

ISSN 1561-8323 (Print)  
ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 616.006:[004.67+004.93]  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-91-103>

Поступило в редакцию 09.12.2021  
Received 09.12.2021

**С. Л. Романов<sup>1</sup>, А. Н. Червань<sup>2</sup>, Е. М. Коробова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Унитарное предприятие «Геоинформационные системы» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup>*Институт геохимии и аналитической химии им В. И. Вернадского Российской академии наук, Москва, Российская Федерация*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ И МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ БЕЛАРУСИ**

*(Представлено академиком В. Ф. Логиновым)*

**Аннотация.** Рассматриваются результаты картографического анализа материалов белорусского канцер-регистра и исследуется картина наблюдаемой эпидемиологической обстановки применительно к онкологической заболеваемости (ОЗ) разных локализаций, свойственной разным половозрастным группам сельского населения. В ходе работ были впервые построены карты, характеризующие специфику пространственной неоднородности распространения ОЗ на территории Гомельской и Могилевской областей Беларуси. В результате были выявлены аномальные зоны, представляющие собой группы компактно расположенных населенных пунктов, для которых уровень ОЗ (в том числе и ОЗ разных локализаций, наблюдаемых как у мужчин, так и у женщин) различается в 4 и более раза. Наблюдаемые различия риска возникновения ОЗ были оценены как статистически значимые и на этом основании сделано заключение о том, что выявленные аномальные зоны, во всяком случае на территории Беларуси, отличаются не только высокой пространственной контрастностью, но и закономерной пространственной организацией, что подтверждает гипотезу о наличии связи риска возникновения ОЗ с параметрами внешней среды и, в свою очередь, позволяет сделать обоснованное заключение об эндемической природе рака как спровоцированного «человеческого» заболевания. Предлагается гипотеза, что обнаруженные зоны как положительной, так и отрицательной аномальности должны обладать существенными эколого-геохимическими различиями и делается заключение о необходимости признания их объектами первоочередного контроля, поскольку население, проживающее в зонах повышенного риска, несомненно нуждается в первоочередном обследовании и профилактике.

**Ключевые слова:** онкологические заболевания, риск, пространственная неоднородность, ГИС-технология, картографическая оценка, профилактика

**Для цитирования.** Романов, С. Л. Особенности пространственного распространения онкологических заболеваний на территории Гомельской и Могилевской областей Беларуси / С. Л. Романов, А. Н. Червань, Е. М. Коробова // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 1. – С. 91–103. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-91-103>

**Sergey L. Romanov<sup>1</sup>, Aliaksandr N. Chervan<sup>2</sup>, Elena M. Korobova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*“Geoinformation systems” of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>3</sup>*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

## **SPATIAL FEATURES OF THE RISK OF ONCOLOGICAL DISEASES IN THE TERRITORY OF THE GOMEL AND MOGILEV REGIONS OF BELARUS**

*(Communicated by Academician Vladimir F. Loginov)*

**Abstract.** The article presents the results of the cartographic analysis of the Belarusian Cancer Registry data, including the spatial features of morbidity due to cancer in different sex and age groups of the rural population. The maps, characterizing the features of the spatial heterogeneity of the oncological diseases (OD) in the Gomel and Mogilev regions of Belarus, were built for the first time. The performed mapping revealed the anomalous zones, representing the groups of compactly located rural settlements, for which the OD level (including OD of different localizations observed in both men and women) differs by a factor of 4 or more. The assessed differences in the OD risk are statistically significant. On this basis, we infer that

the anomalous zones in the territory of Belarus, in any case, demonstrate both a high spatial contrast of OD manifestation and regular spatial organization. These confirm the hypothesis about a relationship between the OD risk and the environmental parameters and, in turn, allow a reasonable conclusion about the endemic nature of cancer as a provoked “human disease”. We consider that the detected zones of positive and negative anomalies must have significant ecological and geochemical differences. Therefore, they should be recognized as the objects of priority control since the population living in the high-risk areas undoubtedly needs priority screening and applying the corresponding preventive measures.

