокие коэффициенты корреляции между содержанием органического углерода и йода отмечены только для низкоорганических зональных и гидроморфных почв.

В то же время распределение органического углерода в верхних слоях (0–5 см, 5–10 см, 10–20 см) гумусового горизонта как гидроморфных, так и автоморфных почв не отличается принципиально, а лишь несущественно значениями размаха, медианы и других статистических показателей. Существенные более высокие медианные значения и размах варьирования содержания йода выявлены только для слоя 0–5 см гидроморфных почв (рис. 5).

Дальнейшие исследования данной проблемы, по-видимому, потребуют не столько увеличения базы данных, сколько учета большего количества факторов, влияющих на содержание йода в почве, в частности хозяйственную деятельность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили зависимость содержания йода в верхнем горизонте пастбищных почв от содержания органического углерода, обусловленного прежде всего зонально-климатическими факторами и положением пастбищных угодий в рельефе.

Выявлено закономерное убывание медианных и средних значений содержания йода в ряду: черноземы > серые лесные > дерново-подзолистые ≥ подзолистые. При этом максимальный размах варьирования содержания как йода, так и $C_{орг}$ характерен в значительной степени для подзолистых и дерново-подзолистых почв, что может быть объяснено влиянием не учтенных в данной группировке факторов, например, варьированием их гранулометрического состава и вероятного предшествующего удобрения органическими веществами.

Показано, что почвы обследованных пастбищ Брянской области в целом беднее йодом и органическим углеродом в сравнении с Орловской областью, что обусловлено сменой почвенного покрова с северо-запада на юго-восток.

Статистически значимые высокие коэффициенты корреляции между содержанием $C_{орг}$ и содержанием йода получены для пастбищ, расположенных в зоне подзолистых и дерново-подзолистых почв. Отсутствие значимых корреляций содержания йода и $C_{орг}$ на участках с другими типами почв, по-видимому, связано с более разнородным составом выборки по причине их интенсивной эксплуатации.

Полученные данные заслуживают внимания при организации мониторинга и при проведении мероприятий по профилактике йододефицитных заболеваний в зонах потенциально возможного радиоактивного загрязнения. При отсутствии йодной профилактики на территории исследуемых областей возможен рост заболеваемости среди населения раком щитовидной железы и другими заболеваниями, связанными как с недостаточной обеспеченностью почв и производимых на них продуктах йодом (явления йододефицита), так и техногенными полями радионуклидов, в том числе изотопов йода, возникающих в результате ядерных испытаний и аварий (при “йодном ударе”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова А.С.* Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1993. 496 с.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.

3. *Верховец И.А.* Оценка современного состояния земельных ресурсов Орловской области. Материалы конференции “Паритетность отношений в аграрном секторе экономики: научно-практическое обеспечение и механизмы реализации”, Орел: Орловский ГУ им. И.С. Тургенева, 2018. Ч. 2. С. 138–141.
4. *Виноградов А.П.* Йод в природе // Природа. 1927. № 9. С. 670–678.
5. *Воробьев Г.Т.* Почвы Брянской области. Брянск: Грани, 1993. 160 с.
6. *Воробьев Г.Т., Жукова В.К., Коньков Г.Г.* Природное районирование и типы сельскохозяйственных земель Брянской области. Брянск: Приокское кн. изд-во. Брянское отделение, 1975. 611 с.
7. *Герасимов Г.А., Фигге Д.* Чернобыль 20 лет спустя // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2006. № 2(2). С. 5–13.
8. *Дедов И.И., Свириденко Н.Ю., Герасимов Г.А.* Оценка йодной недостаточности в отдельных регионах России // Проблемы эндокринологии. 2000. № 46(6). С. 3–7.
9. *Долгушин Д.И., Коробова Е.М., Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Романов С.Л.* Йод в почвах, пастбищной растительности и молоке коров с пастбищ некоторых районов России и Белоруссии, наиболее пострадавших при аварии на ЧАЭС // Материалы международной научной конференции “Современные проблемы радиобиологии – 2021”. Инфомационно-вычеслительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2021. С. 54–57.
10. *Дорощенко В.Н., Прошин А.Д., Пилюкова Р.И.* Сравнительная характеристика заболеваемости раком щитовидной железы в регионах с различной йодной обеспеченностью на территории Брянской области // Социально-медицинские аспекты состояния здоровья и среды обитания населения, проживающего в йод-дефицитных регионах России и стран СНГ. Тверь: Триада, 2004. С. 385–386.
11. *Звонова И.А., Балонов М., Братилова А.А., Данилова И.О.,* ВласовО.*К., Щукина Н.В.* Дозы облучения щитовидной железы у населения России вследствие выпадений радиоактивного йода после аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 2004. № 94(4). С. 310–316.
12. *Зырин Н.Г., Зборищук Ю.Н.* Общие закономерности распределения подвижных форм микроэлементов в почвах Европейской части СССР // Микроэлементы в почвах СССР / Под ред. Ковды В.А. М.: МГУ, 1981. С. 6–18.
13. *Иванов А.Л., Шоба С.А.* Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, Тула: Гриф и К, 2014. 768 с.

