

Сопоставимость оценки дефицита йода и селена в почвенном покрове и заболеваемости болезнями щитовидной железы населения Центрального федерального округа

В.И. Стародубов¹, В.С. Баранчуков², Е.А. Варавикова¹, В.Ю. Березкин², Л.И. Колмыкова², В.Н. Данилова², В.С. Ступак¹, Е.Н. Енина¹, Ю.С. Журавлева¹

¹ Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения, Москва, Россия;

² Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В последние десятилетия во всём мире наблюдается рост заболеваемости болезнями щитовидной железы. После аварии на Чернобыльской АЭС в Центральном федеральном округе сложилась уникальная эколого-геохимическая ситуация, при которой на щитовидную железу оказывали негативное воздействие одновременно природные (дефицит микроэлементов, прежде всего йода и селена) и техногенные (загрязнение радиоизотопами) факторы. Исследования позволили подтвердить наличие связи дефицита йода в почвенном покрове Центрального федерального округа с распространённостью заболеваний щитовидной железы, в том числе онкологических. Результаты исследования дают достоверную информацию для профилактики и диагностической настороженности в системе здравоохранения регионов, а также позволяют создать адекватный информационный контент для населения.

Цель. Анализ региональных особенностей заболеваемости болезнями щитовидной железы у населения Центрального федерального округа в зависимости от микроэлементного статуса территории.

Материалы и методы. Для анализа популяционного здоровья Центрального федерального округа и его субъектов использовали данные о численности населения, деперсонифицированные данные о количестве пациентов с впервые диагностированными заболеваниями щитовидной железы за 2013–2017 гг. и первичной заболеваемости злокачественными новообразованиями щитовидной железы за 1995–2023 гг. Для построения модели распределения концентраций микроэлементов в почвенном покрове регионов использовали Единый государственный реестр почвенных ресурсов. Каждой паре «тип почвы–почвообразующая порода» были присвоены атрибуты средних концентраций. Достоверность оценки концентраций микроэлементов подтверждена полевыми исследованиями. Составлены карты йодного и селенового статусов почв исследуемой территории. Методом ранговой корреляции Спирмена проводили непараметрическое сопоставление показателей заболеваемости и картографических оценок.

Результаты. Анализ химического состава отобранных в 2007–2023 гг. в ряде областей Центрального федерального округа почвенных образцов подтвердил корректность модели картографических оценок содержания микроэлементов в почве. Выявлены значимые обратные ранговые корреляции ($R=-0,473$; $p=0,055$) между содержанием йода в почвах субъектов Центрального федерального округа и болезнями щитовидной железы. Для взрослого населения выявлена прямая связь между загрязнением почв радиоизотопами и заболеваемостью раком щитовидной железы ($R=0,711$; $p=0,001$). При этом для детей (0–17 лет) выявлена обратная корреляция ($R=-0,375$; $p=0,138$) между йодным статусом почв и заболеваемостью раком щитовидной железы. Поскольку содержание селена в почвах Центрального федерального округа находится в пределах нормы, связи между заболеваемостью и концентрацией микроэлемента в почве не выявлено ($R=-0,091$; $p=0,729$).

Заключение. Сопоставление геохимических и медицинских данных в условиях пространственной неоднородности рисков последствий Чернобыльского радиоактивного заражения почвы и природного дефицита подтвердило наличие связи между дефицитом йода в окружающей среде и состоянием здоровья. Существует необходимость информирования

населения Центрального федерального округа и руководителей региональных органов исполнительной власти о негативных последствиях дефицита микроэлементов.

Ключевые слова: йод; селен; заболевания щитовидной железы; анализ пространственной неоднородности.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Стародубов В.И., Баранчуков В.С., Варавикова Е.А., Березкин В.Ю., Колмыкова Л.И., Данилова В.Н., Ступак В.С., Енина Е.Н., Журавлева Ю.С. Сопоставимость оценки дефицита йода и селена в почвенном покрове и заболеваемости болезнями щитовидной железы населения Центрального федерального округа // Экология человека. 2025. Т. 32, № 5. С. XX-XX. DOI: 10.17816/humeco642094 EDN: AYFQSN

Рукопись поступила: 20.11.2024

Рукопись одобрена: 24.06.2025

Опубликована online: 18.07.2025

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International License

© Эко-Вектор, 2025

The Results of the Assessment of iodine & Selenium Deficiency in the Soil Cover and Thyroid Disease Incidence in the Population of the Central Federal District of the Russian Federation

Vladimir I. Starodubov¹, Vladimir S. Baranchukov², Elena A. Varavikova¹, Viktor Yu. Berezkin², Liudmila I. Kolmykova², Valentina N. Danilova², Valery S. Stupak¹, Ekaterina N. Enina¹, Yulia S. Zhuravleva¹

¹ Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia;

² Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Over the past few decades, the incidence of thyroid diseases has increased worldwide. After the Chernobyl accident in the Central Federal District, a unique ecological and geochemical situation developed and still exists, in which the thyroid gland is negatively affected by both natural (micronutrient deficiency, mainly iodine and selenium) and anthropogenic (radioisotope contamination) factors. The studies made it possible to verify the existence of a link between iodine deficiency in the soil of the Central Federal District and the incidence of thyroid diseases, including oncological ones. The results of the study provide reliable information for prevention and diagnostic awareness in the health care system of the regions, as well as allowing the creation of relevant content for the population. The methods used can be applied to other levels of scale.

AIM: The aim of the study is to analyze the regional patterns of thyroid disease incidence in the population of the Central Federal District in relation to the trace element status of the territory.

METHODS: For the analysis of population health in the Central Federal District and its regions, we used population data, depersonalized data on the number of patients with first-diagnosed thyroid diseases for 2013–2017 and on the incidence morbidity of thyroid malignant neoplasms for the period 1995–2023.

The Unified State Register of Soil Resources was used to build a model of the distribution of trace element concentrations in the region's soil cover. The average concentration of micronutrients was assigned to each 'soil type – soil-forming rock' pair. The validity of the estimation of trace element concentrations was confirmed by field studies. Maps of iodine and selenium soil status in the study area were produced.

Spearman's rank correlation of morbidity indicators and cartographic assessments was carried out using rank regression analysis methods.

RESULTS: The analysis of the chemical composition of soil samples collected in 2007–2023 in certain regions of the Central Federal District has confirmed the accuracy of the cartographic model of the spatial heterogeneity of trace element contents in soil.

Significant inverse rank correlations ($R=-0.473$; $p=0.055$) were found between iodine content in soils of Central Federal District regions and thyroid morbidity. For the adult population, a positive correlation was found between soil contamination with radioisotopes and the incidence of thyroid cancer ($R=0.711$; $p=0.001$). At the same time, for children (0–17 years), there was an inverse correlation ($R=-0.375$; $p=0.138$) between soil iodine supply and thyroid cancer morbidity. As the Se content in the soils of the Central Federal District is in the normal range, no correlation between morbidity and the concentration of the trace element in the soil was found ($R=-0.091$; $p=0.729$).

CONCLUSION: The comparison of geochemical and medical data in the presence of spatial heterogeneity of Chernobyl radioactive soil contamination and natural micronutrient deficiency risks confirmed the existence of a correlation between environmental iodine deficiency and health status. There is a need to inform the population of the Central Federal District and public health managers about the negative consequences of iodine deficiency in the regions.

Keywords: iodine; selenium; thyroid diseases; spatial analysis.

TO CITE THIS ARTICLE:

Starodubov VI, Baranchukov VS, Varavikova EA, Berezkin VYu, Kolmykova LI, Danilova VN, Stupak VS, Enina EN, Zhuravleva YuS. The results of the assessment of iodine & selenium deficiency in the soil cover and thyroid disease incidence in the population of the central federal district of the Russian Federation *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(5):XX-XX. DOI: 10.17816/humeco642094 EDN: AYFQSN

Received: 20.11.2024

Accepted: 24.06.2025

Published online: 18.07.2025

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License

© Eco-Vector, 2025

ОБОСНОВАНИЕ

Йодный баланс человека, выработка и секреция тиреоидных гормонов трийодтиронина (Т3) и тироксина (Т4) контролируются щитовидной железой [1]. На выработку гормонов щитовидной железы влияет доступность йода — микроэлемента, который неравномерно распределён на Земле и необходим для синтеза тиреоидных гормонов. Недостаток йода вызывает снижение уровня Т3 и Т4. Кроме того, появляется всё больше данных, связывающих дисфункцию щитовидной железы с депрессией и тревожными расстройствами, ожирением, метаболическим синдромом, заболеваниями почек и сердечно-сосудистыми заболеваниями [2].

Йод в организме участвует в различных биохимических реакциях. В частности, под его влиянием усиливаются окислительные процессы, а йодистые металлы инактивируют или тормозят активность многих ферментных систем. Дефицит йода представляет собой наиболее важный патогенетический фактор, который отвечает за возникновение эндемических заболеваний щитовидной железы [3, 4]. При длительном недостаточном поступлении микроэлемента в организм происходят срыв механизмов адаптации и возникновение йододефицитных заболеваний [5].

Многочисленными исследованиями подтверждена важность селена в поддержании гомеостаза различных жизненно важных процессов, включая иммуноэндокринную функцию [6]. Селен играет важную роль в функционировании щитовидной железы [7–13], предполагается, что эта связь осуществляется через особый фермент, называемый 5'-дейодиназой типа 1, который отвечает за преобразование гормонов щитовидной железы и содержит селен [14].

С 1990 г. число случаев рака щитовидной железы в мире выросло на 169% [15]. Внедрение новых технологий скрининга, таких как ультразвуковая эхография, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, а также рост доступности медицинской помощи в мире, позволяют медикам обнаруживать и регистрировать от небольших до значительных поражений щитовидной железы [16].