**Keywords:** cancer, risk, spatial heterogeneity, GIS technology, cartographic assessment, prophylaxy

**For citation.** Romanov S. L., Chervan A. N., Korobova E. M. Spatial features of the risk of oncological diseases in the territory of the Gomel and Mogilev regions of Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 1, pp. 91–103 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-91-103>

**Введение.** На сегодняшний день онкологические заболевания (ОЗ) являются второй после заболеваний сердечно-сосудистой системы причиной смертности в мире, при этом число заболевших продолжает повсеместно и неуклонно расти. Так, по данным ВОЗ, в 2020 г. в мире было выявлено 19,3 млн больных и зафиксировано 10 млн летальных исходов. Характерно, что ОЗ прогрессируют главным образом в странах с высоким уровнем дохода, где от проблем с сердцем умирает около 20 % населения, в то время как от рака – более 50 % [1].

Проблема минимизации уровня ОЗ имеет длительную историю и постоянно находится в центре внимания медицинских специалистов всего мира не только из-за ее социальной значимости, но и вследствие того, что, несмотря на все предпринимаемые усилия, кардинально решить проблему не удастся. Значительные успехи достигнуты в области лечения, но не профилактики подавляющего большинства известных видов ОЗ, где основным препятствием является отсутствие значимого продвижения в области выявления причин, вызывающих эти заболевания и, соответственно, отсутствие точной информации об этиопатогенетических факторах, достоверно ответственных за возникновение и частоту встречаемости злокачественных новообразований среди отдельных контингентов населения. Однако отсутствие успехов не означает отсутствия объективных предпосылок к решению проблемы, важнейшей из которых является, с одной стороны, «человеческая природа» заболевания, а, с другой – пространственная неоднородность ее встречаемости, отмечаемая для практически всех существующих форм ОЗ.

Феномен пространственной неоднородности в распространении ОЗ был обнаружен достаточно давно (Hutt, 1975; Besancenot, 1975 и др.). Современные данные, например, сведения GCO (Global Cancer Observatory) показывают, что по состоянию на 2019 год уровень общей заболеваемости в Австралии был в 5,3 раза выше, чем в Индии или Саудовской Аравии, а на территории бывшего СССР заболеваемость в Латвии в 3,5 раза превосходила аналогичный показатель для Таджикистана. Сходная неоднородность имеет место и на территории современной Российской Федерации, для которой частота выявления случаев ОЗ в Дагестане и Ямало-Ненецком АО в 4–5 раз ниже, чем, например, в Архангельской или Ивановской областях. Не составляет исключения и территория США, где применительно к отдельным административным округам общая частота встречаемости ОЗ различается в 6 и более раз.

Характерно, что аналогичная пространственная неоднородность существует и применительно к ОЗ разных локализаций. Например, на территории Российской Федерации рак щитовидной железы (РЩЖ) в Краснодарском крае или на Алтае встречается в 3 раза реже, чем в Калмыкии или в Башкортостане, а в США даже отдельные штаты различаются по величине этого показателя в 1,7 раза [2]. При этом следует отметить, что во всех этих случаях речь идет исключительно о крупных территориальных выделах, представляющих собой произвольно выделенные административные единицы, что связано, в первую очередь, с принятыми в медицине нормативами статистической отчетности.

**Теоретический подход.** Подобное перечисление, которое можно продолжать применительно ко всем крупным территориям, свидетельствует о том, что наблюдаемая пространственная неоднородность представляет собой бесспорный факт, который должен иметь объяснение в виде причины или комплекса причин, провоцирующих как рост, так и снижение величины данного показателя. Решение данной проблемы представляется чрезвычайно важным, поскольку оно может решающим образом способствовать выяснению факторов, так или иначе определяющих уровень риска возникновения ОЗ, по крайней мере наиболее значимых локализаций.