14. *Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., Петров В.Н., Ровинский Ф.Я., Стукин Е.Д.* Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 387 с.
15. *Кашин В.К.* Биогеохимия, фитофизиология и агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 261 с.
16. *Ковальский В.В.* Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. 179 с.
17. *Когут Б.М., Милановский Е.Ю., Хаматнуров Ш.А.* О методах определения содержания органического углерода в почвах (критический обзор) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 5–28. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-5-28.
18. *Конарбаева Г.А.* Фтор и йод в системе почва-растение: биогеохимические и экологические аспекты. Конференция "Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах". Тюмень, ТГУ, 2014. С. 112–123.
19. *Коробова Е.М., Березкин В.Ю., Данилова В.Н., Головин Л.М., Горохова М.А.* Йод и селен в почвах сопряжённых элементарных ландшафтов долины р. Титовка (Брянская область). VI Международная научно-практическая конференция Экологическая геология: Теория, практика и региональные проблемы. Севастополь – Воронеж, "Цифровая полиграфия", 2019. С. 109–113.
20. *Коробова Е.М., Березкин В.Ю., Колмыклва Л.И, Корсакова Н.В.* Изучение распределения йода в почвах и луговой растительности геохимически контрастных ландшафтов в связи с оценкой йодного статуса Брянской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 4. С. 60–67.
21. *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.
22. *Никитин Б.А.* Уточнение к методике определения гумуса в почве // Агрохимия. 1983. № 8. С. 18–26.
23. *Парахин Н.В.* Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Разработка и практическая реализация биологизированных систем земледелия, обеспечивающих существенное снижение энерго- и ресурсозатрат и экологостабилизирующий эффект в агроэкосистемах. Орел: Орловский государственный аграрный университет, 2013. 220 с.

24. *Потатуева Ю.А., Прокофьева Р.И., Бурак Ю.К., Алексеев Е.Д.* Некоторые особенности поступления в растения йода на торфяных почвах // Агрохимия. 1976. № 10. С. 114–119.
25. *Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
26. *Тихомиров Ф.А.* Радиоэкология йода. М.: Энергоатомиздат, 1983. 88 с.
27. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240 / Под ред. Вакуловского С.М., Обнинск, ФГБУ НПО Тайфун, 2020. 224 с.
28. *Яхияев М.А, Салихов Ш.К., Атаев М.Г., Тагирова З.Г., Курбанова З.В.* Эндемический зоб – следствие дефицита йода и селена в природной среде // Экологическая медицина. 2019. № 1. С. 66–71.
29. *Balonov M.I.* Radiological consequences of the Chernobyl NPP accident in comparison with those of the Kyshtym and Windscale radiation accidents. Seminar “Comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtum, Windscale, Chernobyl”. Luxembourg, 1990. No. 2. P. 749–769.
30. *Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V., Malakhova I., Shibata Y., Khrouch V., Drozdovitch V., Maceika E., Zvonova I., Vlassov O., Bouville A., Goulko G., Hoshi M., Abrosimov A., Anoshko J., Astakhova L., Chekin S., Demidchik E., Galanti R., Ito M., Korobova E., Lushnikov E., Maksioutov M., Masyakin V., Nerovnia A., Parshin V., Parshkov E., Piliptsevich N., Pinchera A., Polyakov S., Shabeka N., Suonio E., Tenet V., Tsyb A., Yamashita S., Williams D.* Risk of thyroid cancer after exposure to ^{131}I in childhood // J. Nat. Cancer Inst. 2005. Vol. 97(10). P. 724–732. DOI: 10.1093/jnci/dji129.
31. *Judprasong K., Jongjaithet N., Chavasit V.* Comparison of methods for iodine analysis in foods // Food Chem. 2016. Vol. 193. P. 12–17. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.058.
32. *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. Vol. 142. P. 82–93.
33. *Makhonko K.P., Kozlova E.G., Silantev A.N., Bochkov L.P., Shkuratova I.G., Valetova N.K., Volokitin A.A., Rabotnova F.A.* Local contamination with ^{131}I after the Chernobyl nuclear power plant accident and estimates of the dose burdens from its radiation // Atomic Energy. 1992. No. 4. P. 339–344.