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. в Центральном федеральном округе (ЦФО) создалась уникальная эколого-геохимическая ситуация в результате выпадений радиоактивных изотопов на территории с разным, в том числе дефицитным, уровнем содержания микроэлементов в окружающей среде. Это способствовало распространению среди населения заболеваний щитовидной железы. Нормальное функционирование щитовидной железы требует поддержания определённого уровня поступления йода и селена с суточным рационом. Таким

образом, на этих территориях возникла уникальная ситуация сочетанного (природного и техногенного) воздействия на пострадавшее население. Такая ситуация требует постоянного мониторинга геохимических индикаторов риска и изучения их пространственного распределения.

Хотя основным источником поступления йода в почвы и растения является Мировой океан, уровень содержания и миграция йода во многом зависят от рельефа местности, агрофизических и агрохимических свойств почв, климата и гидрологического режима. Наименьшее количество йода в почвах России отмечается в подзолистых и серых лесных почвах лёгкого гранулометрического состава, а наибольшее — в солончаках [17].

Таким образом, оценка йодного статуса территории ЦФО представляется актуальной, поскольку недостаток йода в организме, обусловленный его дефицитом в нижних звеньях трофической цепи, приводит к возникновению эндемических заболеваний.

Заболевания щитовидной железы могут быть обусловлены не только дефицитом йода, но и проявляться при содержании йода, близком к норме, на фоне дисбаланса других эссенциальных элементов, таких как селен, медь, кобальт. В частности, в мире дефицит селена выявлен у 1 млрд человек [18]. В России 90% населения потребляют с продуктами питания недостаточное количество селена [19]. Помимо заболеваний щитовидной железы, установлено, что дефицит селена в пищевых цепях способствует возникновению порядка 40 разных заболеваний.

Хотя среднее содержание селена в почвах Российской Федерации составляет 300 мг/кг, многие районы страны являются селенодефицитными. Обеспеченность почв валовыми формами селена варьирует в очень широких пределах — от 50 мкг/кг в дерново-подзолистых и серых лесных почвах Нечерноземья до 1100 мкг/кг в почвах аридных территорий [20]. При этом контрастное содержание как селена, так и йода может наблюдаться в почвах разных типов в пределах одной области и даже района. Так, было показано, что в Брянской области серая лесная суглинистая почва на лёссовидных суглинках содержит в верхнем 20-сантиметровом слое в два раза больше йода и почти в четыре раза больше селена, чем дерново-подзолистая супесчаная на двучленных отложениях в том же слое [21].

Цель исследования. Анализ региональных особенностей заболеваемости болезнями щитовидной железы у населения ЦФО в зависимости от микроэлементного статуса территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ЦФО занимает центральную часть Восточно-Европейской равнины. Площадь округа составляет 650 205 км², что превосходит любое из европейских государств. В округ входят 18 субъектов: 17 областей (Белгородская, Брянская, Владимирская, Воронежская, Ивановская, Калужская, Костромская, Курская, Липецкая, Московская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская, Ярославская) и город федерального значения Москва¹. ЦФО значительно превосходит другие федеральные округа страны по численности населения (26,9% населения России) с плотностью населения — 57,7 чел./км². Сельское хозяйство специализируется на выращивании зерновых, овощных, масличных культур, молочно-мясном животноводстве и характеризуется развитой рыночной инфраструктурой.

Поскольку город федерального значения Москва как крупнейший мегаполис Европы практически не потребляет продукты питания, производимые из выращенной на местных сельскохозяйственных угодьях плодоовощной и мясомолочной продукции, а также из-за значимых различий в уровне жизни населения и доступности медицинских услуг, в сравнении с областями ЦФО, она была исключена из сопоставительного анализа. Пространственная неоднородность распределения эндемических заболеваний в урбанизированных районах (включая Московскую агломерацию) требует дополнительной оценки.

Для анализа популяционного здоровья населения регионов ЦФО использовали деперсонифицированные сведения о количестве пациентов с впервые диагностированными заболеваниями щитовидной железы за 2013–2017 гг., взятые из опубликованных на официальном сайте Минздрава России сборников статистических материалов «Заболеваемость всего населения России» (табл. 1). В таблице представлены показатели впервые выявленной заболеваемости населения субъектов ЦФО болезнями щитовидной железы на 100 000 всего населения за 2013–2014 гг. [22], за 2015 г. [23], за 2016–2017 гг. [24].

Данные о первичной заболеваемости злокачественными новообразованиями щитовидной железы получены на основе агрегированной формы популяционного регистра онкологических больных в Российской Федерации [25] и показателя заболеваемости населения злокачественными новообразованиями щитовидной железы (на 100 000 населения) на

¹ Регионы ЦФО. Режим доступа: <http://cfo.gov.ru/spisokregionov> Дата обращения: 22.10.2024.

основании данных формы федерального статистического наблюдения № 7 «Сведения о злокачественных новообразованиях» по всему содержащемуся временному ряду: за 1995–2023 гг., с разбивкой по возрастам за 2003–2023 гг. по каждому из субъектов ЦФО (табл. 2).

В основе метода построения карт экологического риска заболеваний лежит установление пространственной неоднородности заболеваний и факторов, её вызывающих, путём анализа благоприятности геохимических условий. В качестве индикаторов таких условий использовали валовые концентрации микроэлементов (йода и селена), как потенциальный максимум содержания, доступный растениям. В рассматриваемом случае дефицита такая оценка представляет собой верхний (то есть наиболее благоприятный) предел [26].

Для построения пространственной модели неоднородности геохимических факторов, связанных с заболеваемостью населения, использовали алгоритм построения карт природной геохимической неоднородности территорий на базе электронных почвенных карт с последующей оценкой и алгоритм построения карт эколого-геохимического риска, первым этапом которого является картографирование природной геохимической неоднородности территорий на базе электронных почвенных карт.

Картографической основой, используемой для построения оценочных карт распределения микроэлементов в почвенном покрове региона, послужил Единый государственный реестр почвенных ресурсов России с картографической основой масштаба 1:2 500 000 [27]. В качестве исходных данных по концентрации йода в почвах использовали данные Е.М. Коробовой [28] и Н.А. Протасовой, А.П. Щербакова [29], селена — А.Н. Аристархова и соавт. [19]. Каждой качественной классификационной паре картографических единиц «тип почвы–почвообразующая порода» присвоены количественные атрибуты средних концентраций. В табл. 3 приведены типы почв (с условными обозначениями), складывающих почвенный покров ЦФО, их почвообразующие породы, а также оценка содержания йода и селена для каждого типа почв и почвообразующей породы в мг/кг воздушно-сухой массы (в.с.м.).

Для анализа корректности оценок использовали данные полевых исследований, проводимых в ГЕОХИ РАН с 2007 г. по настоящее время на территории областей, наиболее пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС: Брянской, Орловской и Калужской [30]. На предварительно выбранных участках пастбищ вблизи сельских населённых пунктов отбирали образцы почв ручным буром из верхнего слоя мощностью 20 см. Определение йода и селена выполняли в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН. Валовые формы йода определяли ускоренным кинетическим роданидно-нитритным методом [31] на фотометре КФК-3-01-«ЗОМЗ» (ЗОМЗ, Россия) из свежих образцов почв. Чувствительность метода — 1–4 нг/мл, воспроизводимость — 2–7%. Все результаты измерений йода для сопоставимости пересчитали на воздушно-сухую навеску. Общую и гигроскопическую влагу определяли стандартными методами [32], определение селена — спектрофлуориметрическим методом в воздушно-сухих образцах² на спектрофлуориметре MPFS-2A (Hitachi, Япония). Чувствительность метода — 1 нг/мл, воспроизводимость — 7%.

Средняя концентрация микроэлементов в почвенном покрове более крупного выдела — субъекта федерации как территории, для которой доступна медицинская информация, была оценена после присвоения соответствующих атрибутов по формуле (1) [33]:

$$C_{reg} = \sum_{i=1}^n C_i A_i,$$

где C_{reg} — средняя концентрация микроэлемента в почве региона; C_i — средняя концентрация микроэлемента, характерная для типа почвы, сформированной на данной почвообразующей породе; A_i — доля площади полигона в площади региона; n — число полигонов почвенной карты на территории области, i — номер полигона.

Анализ проводили в геоинформационной системе ArcGIS 10.8.1 (ESRI, США).

Радиационное загрязнение исследуемой территории вследствие аварии на Чернобыльской АЭС анализировали по данным о распределении количества населённых пунктов по уровню загрязнения ¹³⁷Cs (по состоянию на январь 2024 г.) на основе ежегодно публикуемых данных НПО «Тайфун», которое с 1986 г. проводит уточнение радиационной обстановки на территориях областей России, загрязнённых техногенными радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Обследования включают измерения мощности дозы гамма-

² МУК 4.1.033-95. 4.1. Методы контроля. Химические факторы. Определение селена в продуктах питания. Методические указания (утв. Госкомсанэпиднадзором России 24.07.1995). Режим доступа: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/metodicheskie-ukazaniya/5/muk_4_1_033-95_4_1_metody_kontrolya_khimicheskie_factory.html Дата обращения: 22.10.2024.

излучения на территориях населённых пунктов [34]. Следует отметить возможность пересчёта измерительных данных о загрязнении почвы ^{137}Cs в данные о загрязнении территории ^{131}I [35]. Статистическую обработку результатов проводили в программных комплексах Microsoft Excel (Microsoft, США) и TIBCO STATISTICA 13.3 (TIBCO, США). Оценки обеспеченности почв йодом и селеном и показатели заболеваемости по регионам имели распределение, отличное от нормального (рис. 1), а также небольшую выборку ($n=17$), поэтому для интерпретации возможных взаимосвязей между геохимическими и медицинскими данными использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сопоставление картографических оценок обеспеченности различных типов почв изучаемыми микроэлементами и данных химического анализа образцов показало хорошую сходимость: по йоду в 16 парах «почва–порода» ($n=136$) $R=0,92$ ($p < 0,01$), по селену в 6 парах «почва–порода» ($n=44$) $R=0,80$ ($p=0,05$; рис. 2).