Существуют две гипотезы, в соответствии с которыми такого рода неоднородность может существовать в принципе. Это:

1. Наличие качественно разнородных групп оседло проживающего населения, которое, в силу генетически закреплённой специфики, обладает разной восприимчивостью к воздействию определённого набора канцерогенных факторов. (Причина внутренняя – *эндогенная*.)

2. Наличие специфических природно-территориальных особенностей, способных провоцировать возникновение ОЗ у всех категорий проживающего населения. (Причина внешняя – *экзогенная*.)

Обе гипотезы не являются целиком взаимоисключающими, хотя бы потому, что сопоставляемые расово-этнические группы часто проживают на территориях, имеющих собственную экологическую специфику, а также потому, что наблюдаемая в настоящее время в мире весьма интенсивная миграция представителей самых различных групп населения способна осложнять (не меняя коренным образом!) традиционно сложившуюся эпидемиологическую обстановку.

Приведённые аргументы показывают, что вторая гипотеза является приоритетной, тогда как гипотеза о разном уровне восприимчивости всего компактно проживающего населения непосредственно опровергается не только сведениями медицинской статистики, которая до сих пор не располагает достоверными данными о наличии значимой положительной связи между хотя бы расовой принадлежностью и общей частотой встречаемости ОЗ, но и наличием значительного числа опровергающих примеров, которые, с одной стороны, показывают наличие крупных различий уровня встречаемости ОЗ на территориях с этнически однородным составом населения, а с другой – наличие как одинаково высокого, так и одинаково низкого уровня заболеваемости в регионах с предельно смешанным расово-этническим составом населения [3]. Убедительным примером здесь выступает территория США, где пространственные различия наблюдаемых уровней заболеваемости отмечаются в условиях предельно неоднородного состава населения.

В силу приведённых аргументов, а также, следуя закону формальной логики, в соответствии с которым третьего не дано, наиболее перспективной следует признать гипотезу о том, что указанная пространственная неоднородность является следствием постоянного воздействия одной или нескольких внешних причин на условно однородную выборку оседло проживающего населения. Отсюда следует, что если проверяемая гипотеза будет убедительно доказана, это будет означать наличие безусловной связи между экологическими особенностями (свойствами) территориальных выделов и уровнем ОЗ, наблюдаемым в пределах данной территории, что само по себе несомненно станет важнейшим шагом по направлению к решению проблемы выявления провоцирующих причин, а соответственно, и поиску путей минимизации существующего уровня ОЗ.

**Методы картирования уровня заболеваемости.** Особенностью современного состояния изученности решаемой проблемы является тот факт, что практически все работы, связанные с картографическим представлением наблюдаемой или наблюдавшейся заболеваемости носят констатирующий характер, т. е. результат сводится к фиксации на карте определённых различий, наблюдаемых применительно к сопоставляемым объектам. Кроме того, картированию всегда подвергались исключительно те регионы, для которых имелась репрезентативная статистическая база, из-за чего при анализе редких явлений территориальным объектом изучения постоянно выступал достаточно крупный элемент административно-хозяйственного деления: город, район, область или целая страна. При этом случаи, когда в качестве провоцирующего фактора рассматривались качественные особенности территорий единичны.

Относительное исключение составляют зоны техногенного загрязнения, применительно к которым получено значительное количество данных, подтверждающих не столько пространственную приуроченность уровня ОЗ определённых локализаций к той или иной территории, сколько связь наблюдаемого числа заболевших с интенсивностью воздействия и спецификой миграции того или иного канцерогена.

На сегодняшний день в литературе описан ряд значительно различающихся гипотез о вирусной, канцерогенной, наследственно-генетической и прочей природе рака, однако фундаментальных исследований в области анализа связи ОЗ с состоянием окружающей среды, а тем более ре-

зультатов, позволяющих однозначно подтвердить или опровергнуть выше предложенную гипотезу, не существует. На сегодняшний день удалось выявить безусловную связь рака легкого с числом курящего населения [3], рака кожи с интенсивностью ультрафиолетового излучения [4], а также подтвердить связь уровня РЦЖ с интенсивностью так называемого йодного удара [5], последовавшего в результате выпадения радиоактивного  $^{131}\text{I}$  в зоне аварии на ЧАЭС 1986 г. [6].