34. *Shakhtarin, V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Orlov M.Y., Kopecky K.J., 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. No. 32(4). P. 584–591. DOI: 10.1093/ije/dyg205.

REFERENCES

1. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova A.S., *Mikroelementozy cheloveka* (Human microelementoses), Moscow: Meditsina, 1993, 496 p.
2. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Soil Chemical Analysis Guide), Moscow: MGU, 1970, 488 p.
3. Verkhovets I.A., *Otsenka sovremennogo sostoyaniya zemel'nykh resursov Orlovskoi oblasti* (Assessment of the current state of land resources in the Oryol region), *Paritetnost' otnoshenij v agrarnom sektore jekonomiki: nauchno-prakticheskoe obespechenie i mehanizmy realizacii* (Parity of relations in the agricultural sector of the economy: scientific and practical support and implementation mechanisms), 2018, Orel: Orlovskii GU im. I.S. Turgeneva, 2018, Vol. 2, pp. 138–141.
4. Vinogradov A.P., Iod v prirode (Iodine in nature), *Priroda*, 1927, No. 9, pp. 670–678.
5. Vorob'ev G.T., *Pochvy Bryanskoi oblasti* (Soils of the Bryansk region), Bryansk: Grani, 1993, 160 p.
6. Vorob'ev G.T., Zhukova V.K., Kon'kov G.G., *Prirodnoe raionirovanie i tipy sel'skokhozyaistvennykh zemel' Bryanskoi oblasti* (Natural zoning and types of agricultural land in the Bryansk region), Bryansk: Priokskoe kn. izd-vo. Bryanskoe otdelenie, 1975, 611 p.
7. Gerasimov G.A., Figge D., Chernobyl' 20 let spustya (Chernobyl 20 years later), *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya*, 2006, Vol. 2, No. 2, pp. 5–13.
8. Dedov I.I., Sviridenko N.Yu., Gerasimov G.A., Otsenka iodnoi nedostatochnosti v otdel'nykh regionakh Rossii (Assessment of iodine deficiency in certain regions of Russia), *Problemy endokrinologii*, 2000, Vol. 46, No. 6, pp. 3–7.
9. Doglushin D.I., Korobova E.M., Berezkin V.Ju., Baranchukov V.S., Romanov S.L., *Jod v pochvah, pastbishhnoj rastitel'nosti i moloke korov s pastbishh nekotoryh rajonov Rossii i Belorussii, naibolee postradavshih pri avarii na ChAJeS* (Iodine in soils, pasture vegetation and milk of cows from pastures in some regions of Russia and Belarus, most affected by the Chernobyl accident), Proc. Int. Conf. “Sovremennye problemy radiobiologii –