Картографическое представление йодного и селенового статуса почвенного покрова ЦФО, полученное на основе данных по варьированию среднего содержания йода и селена в почвах разного типа, показано на рис. 3.

При оценке валового содержания йода в почвах России используют следующие градации: $<5,0$ мг/кг в.с.м. — недостаточное содержание; $5,1-40,0$ мг/кг в.с.м. — нормальное; $>40,0$ мг/кг в.с.м. — избыточное [36, 37]. Анализ полученного распределения йода в почвах (см. рис. 3) позволил выделить три группы регионов с различным уровнем обеспеченности йодом [38]: 1) дефицит по содержанию йода (менее $4,0$ мг/кг в.с.м.) характерен для Московской (1,91), Тверской (1,85), Брянской (1,69), Смоленской (1,72), Владимирской (1,68), Ярославской (1,55), Ивановской (1,51), Костромской (1,75) и Калужской (1,49) областей; 2) содержание йода от слабого дефицита до нормы (в пределах $4,1-4,8$ мг/кг в.с.м.) — для Воронежской (4,88), Тамбовской (4,79), Липецкой (4,75), Белгородской (4,71) и Курской (4,17) областей; 3) контрастные по содержанию йода регионы, в которых встречаются сопоставимые по площади почвы с обеспеченностью йодом от слабого дефицита ($3,0-4,0$ мг/кг в.с.м.) до нормы: а) Рязанская область ($3,00$ мг/кг в.с.м.), где подзолы и серые лесные почвы на северо-западе сочетаются с чернозёмами на юге и торфяными болотными в Мещёрской низменности на северо-востоке; б) Тульская (3,66) и Орловская (3,77) области (сочетание дерново-подзолистых, серых лесных почв и чернозёмов).

Оценка распределения селена в почвах позволила выделить в ЦФО области с относительно низким ($0,30-0,40$ мг/кг в.с.м.) содержанием микроэлемента: Тамбовская (0,33), Рязанская (0,34), Липецкая (0,35), Ярославская (0,35), Белгородская (0,36), Ивановская (0,37), Калужская (0,38), Тульская (0,38), Брянская (0,39) и Владимирская (0,39) и относительно высоким ($0,41-0,59$ мг/кг в.с.м.) — Костромская (0,41), Тверская (0,42), Орловская (0,44), Московская (0,44), Воронежская (0,45), Курская (0,50) и Смоленская (0,59). При этом во всех регионах содержание селена в почвах находится в пределах биогеохимической нормы ($0,20-0,70$ мг/кг в.с.м.) [39]. Следует отметить, что, в отличие от йода, для содержания селена в почве установлены только пределы геохимической нормы, но отсутствуют общепринятые градации дефицита или избытка. Сводные результаты представлены в табл. 4.

Сопоставление геохимических параметров с показателями заболеваемости щитовидной железы (коды МКБ-10 E00-E07) в 2013–2017 гг. показало значимую (на уровне $p=0,055$) обратную ($R=-0,473$) связь со средневзвешенным содержанием йода в почве региона (табл. 5).

Следует отметить, что значимых связей с концентрацией селена в почве не выявлено ($R=-0,039$; $p=0,881$), как и связей заболеваемости с радиационным загрязнением территории ($R=0,257$; $p=0,319$).

Сопоставление заболеваемости раком щитовидной железы (код МКБ-10 C73) с концентрацией микроэлементов и радиоактивным загрязнением показало наличие значимой ($p=0,001$) прямой ($R=0,725$) связи между заболеваемостью и техногенным загрязнением за весь период с 1995 г. по настоящее время, а также по 10-летним периодам (табл. 6). Значимых связей показателей онкозаболеваемости щитовидной железы по всем возрастным группам с концентрацией йода ($R=0,189$; $p=0,468$) и селена ($R=0,010$; $p=0,970$) не выявлено.

Анализ возрастных групп показал дифференцированную картину для взрослых (старше 18 лет, заболеваемость за исследуемый период 8,91 на 100 000 в год) и детей (до 18 лет, заболеваемость за исследуемый период 0,45 на 100 000 в год). Так, для взрослого населения отмечена значимая ($R=0,711$; $p=0,001$) связь уровня радиационного загрязнения территории и заболеваемости (табл. 7).

Для детей также характерно наличие значимой связи между заболеваемостью раком щитовидной железы и радиационным загрязнением территории ($R=0,748$; $p=0,001$), однако показано и наличие (на грани значимости $p=0,138$) обратной ($R=-0,375$) связи заболеваемости с уровнем природного йододефицита, особенно в 2003–2013 гг. (табл. 8). Значимой связи между показателем онкозаболеваемости и средневзвешенной концентрацией селена в почвах региона также не выявлено ($R=-0,091$; $p=0,729$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставление картографических оценок показало хорошую сходимость с фактическим материалом, отображенным в Брянской, Орловской и Калужской областях. Обнаруженное в результате исследования пониженное содержание микроэлементов в изученных типах почв (чернозёмах, серых лесных, дерново-подзолистых, аллювиальных) в сравнении с их картографическими оценками может быть связано с высокой степенью сельскохозяйственной эксплуатации исследованных почв, в основном выпасом крупного рогатого скота. Потери йода верхними горизонтами вследствие изменения таких почвенных параметров, как содержание органического вещества, гранулометрический состав, реакция почвенного раствора, в том числе в результате сельскохозяйственного воздействия, были показаны ранее [17, 19].

По литературным данным, для большей части почв сельскохозяйственного назначения ЦФО наблюдаются низкие значения йода: даже в чернозёмах обыкновенных Воронежской области валовое содержание йода в верхнем горизонте колеблется от 4,8 до 5,0 мг/кг в.с.м., а для заповедных территорий региона — 4,1–6,5 мг/кг в.с.м. [40]. Для дерново-подзолистых и подзолистых почв Европейской части Российской Федерации среднее содержание йода не превышает 2,5 мг/кг в.с.м. [21], что не противоречит полученным в ходе данного исследования результатам.

Полевые и лабораторные исследования в сочетании с картографическим анализом почвенной карты показали, что распределение йода в почвах сельскохозяйственных угодий ЦФО в целом подчиняется закону географической зональности. Содержание йода в почвенном покрове Восточно-Европейской равнины в верхних горизонтах почв возрастает с северо-запада на юго-восток, что не противоречит ранее полученным данным [41]. Как показало наше исследование, причины неравномерного распределения селена в этих почвах, безусловно, заслуживают дальнейшего изучения, но малозначимы с точки зрения развития раков щитовидной железы.

Выявленный дефицит йода в субъектах ЦФО подтверждает ранее выполненные оценки статуса: население ЦФО в Нечерноземной зоне менее обеспечено йодом и селеном, которые содержатся в основных продуктах питания, производимых из выращенной на местных сельскохозяйственных угодьях плодовоовощной и мясомолочной продукции, чем население степных чернозёмных районов [17].

Следует отметить, что на федеральном уровне в России исследования содержания йода в организме человека не проводились [42, 43]. Для большей части населения страны, за исключением проживающих в высокоуровневых регионах (Москва, Санкт-Петербург, Тюменская область), ренальная экскреция йода оценивается на уровне менее 100 мкг/л [43], что соответствует дефициту [44] по шкале Всемирной организации здравоохранения (нормой считается 100–200 мкг/л). В отдельных регионах ЦФО фиксируется дефицит йода в организме человека: в Брянской области «по результатам обследования 337 детей <...> доля проб мочи со сниженной концентрацией йода составила 50,1%» [45], в Тверской области медиана йодурии — 62 мкг/л [46]. Оба региона по средневзвешенной оценке концентрации йода в почве отнесены к дефицитным. Однако отсутствие данных по другим регионам ЦФО либо на общероссийском уровне не позволяет однозначно сопоставить содержание йода в почве и в организме человека по исследованным регионам.

Полученные в работе данные по уровням содержания селена в почвах ЦФО позволяют отнести территорию к биогеохимической норме [39] по данному показателю, что подтверждают исследования по оценке обеспеченности селеном растений и почв на территории России [47]. Однако, поскольку переход селена в растения (и далее по пищевой цепи в организм человека) зависит не только от обеспеченности почв подвижной формой элемента, но и от биологических особенностей растений [20], представленные оценки селенового статуса регионов могут быть улучшены путём замены валовых концентраций селена на содержание в почве подвижных форм (усваиваемых растениями).

При переходе селена в организм человека выраженная пространственная неоднородность сохраняется. Для регионов ЦФО уровень селена сыворотки крови человека варьирует: Владимирская область — 101,3±2,3 мкг/л, Костромская — 79,6±6,4 мкг/л, Калужская — 105,0±9,1 мкг/л, Московская — 115,0±33,0 мкг/л [48], при этом нарушением метаболизма селена

считают концентрации, отклоняющиеся от значений 60–230 мкг/л [49], что также может косвенно указывать на уровень селена в почве, близкий к норме, однако данное предположение также требует дополнительных исследований на уровне всех субъектов федерального округа.

Результаты исследования пространственной неоднородности содержания элементов на территориях, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, согласуются с данными, полученными нами ранее (2007–2023 гг.) для отдельных регионов ЦФО: для Брянской области было установлено, что заболеваемость раком щитовидной железы в сельских поселениях отрицательно коррелирует с уровнем потребления йода и положительно — с пространственной оценкой радиоактивного загрязнения [33]. Для этого же региона была выявлена уязвимость детского населения (8–12 лет) к природному йододефициту [50]. В дальнейших исследованиях следует уделять больше внимания именно этой возрастной группе, поскольку именно для детей характерен отклик заболеваемости щитовидной железы на сочетание природных и техногенных факторов риска [51, 52].

Низкие значения коэффициентов корреляции, полученные для ряда зависимостей, следует отнести к многофакторности [52] риска возникновения исследуемых заболеваний. Кроме того, в исследовании проведён анализ заболеваемости по регионам без разделения на городское и сельское население, при том что для сельских населённых пунктов связь с природным дефицитом микроэлементов в окрестных почвах должна быть выше, чем для городских, поскольку существуют различия в структуре потребления продуктов питания в домашних хозяйствах и источниках их поступления [53].