В этих условиях первым шагом проверки предлагаемой гипотезы должно было стать решение задачи детального картирования пространственной неоднородности ОЗ разных локализаций, для чего предварительно требовалось решить более общую задачу картографического представления территорий (пространственных выделов), достоверно различающихся по уровню наблюдаемой заболеваемости любой природы и применительно к любой категории заболевших.

**Материалы.** Значительным шагом в направлении решения названной проблемы явилось проведение работ, связанных с созданием синтетических карт риска возникновения РЦЖ, связанного с последствиями радиационного воздействия, имевшего место на трансграничных территориях России и Беларуси в результате катастрофы на ЧАЭС 1986 г. [5]. Поскольку предварительные исследования показали наличие прямой связи уровня заболеваемости РЦЖ не только с мощностью «йодного удара», последовавшего в результате накопления щитовидной железой значительных количеств радиоизотопа  $^{131}\text{I}$ , но и величиной наблюдаемого природного йододефицита [7], процедура построения синтетической карты риска, обусловленного сочетанным воздействием обоих названных факторов, была сведена к положительному оверлейному наложению двух картографических поверхностей. Несмотря на то что данная работа потребовала проведения большого комплекса предварительных мероприятий, связанных с векторизацией и цифровым представлением как карт радиационного воздействия, так и почвенных карт Беларуси, на основе которых затем была создана карта природной обеспеченности йодом, она была успешно завершена и на цифровую карту обеспеченности почвы стабильным йодом был наложен слой, количественно характеризующий интенсивность «йодного удара». После этого для каждого из контуров, образованных в результате взаимного пересечения названных цифровых слоев, была определена комплексная индексная характеристика, отражающая специфику его общего экологического состояния применительно к обоим воздействующим параметрам и, в соответствии с параллельно создаваемой легендой, было осуществлено последовательное объединение контуров, соответствующих каждому из балльных уровней (суммарного) сочетанного риска.

Анализ полученных результатов показал не только наличие положительной связи полученных уровней риска с наблюдаемой заболеваемостью [8; 9], но и продемонстрировал универсальный характер созданного методического подхода, с помощью которого можно было анализировать риск возникновения практически любого эндемического заболевания, обусловленного любым комплексом природных или социально-техногенных причин, имеющих пространственное распространение.

Поскольку полученные таким образом карты риска нуждались в последующей верификации, для этого требовалось сопоставление полученного уровня риска с реально наблюдаемым уровнем заболеваемости, что так же требовало построения соответствующих карт.

В данном случае верификация выполнялась на базе материалов белорусского канцер-регистра, для которого на протяжении 1978–2019 гг. были точно зафиксированы данные по 17 видам ОЗ, полученные с учетом пола, возраста и мест проживания всех заболевших на территории Могилевской и Гомельской областей Беларуси.

И хотя данная работа также потребовала проведения значительных усилий, связанных с координатной привязкой каждого из указанных в регистре населенных пунктов (НП), уточнения параметров переименования, ведомственного переподчинения и создания полного списка НП, существующих и существовавших на протяжении всего исследуемого периода, она была успешно завершена, что позволило уже на первом этапе получить важные результаты, достоверно характеризующие специфику пространственного распределения ОЗ на территории всей юго-восточной Беларуси.

**Подходы к решению.** Естественно, что корректное построение карты, характеризующей наблюдаемый уровень ОЗ, требовало соблюдения ряда непреложных условий, начиная от оценки



уровня статистической достаточности используемой выборки и заканчивая внесением коррективных поправок для точной характеристики возрастных и демографических особенностей каждого рассматриваемого НП. Поскольку использованный способ представления предполагал переход от точечного (одномерного) представления информации к изолинейно-двумерному, это делало заведомо невозможным использование абсолютных показателей заболеваемости, для чего выборку требовалось дополнить информацией не только об актуальном количестве проживающих в каждом НП мужчин и женщин, но и о количестве населения, актуально присутствовавшего в нем на протяжении последних 43 лет.