2021" (Modern problems of radiobiology – 2021), Infomacionno-vycheslitel'nyj centr Ministerstva finansov Respubliki Belarus', 2021, pp. 54–57.
10. Doroshchenko V.N., Proshin A.D., Pilyukova R.I., *Sravnitel'naya kharakteristika zabolevaemosti rakom shchitovidnoi zhelezy v regionakh s razlichnoi iodnoi obespechennost'yu na territorii Bryanskoi oblasti* (Comparative characteristics of the incidence of thyroid cancer in regions with different iodine availability in the territory of the Bryansk region), In: *"Social'no-medicinskie aspekty sostojanija zdorov'ja i sredy obitanija naselenija, prozhivajushhego v jododeficitnyh regionah Rossii i stran SNG"* (Socio-medical aspects of the state of health and habitat of the population living in iodine-deficient regions of Russia and countries SNG), Tver': Triada, 2004, pp. 385–386.
11. Zvonova I.A., Balonov M., Bratilova A.A., Danilova I.O., Vlasov O.K., Shchukina N.V., Dozy oblucheniya shchitovidnoi zhelezy u naseleniya Rossii vsledstvie vypadenii radioaktivnogo ioda posle avarii na Chernobyl'skoi AES (Exposure doses of the thyroid gland in the population of Russia due to fallout of radioactive iodine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant), *Atomnaya energiya*, 2004, Vol. 94, No. 4, pp. 310–316.
12. Zyrin N.G., Zborishchuk Yu.N., Obshchie zakonomernosti raspredeleniya podvizhnykh form mikroelementov v pochvakh Evropeiskoi chasti SSSR (General patterns of distribution of mobile forms of microelements in soils of the European part of the USSR), In: *Mikroelementy v pochvakh SSSR* / Ed. Kovda V.A.), Moscow: MGU, 1981, pp. 6–18.
13. Ivanov A.L., Shoba S.A., *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii* (Unified State Register of Soil Resources of Russia), Vol. 1.0, Moscow: Pochv. In-t im. V.V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii, Tula: "Grif i K", 2014, 768 p.
14. Izrael' Yu.A., Vakulovskii S.M., Vetrov V.A., Petrov V.N., Rovinskii F.Ya., Stukin E.D., *Chernobyl': radioaktivnoe zagryaznenie prirodnykh sred* (Chernobyl: radioactive contamination of natural environments), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 387 p.
15. Kashin V.K., *Biogeokhimiya, fitofiziologiya i agrokhimiya ioda* (Biogeochemistry, phytophysiology and agrochemistry of iodine), Leningrad: Nauka, 1987, 261 p.
16. Koval'skii V.V., *Mikroelementy v pochvakh SSSR* (Trace elements in the soils of the USSR), Moscow: Nauka, 1970, 179 p.
17. Kogut B.M., Milanovsky E.Yu., Hamatnurov Sh.A., Methods for determining the organic carbon content in soils (critical review), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2023, Vol. 114, pp. 5–28, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-5-28.

18.Konarbaeva G.A., *Ftor i iod v sisteme pochva-rastenie: biogeokhimicheskie i ekologicheskie aspekty* (Fluorine and iodine in the soil-plant system: biogeochemical and ecological aspects), *Proc. All-Russia Conference "Biogeohimija himicheskih jelementov i soedinenij v prirodnyh sredah"* (Biogeochemistry of chemical elements and compounds in natural environments), "Tyumen": TGU, 2014, pp. 112–123.
19. Korobova E.M., Berezkin V.Yu., Danilova V.N., Golovin L.M., Gorokhova M.A., *Iod i selen v pochvakh sopryazhennykh elementarnykh landshaftov doliny r. Titovka Bryanskaya oblast'* (Iodine and selenium in the soils of adjacent elementary landscapes of the valley of the river. Titovka Bryansk region), *Proc. 6nd All-Russia Conference "Ekologicheskaya geologiya: Teoriya, praktika i regional'nye problem"*, 2019, Sevastopol' – Voronezh: "Tsifrovaya poligrafiya", 2019, pp. 109–113.
20. Korobova E.M., Berezkin V.Yu., Kolmykova L.I, Korsakova N.V., Izuchenie raspredelenija joda v pochvah i lugovoj rastitel'nosti geohimicheski kontrastnyh landshaftov v svjazi s ocenkoj jodnogo statusa Brjanskoj oblasti (Study of the distribution of iodine in soils and meadow vegetation of geochemically contrasting landscapes in connection with the assessment of the iodine status of the Bryansk region), *Journal "Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov"*, Vol. "Ekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti", Moscow: RUDN, 2013, No. 4, pp. 60–67.
21. Korobova E.M., Kuvylin A.I., *Prirodnye biogeokhimicheskie provintsii s nizkim soderzhaniem ioda kak raiony dopolnitel'nogo ekologicheskogo riska v zonakh vozdeistviya avarii na Chernobyl'skoi AES* (Natural biogeochemical provinces with low iodine content as areas of additional ecological risk in the impact zones of the Chernobyl accident), *Proc. 5nd All-Russia Conference "Biogeokhimicheskaya indikatsiya anomalii"*, Moscow: Nauka, 2004, pp. 156–167.
21. Nikitin B.A., Utochnenie k metodike opredeleniya gumusa v pochve (Refinement to the method for determining humus in the soil), *Agrokhimiya*, 1983, No. 8, pp. 18–26.
23. Parakhin N.V., *Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote po teme: Razrabotka i prakticheskaya realizatsiya biologizirovannykh sistem zemledeliya, obespechivayushchikh sushchestvennoe snizhenie energo- i resursozatrat i ekologostabiliziruyushchii effekt v agroekosistemakh* (Report on research work on the topic: Development and practical implementation of biologized farming systems that provide a significant reduction in energy and resource costs and an environmentally stabilizing effect in agroecosystems), Orel: Orlovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2013, 220 p.
24. Potatueva Yu.A., Prokof'eva R.I., Burak Yu.K., Alekseev E.D., Nekotorye osobennosti postupleniya v rasteniya ioda na torfyanykh pochvakh (Some