Описанные взаимосвязи были обнаружены и в других регионах мира. В Китае [54] показана связь между состоянием почвы и почвообразующих пород и раком щитовидной железы, что указывает на возможность использования подхода, основанного на типе почвы, для оценки риска развития рака щитовидной железы. Аналогичная связь между средними концентрациями микроэлементов обнаружена и в других странах: в Беларуси самый низкий уровень йода у населения был обнаружен в Могилевской области [55] на бедных йодом почвах; в Испании наиболее высокие значения ренальной экскреции йода у населения [56] характерны для Астурии и Страны Басков, характеризующихся высокими концентрациями микроэлемента в почве [57]; низкое содержание йода в почвах провинции Асир в Саудовской Аравии связывают с более высокой заболеваемостью эндемическим зобом [58].

Следует отметить, что именно сочетание множества факторов приводит к значительной разнице в заболеваемости городского и сельского населения, включая более высокую обеспеченность и доступность медицинских и диагностических услуг, бóльшую долю привозных продуктов (выращенных не на почве региона) в рационе питания в связи с урбанизацией региона и более комфортными условиями жизни. Пространственное распределение изученных заболеваний в густонаселённых урбанизированных районах (таких как Московская агломерация, крупнейшая в Европе) требует дальнейшей оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель распределения концентраций микроэлементов в почвенном покрове региона наглядно продемонстрировала пространственную неоднородность распределения йода и селена в почвенном покрове ЦФО на региональном и муниципальном уровнях.

Полученные модельные оценки сопоставимы с результатами полевых исследований, что указывает на возможность использования разработанной картографической модели для разноразмерной оценки риска.

Подтверждена значимая обратная корреляция между содержанием йода в почве и онкологической заболеваемостью щитовидной железы в регионах ЦФО.

Уровень селена в почве всех исследованных регионов находится в пределах нормы, поэтому значимой связи между его содержанием в почве и заболеваемостью населения не обнаружено.

Показана значимая прямая корреляция между уровнем техногенного загрязнения почвы радионуклидами ^{137}Cs и заболеваемостью населения ЦФО раком щитовидной железы.

Таким образом, обеспеченность йодом, наряду с радиационным загрязнением территории, является фактором риска заболеваемости щитовидной железы, в том числе онкологической.

Населению, входящему в группу риска по заболеваемости раком щитовидной железы в ЦФО, необходимо знать о негативных последствиях дефицита микроэлементов. Полученные нами результаты показали, что пространственная неоднородность геохимических факторов и заболеваемости щитовидной железы заслуживает более детального изучения.

Результаты исследования могут быть использованы для развития системы информирования жителей о природных и техногенных рисках, сопряжённых с болезнями щитовидной железы, при разработке методов оценки рисков для всех территориальных образований, а также для

разработки программ профилактики заболеваний щитовидной железы, включая злокачественные новообразования, на популяционном и региональном уровнях и для формирования индивидуальных программ профилактики патологий щитовидной железы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.И. Стародубов — научное руководство, организация сбора и анализа медицинской и демографической информации; В.С. Баранчуков — подготовка и написание текста статьи, пространственный анализ данных, отбор проб фактического материала; Е.А. Варавикова — подготовка и написание текста статьи, сбор и анализ медицинских статистических данных; В.Ю. Березкин — отбор проб фактического материала, прободготовка, химический анализ проб, анализ геохимических данных; Л.И. Колмыкова — отбор проб фактического материала, химический анализ проб, анализ геохимических данных; В.Н. Данилова — химический анализ проб; В.С. Ступак — научно-методическое руководство, организация сбора и анализа медицинской информации; Е.Н. Енина — сбор и анализ медицинских статистических данных; Ю.С. Журавлева — сбор и анализ медицинских статистических данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Данный вид исследования не требует прохождения экспертизы локальным этическим комитетом.

Источники финансирования. Геохимические исследования выполнены в рамках государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук. Анализ медико-демографических данных выполнен по государственному заданию ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.I. Starodubov: scientific supervision, organization of collection and analysis of medical and demographic data; V.S. Baranchukov: preparation and writing of the text of the article, spatial analysis of data, sampling; E.A. Varavikova: preparation and writing of the text of the article, collection and analysis of medical statistics; V.Yu. Berezkin: sampling, sample preparation, chemical analysis of samples, analysis of geochemical data; L.I. Kolmykova: sampling, chemical analysis of samples, analysis of geochemical data; V.N. Danilova: chemical analysis of samples; V.S. Stupak: scientific and methodological supervision, organization of collection and analysis of medical and demographic information; E.N. Enina: collection and analysis of medical and demographic data; Yu.S. Zhuravleva: collection and analysis of medical and demographic data. All authors confirm that their authorship meets the ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The research does not require approval by an ethics committee.

Funding sources: Geochemical research was carried out within the state assignment of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Analysis of medical and demographic data was carried out within the state assignment of the Russian Research Institute of Health of the Ministry of Health of the Russian Federation.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Mason R, Wilkinson JS. The thyroid gland — a review. *Aust Vet J.* 1973;49(1):44–49. doi: 10.1111/j.1751-0813.1973.tb14680.x
2. The untapped potential of the thyroid axis. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2013;1(3):163. doi: 10.1016/S2213-8587(13)70166-9
3. Vinogradov VP. Iodine in nature. *Priroda.* 1927;(9):670–678. (In Russ.)
4. Kovalsky VV. Chemical environment, health, diseases. In: Lebedev AD, editor. *Theory and methodology of geographical research of human ecology.* Moscow; 1974. P. 95–111. (In Russ). URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_3369968
5. Gerasimov GA, Figge D. The Chernobyl: twenty years after. *Clinical and experimental thyroidology.* 2006;2(2):5–14. doi: 10.14341/ket2006225-14 EDN: PCMBLN
6. Fairweather-Tait SJ, Bao Y, Broadley MR, et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid Redox Signal.* 2011;14(7):1337–1383. doi: 10.1089/ars.2010.3275
7. Arthur JR, Beckett GJ. Newer aspects of micronutrients in at risk groups: New metabolic roles for selenium. *Proceedings of the Nutrition Society.* 1994;53(3):615–624. doi: 10.1079/PNS19940070
8. Gropper SA, Anderson K, Landing WM, Acosta PB. Dietary selenium intakes and plasma selenium concentrations of formula-fed and cow's milk-fed infants. *J Am Diet Assoc.* 1990;90(11):1547–1550.
9. Ermakov VV. Biogeochemistry of selenium and its role in prevention of human endemic diseases. *Vestnik Otdelenia nauk o Zemle RAN.* 2004;(1):1–17. (In Russ.)
10. Cholodova EA, Kolomiezh ND, Mochort EG. Selenium deficiency and thyroid function in adolescents. *Clinical and experimental thyroidology.* 2006;2(2):43–47. doi: 10.14341/ket20062243-47 EDN: PCMBNV
11. Shabalina EA, Morgunova TB, Orlova SV, Fadeyev VV. Selenium and thyroid gland. *Clinical and experimental thyroidology.* 2011;7(2):7–18. doi: 10.14341/ket2011727-18 EDN: QZPSIH
12. Gromova OA, Troshin IYu, Kosheleva NG. Molecular iodine synergists: new approaches to effective prevention and therapy of iodine-deficiency diseases in pregnant women. *Russian Journal of Woman and Child Health.* 2011;19(1):51–58. (In Russ.) EDN: PGOGLJ
13. Khohlova EA. Selenium and thyroid: the point of view. *Novaya apteka (New pharmacy).* 2013;(6):82–83. (In Russ.)
14. Behne D, Kyriakopoulos A, Meinhold H, Köhrle J. Identification of type I iodothyronine 5'-deiodinase as a selenoenzyme. *Biochem Biophys Res Commun.* 1990;173(3):1143–1149. doi: 10.1016/s0006-291x(05)80905-2
15. Deng Y, Li H, Wang M, et al. Global burden of thyroid cancer from 1990 to 2017. *JAMA Network Open.* 2020;3(6):e208759. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.8759
16. Vaccarella S, Franceschi S, Bray F, et al. Worldwide thyroid-cancer epidemic? The increasing impact of overdiagnosis. *N Engl J Med.* 2016;375(7):614–617. doi: 10.1056/NEJMp1604412
17. Kashin VK. *Biogeochemistry, phytophysiology and agrochemistry of iodine.* Leningrad: Nauka; 1987. 260 p. (In Russ.) EDN: VURCBX
18. Golubkina NA, Kekina EG, Nadezhkin SM. Prospects of agricultural plants biofortification with iodine and selenium (review). *Trace Elements in Medicine.* 2015;16(3):12–19. doi: 10.19112/2413-6174-2015-16-3-12-19 EDN: UZNFCJ
19. Aristarkhov AN, Busygin AS, Yakovleva TA. Ecological and agrochemical assessment of selenium content in soils and plants of the North-Eastern Non-Chernozem region. *Agrohimia.* 2018;(11):67–77. doi: 10.1134/S0002188118090041 EDN: MESURP
20. Ermakov VV. Selenium migration in biogeochemical food chains of Russian landscapes. *The Problems of biogeochemistry and geochemical ecology.* 2008;(2):3–10. (In Russ.)