Поскольку сложившаяся эпидемиологическая ситуация в данном случае рассматривалась в рамках гипотезы о наличии внешних факторов, провоцирующих или значимо влияющих на конфигурацию зон с разным уровнем ОЗ, на первоначальном этапе было принято решение об анализе выборки исключительно сельского населения, как наиболее тесно связанного со средой обитания путем регулярного потребления местных продуктов питания, воды и дозы внутреннего и внешнего облучения.

Исходя из всех названных выше условий, средствами специально созданного программного обеспечения была сформирована выборка, содержащая исключительно информацию по НП, для которых общее количество проживавших должно было соответствовать уровню статистической достаточности, т. е. если средний по Беларуси уровень ОЗ населения составляет 3,5 %, то для того чтобы вычисленная для каждого НП величина относительного показателя заболеваемости заведомо не определялась числом проживавших, среднестатистическое число заболевших (математическое ожидание) должно было превышать 7 человек, откуда следует, что статистически достаточную выборку должны составлять исключительно НП с числом проживавших большим, чем 200. Но поскольку общее число ОЗ, зафиксированных в каждом сельском НП, было дифференцировано в соответствии с единым критерием различия, сформированного с учетом пола, возраста и локализации, в качестве статистического критерия было выбрано большее значение, соответствующее 250 проживающим, что в соответствии с правилами расчета статистической репрезентативности должно обеспечивать мощность критерия на уровне 99 % доверительной вероятности [10].

Одновременно, для устранения влияния плотности проживающего населения на конфигурацию создаваемых картографических поверхностей и в соответствии с общепринятыми методическими требованиями, уровень заболеваемости в каждом отобранном НП был нормирован по числу заболевших на 100 000 чел., а количество выделяемых интерполированных поверхностей было принято равным десяти с автоматическим определением границ методом квантиля.

Полученная таким образом выборка анализируемых случаев ОЗ представлена в таблице.

#### Анализируемые случаи онкологических заболеваний

##### Analyzed cases of oncological diseases

Территория Territory	Всего больных Total sick	Всего НП Total settlements	Сельские НП с населением более 250 Rural settlements with a population of over 250	Больных в сельских НП с населением более 250 Patients in rural areas with a population of more than 250
Могилевская область	129 352	2 284	973	41 035
Гомельская область	123 757	2 990	281	17 511

Представленные данные наглядно демонстрируют высокую статистическую обеспеченность анализируемой выборки, на базе которой картина пространственного распределения наблюдаемого уровня заболеваемости может быть воспроизведена с предельной детальностью, что в свою очередь позволяет провести и точный анализ выявленных структурных закономерностей.

**Создание методики и построение карт заболеваемости.** Непосредственная процедура картирования была осуществлена средствами специализированного картографического пакета ArcGIS 10.7, а картографический анализ наблюдаемых уровней ОЗ сопровождался поиском геостатистических пространственных закономерностей, который также осуществлялся в полуавтоматическом режиме как средствами специально созданного программного обеспечения, так и средствами специализированных ГИС.

Работы выполнялись поэтапно. На первом этапе в векторном формате было осуществлено создание точной цифровой топоосновы, представляющей собой единую картографическую поверхность, покрывающую всю территорию как Гомельской, так и Могилевской области Беларуси в масштабе 1 : 500 000. Указанный слой помимо административных границ содержал контуры всех существующих НП с атрибутивными данными не только об актуальном и ретроспективном числе жителей, но также необходимые характеристики числа зарегистрированных в них случаев заболевания, административной подчиненности, статусе и т. п.

На втором этапе была осуществлена необходимая статистическая обработка и систематизация имеющихся массивов информации, в ходе которых был осуществлен нормированный на 100 000 пересчет относительного уровня заболеваемости. При этом нормирование осуществлялось для каждой из 17 групп онкозаболеваний и принятых половозрастных групп.