features of iodine intake in plants on peat soils), *Agrokhimiya*, 1976, No. 10, pp. 114–119.
25. Proskuryakova G.F., Nikitina O.N., Uskorennyi variant kineticheskogo rodanidno-nitritnogo metoda opredeleniya mikrokolichestv ioda v biologicheskikh ob'ektakh (An accelerated version of the kinetic thiocyanate-nitrite method for determining trace amounts of iodine in biological objects), *Agrokhimiya*, 1976, No. 7, pp. 140–143.
26. Tikhomirov F.A., *Radioekologiya ioda* (Radioecology of iodine), Moscow: Energoatomizdat, 1983, 88 p.
27. *Dannye po radioaktivnomu zagryazneniyu territorii naselennykh punktov Rossiiskoi Federatsii tseziem-137, strontsiem-90 i plutoniem-239+240* (Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239 + 240), Ed. Vakulovskiy S.M., Obninsk: FGBU NPO "Taifun", 2020, 224 p.
28. Yakhiyaev M.A, Salikhov Sh.K., Ataev M.G., Tagirova Z.G., Kurbanova Z.V., Endemicheskii zob – sledstvie defitsita ioda i selena v prirodnoi srede (Endemic goiter is a consequence of iodine and selenium deficiency in the natural environment), *Ekologicheskaya meditsina*, 2019, No. 1, pp. 66–71.
29. Balonov M.I., Radiological consequences of the Chernobyl NPP accident in comparison with those of the Kyshtym and Windscale radiation accidents, *Proc. Conf.* "*Comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtum, Windscale, Chernobyl*", Luxembourg, 1990, No. 2, pp. 749–769.
30. Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V., Malakhova I., Shibata Y., Khrouch V., Drozdovitch V., Maceika E., Zvonova I., Vlassov O., Bouville A., Goulko G., Hoshi M., Abrosimov A., Anoshko J., Astakhova L., Chekin S., Demidchik E., Galanti R., Ito M., Korobova E., Lushnikov E., Maksioutov M., Masyakin V., Nerovnia A., Parshin V., Parshkov E., Piliptsevich N., Pinchera A., Polyakov S., Shabeka N., Suonio E., Tenet V., Tsyb A., Yamashita S., Williams D., Risk of thyroid cancer after exposure to 131I in childhood, *Journal Nat. Cancer Inst.*, 2005, Vol. 97, No. 10, pp. 724–732, DOI: 10.1093/jnci/dji129.
31. Judprasong K., Jongjaithet N., Chavasit V., Comparison of methods for iodine analysis in foods, *Food Chem.*, 2016, Vol. 193, Vol. 12, No. 7, DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.058.
32. Korobova E.M., Romanov S.L., Silenok A.V., Kurnosova I.V., Chesalova E.I., BeriozkinV.Yu., Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident, *Journal Geochem. Exploration*, 2014, No. 142, pp. 82–93.

33. Makhonko K.P., Kozlova E.G., Silantev A.N., Bochkov L.P., Shkuratova I.G., Valetova N.K., Volokitin A.A., Rabotnova F.A., Local contamination with 131I after the Chernobyl nuclear power plant accident and estimates of the dose burdens from its radiation, *Atomic Energy*, 1992, No. 4, pp. 339–344.
34. Shakhtarin, V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Orlov M.Y., Kopecky K.J., 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, Vol. 32, No. 4, pp. 584–591, DOI: 10.1093/ije/dyg205.