21. Berezkin VYu, Korobova EM, Danilova VN. Iodine and selenium in soils of the Bryansk Region (case study of the Titovka river basin). *Lomonosov Geography Journal*. 2023;(1):3–15. doi: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.1 EDN: IIVSCI
22. Aleksandrova GA, Polikarpov AV, Ogryzko EV, et al. *Morbidity of the total population of Russia in 2014. Statistical materials*. Part I. Moscow; 2015. 138 p. (In Russ.) URL: <https://minzdrav.gov.ru/documents/9479>
23. Aleksandrova GA, Polikarpov AV, Golubev NA, et al. *Morbidity of the total population of Russia in 2015. Statistical materials*. Part I. Moscow; 2016. 139 p. (In Russ.) URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/22/stranitsa-979/statisticheskie-i-informatsionnye-materialy/statisticheskiy-sbornik-2015-god>
24. Aleksandrova GA, Polikarpov AV, Golubev NA, et al. *Morbidity of the total population of Russia in 2016. Statistical materials*. Part I. Moscow; 2017. 140 p. (In Russ.) URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/22/stranitsa-979/statisticheskie-i-informatsionnye-materialy/statisticheskiy-sbornik-2016-god>
25. Kaprin AD, Starinsky VV, Gretsova OP, et al. Population-based registry of cancer patients in the Russian Federation. *Public Health Panorama*. 2019;5(1):99–102.
26. Korobova EM, Baranchukov VS, Bech JA. Cartographic evaluation of the risk of natural elements' deficiency in the soil cover provoking spatial variation of the endemic morbidity level (on example of thyroid morbidity among population of the Central Federal District, Russia). *Environmental Geochemistry and Health*. 2024;46(3):109. doi: 10.1007/s10653-024-01912-9 EDN: OKSAJG
27. Alyabina IO, Androkanov VA, Vershinin VV, et al. *Unified state register of soil resources of Russia. Version 1.0*. Tula: Grif i K; 2014. 768 p. (In Russ.) EDN: TNAMEB
28. Korobova EM. *Copper, cobalt and iodine in the natural landscapes of the Non-Chernozem Russian Plain* [dissertation abstract]. Moscow; 1992. 23 p. (In Russ.) EDN: ZJJHMR
29. Protasova NA, Sherbakov AP. *Trace elements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) in chernozems and gray forest soils of the Central Chernozem region*. Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennii universitet; 2003. 367 p. (In Russ.) EDN: QKVWMX
30. Baranchukov V, Berezkin V, Kolmykova L. Dataset of iodine concentration in soils and grassland vegetation and radioactive contamination of pastures of the regions of the Russian Federation affected by the Chernobyl NPP accident. *Data in Brief*. 2024;55:110747. doi: 10.1016/j.dib.2024.110747 EDN: PUZLYV
31. Proskuryakova GF, Nikitina ON. Accelerated version of the kinetic rhodanide-nitrite method for determination of trace quantities of iodine in biological objects. *Agrochimia*. 1976;(7):140–143. (In Russ.)
32. Arinushkina EV. *Manual on chemical analysis of soils*. Moscow: MSU; 1970. 487 p. (In Russ.) URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_3393272/
33. Korobova EM, Baranchukov VS, Kurnosova IV, Silenok AV. Spatial geochemical differentiation of the iodine-induced health risk and distribution of thyroid cancer among urban and rural population of the Central Russian plain affected by the Chernobyl NPP accident. *Environmental Geochemistry and Health*. 2022;44(6):1875–1891. doi: 10.1007/s10653-021-01133-4 EDN: PCKTLY
34. Yahryushin VN. *Data on radioactive contamination of the territory of populated areas of the Russian Federation by cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240*. Obninsk: Taifun; 2024. 225 p. (In Russ.) URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/rzrf/ezheg_rzrf_2015.pdf
35. Zyonova I, Krajewski P, Berkovsky V, et al. Validation of ¹³¹I ecological transfer models and thyroid dose assessments using Chernobyl fallout data from the Plavsk district, Russia. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2010;101(1):8–15. doi: 10.1016/j.jenvrad.2009.08.005 EDN: MXIQAP
36. Konarbayeva GA, Smolyentsev BA. Spatial-genetic features of iodine distribution in soils of Western Siberia. *Agrochimia*. 2018;(7):85–96. doi: 10.1134/S0002188118070074 EDN: UWYHDX
37. Ploibat AR, Voloshin EI. Monitoring of iodine in the soil — plant system (review). *Bulletin of KSAU*. 2020;(10):101–108. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-101-108 EDN: PCASUF
38. Kovalsky VV, Andrianova GA. *Microelements in the soil of the USSR*. Moscow: Nauka; 1970. 179 p. (In Russ.) URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007401791>
39. Boyev VA. Selenium in the soils and agricultural plants in the south of the Tyumen region. *Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*. 2013(12):112–120. EDN: SEPHCD

40. Protasova NA, Gorbunova NS, Belyaev AB. biogeochemistry of microelements in common chernozem Voronezh region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy.* 2015;(4):100–106. EDN: VWNFDZ
41. Berezkin VYu, Baranchukov VS, Kolmykova LI, et al. Iodine in soils, pasture vegetation cuttings, and local food products of certain regions of Russia affected by the Chernobyl nuclear power plant accident. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety.* 2023;31(4):419–434. doi: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-419-434 EDN: QOBCFE
42. de Benoist B., editor. Iodine status worldwide: WHO Global Database on Iodine Deficiency. Geneva: World Health Organization; 2004. 49 p. ISBN: 92 4 159200 1
43. The iodine global network. Global scorecard of iodine nutrition in 2023 in the general population based on school-age children (SAC). Ottawa: IGN; 2023. 14 p. URL: https://ign.org/app/uploads/2024/01/Scorecard_2023_References_July-2023_Final.pdf
44. Urinary iodine concentrations for determining iodine status deficiency in populations. Vitamin and Mineral Nutrition Information System. Geneva: World Health Organization; 2013. 5 p. URL: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/85972/WHO_NMH_NHD_EPG_13.1_eng.pdf?sequence=1
45. Troshina EA, Makolina NP, Senyushkina ES, et al. Iodine deficiency disorders: current state of the problem in the Bryansk region. *Problems of Endocrinology.* 2021;67(4):84–93. doi: 10.14341/probl12793 EDN: FHDRJG
46. Melnichenko GA, Troshina EA, Platonova NM, et al. Iodine deficiency thyroid disease in the Russian Federation: the current state of the problem. Analytical review of publications and data of official state statistics (Rosstat). *Consilium Medicum.* 2019;21(4):14–20. doi: 10.26442/20751753.2019.4.190337 EDN: ZUPEUH
47. Ivanov SV, Guk MG, Sorokina LE, Hygienic evaluation of relative status in various regions of the Russian Federation. *Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh.* 2018;(11):4–8. EDN: XRHJSH
48. Golubkina NA, Sindireva AV, Zaitsev VF. Interregional variability of the human selenium status. *South of Russia: Ecology, Development.* 2017;12(1):107–127. doi: 10.18470/1992-1098-2017-1-107-127 EDN: YIELCF
49. Shantyr II, Yakovleva MV, Vlasenko MA, et al. Determination results of selenium concentration in bioassays of residents of the North-Western region. *Preventive And Clinical Medicine.* 2022;(2):31–36. doi: 10.47843/2074-9120_2022_2_31 EDN: BLDPCW
50. Kolmykova LI, Korobova EM, Baranchukov VS, et al. Chemical composition of groundwater used for drinking in conditions of natural deficiency of iodine and selenium and evaluation of its health effect: the case of Bryansk region (Russia). *Environmental Geochemistry and Health.* 2021;43(12):4987–5009. doi: 10.1007/s10653-021-01022-w EDN: WBLYGR
51. Cardis E, Kesminiene A, Ivanov V., et al. Risk of thyroid cancer after exposure to 131I in childhood. *J Natl Cancer Inst.* 2005;97(10):724–732. doi: 10.1093/jnci/dji129
52. Bogović Crnčić T. Risk factors for thyroid cancer: what do we know so far? *Acta Clinica Croatica.* 2020;59(Suppl 1):66–72. doi: 10.20471/acc.2020.59.s1.08
53. Laikam KE, editor. *Diet of the population.* Moscow: Statistika Rossii; 2016. 220 p. (In Russ.) EDN: XDLNHH
54. Fei X, Wu J, Liu Q, et al. Spatiotemporal analysis and risk assessment of thyroid cancer in Hangzhou, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.* 2016;30:2155–2168. doi: 10.1007/s00477-015-1123-4
55. Hatch M, Polyanskaya O, McConnell R, et al. Urinary iodine and goiter prevalence in belarus: experience of the Belarus–American cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases following the chornobyl nuclear accident. *Thyroid.* 2011;21(4):429–437. doi: 10.1089/thy.2010.0143
56. Salminen R., editor. *Geochemical atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and maps.* Helsinki: Geological Survey of Finland; 2005. 526 p. ISBN: 9516909213
57. López-Abente G, Aragonés N, Pérez-Gómez B, et al. Time trends in municipal distribution patterns of cancer mortality in Spain. *BMC Cancer.* 2014;14:535. doi: 10.1186/1471-2407-14-535
58. Abbag FI, Abu-Eshy SA, Mahfouz AA, et al. Iodine-deficiency disorders in the Aseer region, south-western Saudi Arabia: 20 years after the national survey and universal salt iodization. *Public Health Nutr.* 2015;18(14):2523–2529. doi: 10.1017/S1368980014003073