Непосредственная процедура формирования изолинейных поверхностей осуществлялась методом обратно взвешенных расстояний в пределах локализованного поля нормированной частоты случаев ОЗ, а построение легенды предполагало наличие 10 классов, выделенных в каждом слое методом квантиля. При этом экспорт классифицированных классов и пространственное позиционирование отдельных НП осуществлялись с заведомо достаточной (30 м) точностью и в соответствии с действующим списком кодов СОАТО.

**Результаты и их обсуждение.** Рассмотрение каждого из относительно равномерно распределенных по территории НП, для которых был осуществлен расчет актуального уровня ОЗ, позволило с высокой точностью интерполировать и представить их совокупность в виде сплошной картографической поверхности, для которой каждое измерение представляло собой уже элемент трехмерного поля, обладающего определенной протяженностью и структурой. Полученный результат, отображенный на рис. 1, характеризует пространственную специфику общей онкологии-

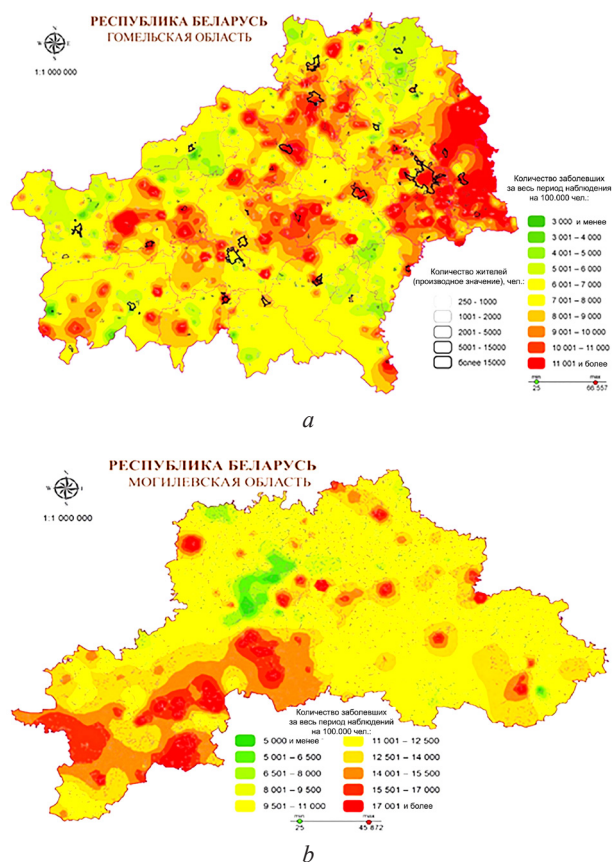


Рис. 1. Пространственная структура общей онкологической заболеваемости сельского населения Гомельской (а) и Могилевской (б) областей

Fig. 1. Spatial structure of the general cancer incidence of the rural population of the Gomel (a) and Mogilev (b) region

ческой заболеваемости населения Гомельской и Могилевской областей Беларуси. Анализ этих, впервые полученных, изображений позволяет сделать ряд чрезвычайно важных и далеко идущих выводов:

1. Уровень онкологической заболеваемости на территории обеих областей предельно неоднороден и способен изменяться в два и более раза, причем как в меньшую, так и в большую сторону, образуя таким образом специфическую структуру аномальных зон значительной площади.

2. Как положительные, так и отрицательные аномалии, характеризующиеся различным уровнем заболеваемости, на территории обеих областей представляют собой пространственные выделы моноцентрической структуры, включающие в подавляющем большинстве случаев группы компактно расположенных НП.

3. Пространственная конфигурация наблюдаемых зон аномальной заболеваемости не имеет выраженной связи с конфигурацией границ административных образований (районов), что косвенно свидетельствует о качественной однородности анализируемой статистической выборки.

Для того чтобы проверить гипотезу о пространственной приуроченности аномальных зон к определенным участкам территории, для обеих областей были построены карты общей заболеваемости отдельно для мужского и женского населения сельских НП. Полученный результат приведен на рис. 2.