* Автор, ответственный за переписку	* Corresponding author
* Баранчук Владимир Сергеевич ; адрес: Россия, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19; ORCID: 0000-0003-1519-9983; eLibrary SPIN: 2266-2251; e-mail: baranchukov@geokhi.ru	* Vladimir S. Baranchukov ; address: 19 Kosygina st, Moscow, Russia, 119991; ORCID: 0000-0003-1519-9983; eLibrary SPIN: 2266-2251; e-mail: baranchukov@geokhi.ru
Стародубов Владимир Иванович , д-р мед. наук, профессор, академик РАН; ORCID: 0000-0002-3625-4278; eLibrary SPIN: 7223-9834; e-mail: starodubov@mednet.ru	Vladimir I. Starodubov , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0000-0002-3625-4278; eLibrary SPIN: 7223-9834; e-mail: starodubov@mednet.ru
Варавикова Елена Алексеевна , канд. мед. наук; ORCID: 0000-0003-3408-3417; eLibrary SPIN: 3026-3615; e-mail: dr.e.varavikova@mail.ru	Elena A. Varavikova , MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0003-3408-3417; eLibrary SPIN: 3026-3615; e-mail: dr.e.varavikova@mail.ru
Березкин Виктор Юрьевич , канд. геол.-минерал. наук; ORCID: 0000-0002-1025-638X; eLibrary SPIN: 7074-9488; e-mail: victor76@list.ru	Viktor Yu. Berezkin , Cand. Sci. (Geology and Mineralogy); ORCID: 0000-0002-1025-638X; eLibrary SPIN: 7074-9488; e-mail: victor76@list.ru
Колмыкова Людмила Игоревна , канд. геол.-минерал. наук; ORCID: 0000-0003-4070-9869; eLibrary SPIN: 2111-3310; e-mail: kmila9999@gmail.com	Liudmila I. Kolmykova , Cand. Sci. (Geology and Mineralogy); ORCID: 0000-0003-4070-9869; eLibrary SPIN: 2111-3310; e-mail: kmila9999@gmail.com
Данилова Валентина Николаевна ; ORCID: 0000-0003-3308-8443; eLibrary SPIN: 1778-9633; e-mail: val1910@mail.com	Valentina N. Danilova ; ORCID: 0000-0003-3308-8443; eLibrary SPIN: 1778-9633; e-mail: val1910@mail.com
Ступак Валерий Семенович , д-р мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-8722-1142; eLibrary SPIN: 3720-1479; e-mail: stupak@mednet.ru	Valery S. Stupak , MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor; ORCID: 0000-0002-8722-1142; eLibrary SPIN: 3720-1479; e-mail: stupak@mednet.ru
Енина Екатерина Николаевна ; ORCID: 0000-0002-9876-5102; eLibrary SPIN: 7531-4051; e-mail: eninaen@bk.ru	Ekaterina N. Enina ; ORCID: 0000-0002-9876-5102; eLibrary SPIN: 7531-4051; e-mail: eninaen@bk.ru
Журавлева Юлия Сергеевна ; ORCID: 0000-0002-2278-9415; eLibrary SPIN: 8322-3369; e-mail: zhuravlevays@mednet.ru	Yulia S. Zhuravleva ; ORCID: 0000-0002-2278-9415; eLibrary SPIN: 8322-3369; e-mail: zhuravlevays@mednet.ru

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Впервые выявленная заболеваемость населения Центрального федерального округа (ЦФО) болезнями щитовидной железы, на 100 000 всего населения в год

Table 1. Incidence morbidity of thyroid diseases in the CFD population per 100 000 per year

Субъект ЦФО	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Среднее
Белгородская область	289,4	284,7	234,6	249,3	214,4	254,48
Брянская область	840,3	779,6	750,4	729,3	646,6	749,24
Владимирская область	445,6	428,2	441,3	365,3	386,7	413,42
Воронежская область	196,0	223,0	283,1	244,1	241,0	237,44
Ивановская область	383,7	377,8	285,9	486,0	391,5	384,98
Калужская область	249,4	207,3	228,8	265,1	225,0	235,12

Костромская область	184,6	225,2	215,3	201,8	253,5	216,08
Курская область	180,3	206,4	216,7	185,7	197,7	197,36
Липецкая область	218,2	252,0	198,1	188,5	146,8	200,72
Московская область	174,0	201,4	233,5	226,9	209,4	209,04
Орловская область	470,0	475,5	677,2	632,5	623,7	575,78
Рязанская область	397,1	435,8	364,8	408,8	319,9	385,28
Смоленская область	222,4	220,9	237,4	256,3	232,8	233,96
Тамбовская область	205,5	202,7	145,3	190,2	170,1	182,76
Тверская область	257,9	262,4	317,2	252,1	277,4	273,40
Тульская область	159,7	177,7	204,8	243,9	263,2	209,86
Ярославская область	406,0	450,8	397,0	359,5	368,3	396,32

Таблица 2. Заболеваемость населения Центрального федерального округа злокачественными новообразованиями щитовидной железы, всего на 100 тыс. населения

Table 2. Incidence morbidity of thyroid cancer in the CFD population per 100 000 per year

Accepted for publication

Год	Белгородская обл.	Брянская обл.	Владимирская обл.	Воронежская обл.	Ивановская обл.	Калужская обл.	Костромская обл.	Курская обл.	Липецкая обл.	Московская обл.	Орловская обл.	Рязанская обл.	Смоленская обл.	Тамбовская обл.	Тверская обл.	Тульская обл.	Ярославская обл.
1995	6,91	8,75	1,71	3,64	2,84	2,10	3,74	2,68	3,20	2,32	11,61	5,64	2,83	4,11	4,44	7,22	3,37
1996	8,43	6,86	1,83	3,96	2,07	2,47	3,38	3,73	4,00	2,61	14,17	4,99	1,72	4,28	4,21	7,10	4,22
1997	5,34	8,94	3,25	6,71	3,13	3,39	2,39	4,04	4,00	2,53	13,89	5,02	2,33	5,62	4,29	5,03	3,34
1998	4,64	8,11	2,10	6,38	3,72	2,66	1,27	4,97	4,57	3,13	17,36	5,06	2,09	6,75	5,62	5,25	3,01
1999	5,56	13,29	2,42	5,72	5,06	4,99	1,79	3,19	3,70	3,35	9,56	7,04	2,11	5,01	5,17	4,85	5,00
2000	4,88	13,83	2,38	5,72	6,77	4,19	3,09	3,68	5,09	3,92	8,17	5,16	2,23	5,70	7,57	6,02	6,11
2001	4,07	14,11	1,64	6,35	5,68	6,20	2,86	6,19	3,41	4,53	5,86	6,10	2,62	5,77	8,25	5,64	6,32
2002	6,05	17,52	2,39	7,06	5,65	4,10	2,53	5,33	4,18	3,78	11,83	5,49	2,24	7,95	11,40	6,43	5,53
2003	5,95	18,71	3,17	5,25	4,40	6,87	3,97	4,09	3,40	4,05	7,73	5,43	2,02	6,00	11,55	5,97	5,38
2004	5,49	23,71	2,61	6,57	4,72	8,39	1,94	4,72	4,85	3,82	5,44	4,66	1,95	5,90	11,22	7,29	5,13
2005	6,68	21,29	3,18	6,20	5,24	6,19	1,54	5,79	4,81	4,10	5,97	3,79	3,06	4,31	10,31	7,20	5,93
2006	6,48	21,90	3,21	5,64	4,39	7,32	2,13	7,64	5,61	4,20	7,71	4,84	2,90	4,09	10,23	8,05	5,66
2007	7,58	21,25	5,09	8,17	4,80	10,92	4,00	6,77	6,57	4,82	8,25	4,54	2,73	5,04	10,54	8,71	6,15
2008	6,77	20,78	4,64	8,39	5,85	12,55	2,59	8,37	5,23	5,39	6,71	4,22	2,04	5,99	10,33	9,87	5,26
2009	6,80	22,04	4,50	7,34	6,45	9,22	3,37	6,55	6,41	4,98	6,34	4,74	2,44	5,83	9,29	9,24	6,10
2010	5,16	18,81	3,81	7,67	4,89	9,58	2,84	5,31	5,87	4,68	6,59	5,27	3,04	4,02	7,66	8,22	7,84
2011	5,08	23,24	5,15	6,94	5,03	12,75	4,38	8,28	8,03	4,92	7,66	6,69	3,57	5,62	6,98	8,51	6,22
2012	4,94	28,54	5,53	9,00	5,75	12,21	2,90	5,72	7,54	5,14	12,72	6,18	2,57	5,56	7,33	10,02	6,86
2013	5,57	31,45	7,10	9,47	4,74	8,93	2,32	6,08	5,57	5,00	10,36	6,11	3,21	4,38	7,15	8,31	8,21
2014	6,07	28,77	5,17	10,87	5,70	9,30	3,76	6,19	6,69	5,79	9,95	6,40	2,93	4,90	8,68	10,55	7,52
2015	6,19	29,02	6,18	12,06	5,74	6,48	3,78	6,90	6,77	6,89	11,04	5,18	2,94	6,72	8,41	9,51	10,61
2016	7,46	26,55	6,13	9,01	5,90	6,81	3,98	7,51	5,39	7,13	8,21	6,17	4,02	4,12	8,01	8,86	9,12
2017	8,11	24,32	7,89	10,07	5,88	7,44	4,03	7,71	6,94	6,41	10,29	5,21	4,69	5,60	8,23	10,56	8,76
2018	10,76	24,78	9,46	10,47	5,55	8,18	5,57	8,13	4,73	6,67	9,32	7,10	4,73	4,20	5,97	9,61	7,85
2019	9,73	23,47	9,30	6,55	5,63	7,98	5,82	9,44	6,37	7,06	12,68	5,35	3,47	6,23	6,97	10,58	7,02
2020	9,81	15,37	5,56	8,33	4,86	5,69	6,40	7,67	5,37	6,27	10,20	5,11	3,08	6,40	3,92	7,67	6,02

2021	10,64	19,37	8,81	7,79	5,58	9,77	7,37	8,20	5,85	7,17	11,32	6,88	5,60	6,90	7,78	7,12	7,75
2022	9,51	22,36	9,90	9,76	6,53	8,95	13,74	12,49	6,98	8,16	13,05	8,78	6,02	6,48	11,08	7,99	8,08
2023	8,58	26,20	11,24	11,64	6,34	14,66	23,08	16,59	8,97	9,25	13,99	8,08	6,87	6,21	10,82	6,89	9,54

Accepted for publication

Таблица 3. Оценка концентрации йода (мг/кг воздушно-сухой массы) и селена (мг/кг воздушно-сухой массы) в почвах и почвообразующих породах Центрального федерального округа

Table 3. Estimated iodine (I) and selenium (Se) content (mg/kg) in soils and soil-forming rocks of the CFD

Условное обозначение	Тип почвы	Почвообразующая порода	Йод	Селен
П2	Подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые	Глинистые и тяжелосуглинистые	0,50	0,21
		Среднесуглинистые	0,50	0,21
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,50	0,21
Пгт	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,31	0,18
		Среднесуглинистые	5,31	0,18
		Среднесуглинистые валунные и галечниковые	5,31	0,18
		Легкосуглинистые	5,31	0,18
		Легкосуглинистые валунные и галечниковые	5,31	0,18
		Супесчаные	5,31	0,18
		Песчаные	5,31	0,18
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	5,31	0,18
П1д	Дерново-подзолистые, преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые	Глинистые и тяжелосуглинистые	1,39	0,35
		Среднесуглинистые	1,39	0,35
		Среднесуглинистые валунные и галечниковые	1,39	0,35
		Легкосуглинистые	1,39	0,35
		Легкосуглинистые валунные и галечниковые	1,39	0,35
		Супесчаные	0,83	0,35
		Супесчаные валунные и галечниковые	0,83	0,35
		Песчаные	0,64	0,35
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,64	0,35
		Супесчаные на слоистых песчаных и супесчаных породах	0,83	0,35
		Легко- и среднесуглинистые, подстилаемые тяжелосуглинистыми и глинистыми породами	1,39	0,35
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин	1,39	0,35
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием песков и супесей	0,64	0,35
		П2д	Дерново-подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые	Глинистые и тяжелосуглинистые
Среднесуглинистые	1,39			0,35
Среднесуглинистые валунные и галечниковые	1,39			0,35
Легкосуглинистые	1,39			0,35
Легкосуглинистые валунные и галечниковые	1,39			0,35
Супесчаные	0,83			0,35
Супесчаные валунные и галечниковые	0,83			0,35
Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,83			0,35
Супесчаные на слоистых песчаных и супесчаных породах	0,83			0,35
Легко- и среднесуглинистые, подстилаемые тяжелосуглинистыми и глинистыми породами	1,39			0,35
Пд	Дерново-подзолистые (без разделения)	Среднесуглинистые	1,39	0,35
		Легкосуглинистые	1,39	0,35
		Супесчаные	0,83	0,35
		Легко- и среднесуглинистые, подстилаемые тяжелосуглинистыми и глинистыми породами	1,39	0,35
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин	1,39	0,35
Пдо	Дерново-подзолистые со вторым осветлённым горизонтом	Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,64	0,35
		Легко- и среднесуглинистые, подстилаемые тяжелосуглинистыми и глинистыми породами	1,39	0,35

Пдпг	Дерново-подзолистые поверхностно-глееватые, преимущественно глубокие и сверхглубокие	Глинистые и тяжелосуглинистые	0,79	0,26
		Среднесуглинистые	0,79	0,26
		Легкосуглинистые	0,79	0,26
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,79	0,26
		Супесчаные на слоистых песчаных и супесчаных породах	0,79	0,26
		Легко- и среднесуглинистые, подстилаемые тяжелосуглинистыми и глинистыми породами	0,79	0,26
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин	0,79	0,26
Пдгг	Дерново-подзолистые глубокоглееватые и глееватые (в том числе поверхностно-глееватые), преимущественно глубокие	Глинистые и тяжелосуглинистые	0,79	0,26
		Среднесуглинистые	0,79	0,26
		Среднесуглинистые валунные и галечниковые	0,79	0,26
		Легкосуглинистые	0,79	0,26
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,79	0,26
Пдж	Дерново-подзолистые остаточнокarbonатные	Среднесуглинистые валунные и галечниковые	1,23	0,26
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин	1,23	0,26
Пдж	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	Песчаные	0,79	0,35
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,79	0,35
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием песков и супесей	0,79	0,35
Пдп	Дерново-палево-подзолистые и подзолисто-буроземные	Среднесуглинистые	1,23	0,35
		Частая смена пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин	1,23	0,35
Пгдп	Дерново-палево-подзолистые и подзолисто-буроземные глубокоглееватые и глеевые	Среднесуглинистые	1,23	0,35
Пгд	Дерново-подзолисто-глеевые	Глинистые и тяжелосуглинистые	1,23	0,35
		Среднесуглинистые	1,23	0,35
		Легкосуглинистые	1,23	0,35
		Легкосуглинистые валунные и галечниковые	1,23	0,35
		Песчаные	0,79	0,35
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,79	0,35
Поиг	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые)	Песчаные	0,79	0,17
Поиг	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые без разделения (подзолы иллювиально-мало- и многогумусовые)	Песчаные	0,79	0,17
Пог	Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, преимущественно иллювиально-гумусовые	Песчаные	0,79	0,17
		Песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами	0,79	0,17
Дк	Дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные)	Среднесуглинистые	0,79	0,17
Дг	Дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	Среднесуглинистые валунные и галечниковые	1,23	0,17
		Легкосуглинистые	1,23	0,17
Дгоп	Дерново-глеевые оподзоленные	Глинистые и тяжелосуглинистые	1,23	0,17
СЛс	Светло-серые лесные	Нет	2,00	0,26
		Глинистые и тяжелосуглинистые	2,00	0,26
		Среднесуглинистые	2,00	0,26
		Легкосуглинистые	2,00	0,26
СЛ	Серые лесные	Глинистые и тяжелосуглинистые	2,50	0,41
		Среднесуглинистые	2,50	0,41
		Легкосуглинистые	2,50	0,41
СЛт	Тёмно-серые лесные	Глинистые и тяжелосуглинистые	3,20	0,41
		Среднесуглинистые	3,20	0,41
		Легкосуглинистые	3,20	0,41

		Песчаные	3,20	0,41
Чоп	Чернозёмы оподзоленные	Глинистые и тяжелосуглинистые	4,00	0,20
		Среднесуглинистые	4,00	0,20
		Легкосуглинистые	4,00	0,20
Чв	Чернозёмы выщелоченные	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,60	0,47
		Среднесуглинистые	4,10	0,47
		Легкосуглинистые	4,10	0,47
Чт	Чернозёмы типичные	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,60	0,32
		Легкосуглинистые	5,60	0,32
Чо	Чернозёмы обыкновенные	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,60	0,25
		Среднесуглинистые	5,60	0,25
		Легкосуглинистые	5,60	0,25
Чю	Чернозёмы южные	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,60	0,18
Чк	Чернозёмы остаточного карбонатные	Глинистые и тяжелосуглинистые	4,10	0,32
		Известняки и другие карбонатные породы	4,10	0,32
Чв	Черноземы без разделения, преимущественно неполноразвитые	Глинистые и тяжелосуглинистые	4,10	0,32
Чл	Лугово-чернозёмные	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,60	0,84
		Легкосуглинистые	5,60	0,32
Члв	Лугово-чернозёмные выщелоченные	Глинистые и тяжелосуглинистые	5,60	0,32
Тв	Торфяные болотные верховые	Нет	9,23	0,18
Тп	Торфяные болотные переходные	Нет	9,23	0,32
Тн	Торфяные болотные низинные	Нет	9,23	0,32
Гт	Торфянисто- и торфяно-глебовые болотные (глеозёмы торфянистые и торфяные болотные)	Нет	5,31	0,32
А	Пойменные кислые	Нет	2,27	0,97
Ан	Пойменные слабокислые и нейтральные	Нет	2,27	0,97

Таблица 4. Средневзвешенные концентрации йода и селена в почвах регионов Центрального федерального округа (ЦФО)

Table 4. Weighted mean I and Se content in the soil of the CFD regions

Субъект ЦФО	Средневзвешенная концентрация йода, мг/кг воздушно-сухой массы	Средневзвешенная концентрация селена, мг/кг воздушно-сухой массы
Белгородская область	4,71	0,36
Брянская область	1,69	0,39
Владимирская область	1,68	0,39
Воронежская область	4,88	0,45
Ивановская область	1,51	0,37
Калужская область	1,49	0,38
Костромская область	1,75	0,41
Курская область	4,17	0,50
Липецкая область	4,75	0,35
Московская область	1,91	0,44
Орловская область	3,77	0,44
Рязанская область	3,00	0,34
Смоленская область	1,72	0,59
Тамбовская область	4,79	0,33
Тверская область	1,85	0,42
Тульская область	3,66	0,38
Ярославская область	1,55	0,35

Таблица 5. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (R) и уровни их значимости (p) между содержанием йода (I), селена (Se), активностью ^{137}Cs (Cs-137) в почвах областей Центрального федерального округа и заболеваемостью щитовидной железой населения за 2013–2017 гг.

Table 5. Spearman rank correlation coefficients (R) and their significance levels (p) between the content of iodine (I), selenium (Se), ^{137}Cs activity (Cs-137) in the soils of the CFD subjects and thyroid incidence morbidity of the population for 2013–2017.

Параметр		2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Весь период
I	R	-0,419*	-0,306	-0,424*	-0,583**	-0,534**	-0,473*
	p	0,094	0,231	0,090	0,014	0,027	0,055
Se	R	-0,265	-0,223	0,157	-0,081	0,039	-0,039
	p	0,305	0,390	0,548	0,758	0,881	0,881
Cs-137	R	0,162	0,111	0,183	0,316	0,236	0,257
	p	0,535	0,670	0,482	0,217	0,361	0,319

Примечание. * $p < 0,100$; ** $p < 0,050$.

Таблица 6. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (R) и уровни их значимости (p) между содержанием йода (I), селена (Se), активностью ^{137}Cs (Cs-137) в почвах субъектов Центрального федерального округа и заболеваемостью раком щитовидной железы населения в 1995–2023 гг.

Table 6. Spearman rank correlation coefficients (R) and their significance levels (p) between the content of iodine (I), selenium (Se), ^{137}Cs activity (Cs-137) in the soils of the CFD subjects and thyroid cancer incidence morbidity of the population for 1995-2023.

Параметр		1995–2003 гг.	2004–2013 гг.	2014–2023 гг.	Весь период
I	R	0,267	-0,002	0,157	0,189
	p	0,300	0,993	0,548	0,468
Se	R	-0,225	-0,005	0,287	0,010
	p	0,384	0,985	0,264	0,970
Cs-137	R	0,552**	0,701**	0,722**	0,725**
	p	0,022	0,002	0,001	0,001

Примечание. ** $p < 0,050$.

Таблица 7. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (R) и уровни их значимости (p) между содержанием йода (I), селена (Se), активностью ^{137}Cs (Cs-137) в почвах субъектов Центрального федерального округа и заболеваемостью раком щитовидной железы взрослого (старше 18 лет) населения за 2003–2023 гг.

Table 7. Spearman rank correlation coefficients (R) and their significance levels (p) between the content of iodine (I), selenium (Se), ^{137}Cs activity (Cs-137) in the soils of the CFD subjects and thyroid cancer incidence morbidity of the adult (18 y.o. and older) population for 2003-2023.

Параметр		2003–2013 гг.	2014–2023 гг.	Весь период
I	R	0,083	0,130	0,029
	p	0,751	0,619	0,911
Se	R	-0,017	0,297	0,140
	p	0,948	0,248	0,593
Cs-137	R	0,671**	0,701**	0,711**
	p	0,003	0,002	0,001

Примечание. ** $p < 0,050$.

Таблица 8. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (R) и уровни их значимости (p) между содержанием йода (I), селена (Se), активностью ^{137}Cs (Cs-137) в почвах субъектов Центрального федерального округа и заболеваемостью раком щитовидной железы детского (0–17 лет) населения за 2003–2023 гг.

Table 8. Spearman rank correlation coefficients (R) and their significance levels (p) between the content of iodine (I), selenium (Se), ^{137}Cs activity (Cs-137) in the soils of the CFD subjects and thyroid cancer incidence morbidity of the child (0-17 y.o.) population for 2003-2023.

Параметр		2003–2013 гг.	2014–2023 гг.	Весь период
I	R	-0,375	-0,132	-0,225
	p	0,138	0,613	0,384
Se	R	0,034	-0,252	-0,091
	p	0,896	0,328	0,729
Cs-137	R	0,568**	0,650**	0,748**
	p	0,017	0,005	0,001

Примечание. ** $p < 0,050$.

РИСУНКИ

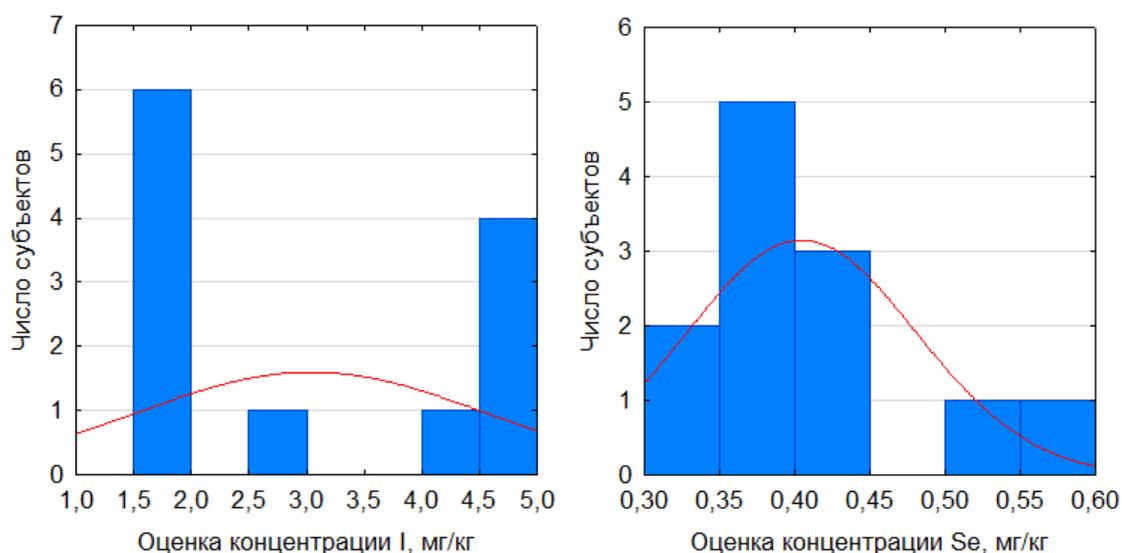


Рис. 1. Распределение оценок концентраций йода (I) и селена (Se) в регионах Центрального федерального округа. Красной линией показана кривая распределения.

Fig 1. Distribution of the estimated concentrations of I and Se in the regions of the CFD. Red line indicates distribution.

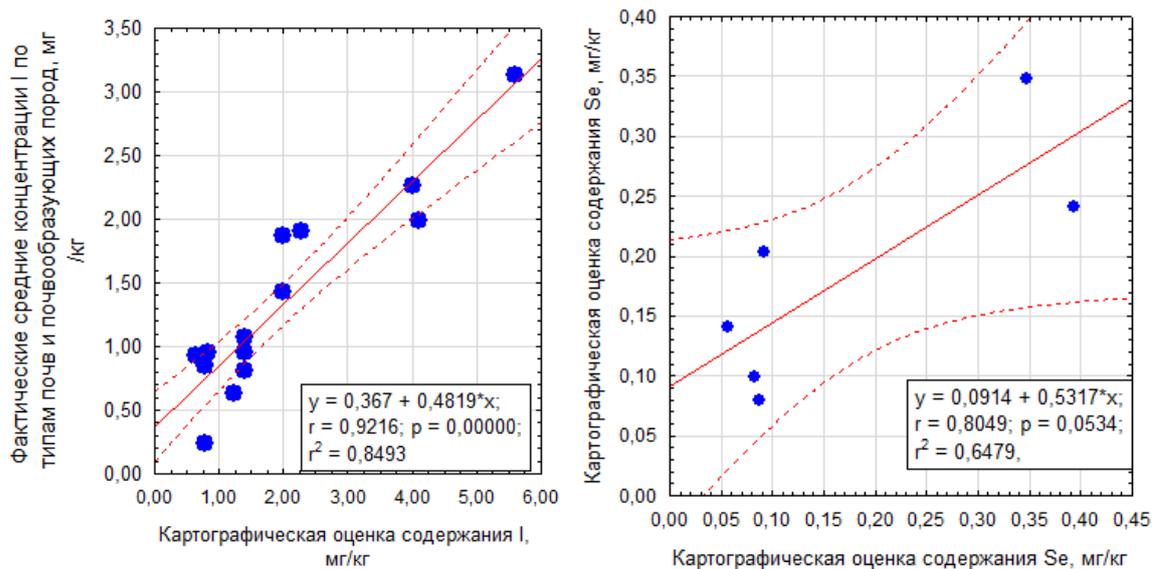


Рис. 2. Сопоставление картографических оценок обеспеченности почв йодом (I) и селеном (Se) и данных отбора фактического материала.

Fig 2. Spatial comparison of the estimation of I and Se content in soils and the data of the field study.

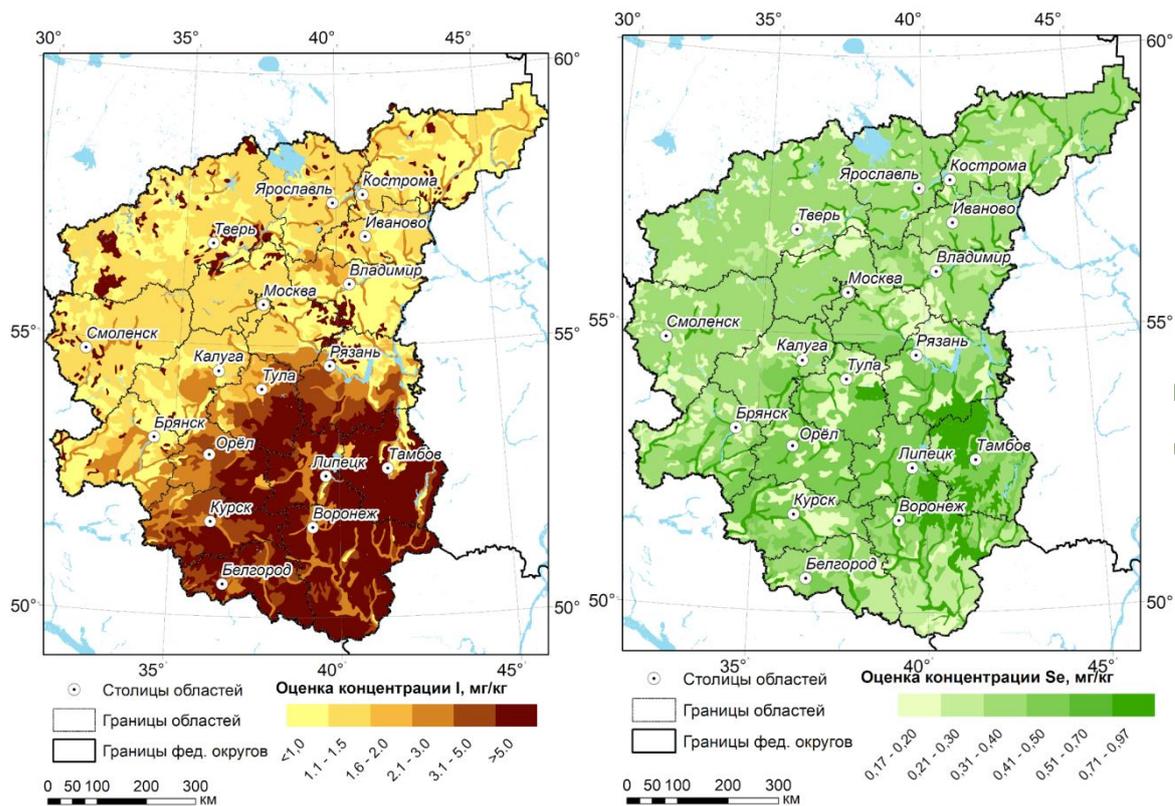


Рис. 3. Пространственное распределение содержания йода (I) и селена (Se) в почвах Центрального федерального округа.

Fig. 3. Spatial distribution of I and Se content in the soils of the CFD.

Accepted for publication