Анализ полученных результатов и в данном случае позволил сделать ряд важных выводов:

1. Несмотря на наличие значительного числа не только физиологических, но также поведенческих и социально-психологических различий, что находит отражение в медицинской статистике (женщины болеют реже и имеют отличную от мужской структуру заболеваемости), выявленная конфигурация зон максимального и минимального риска оказалась практически идентичной для обеих групп населения.

2. Для территории обеих областей наблюдается однотипно закономерная упорядоченность зон рисков, фиксируемая как для положительных, так и для отрицательных аномалий.

3. Тот факт, что ряд выявленных пространственных аномалий расположен одновременно в разных областях и районах убедительно указывает на то, что выявленные различия не являются следствием разных подходов к диагностике, учету и представлению информации, которые могли иметь место на территориях с разной административной подчиненностью.

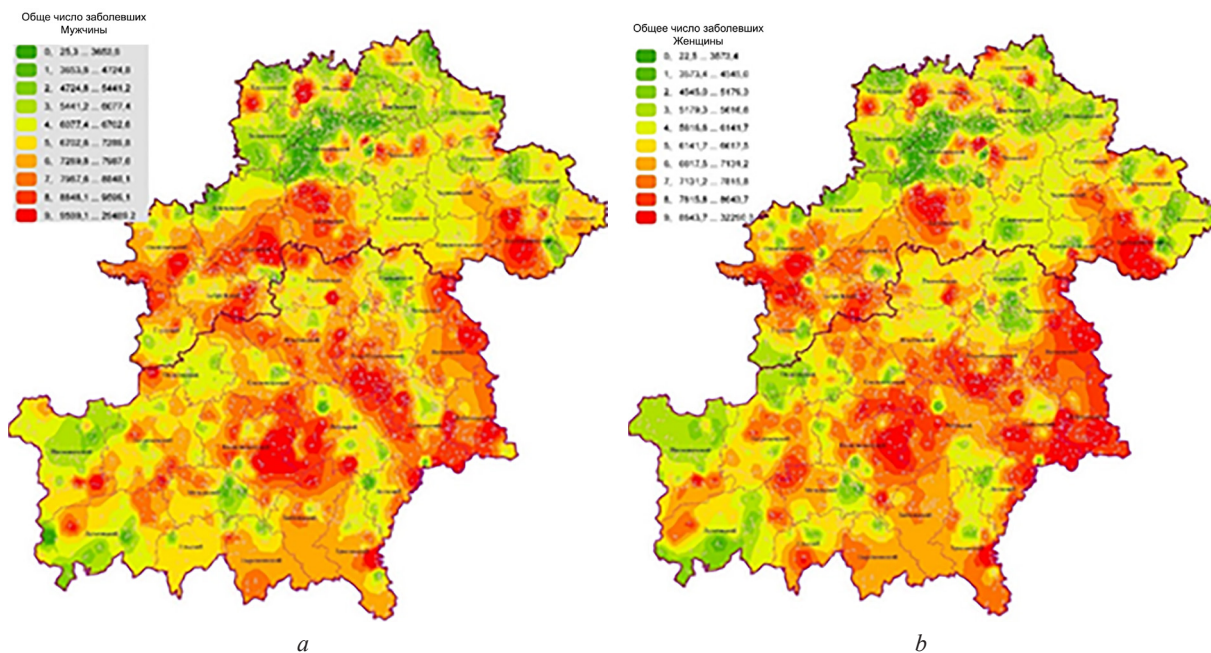


Рис. 2. Пространственная структура общей онкологической заболеваемости мужского (а) и женского (б) сельского населения Гомельской и Могилевской областей

Fig. 2. Spatial structure of the overall cancer incidence of male (a) and female (b) rural population of Gomel and Mogilev regions



4. Наличие определенных физико-географических различий между исследуемыми областями дает все основания полагать, что подобного рода неоднородность должна иметь место и на всей остальной территории Беларуси.

Полученный результат не только однозначно указывает на то, что территория Беларуси значительно различается в отношении риска возникновения ОЗ, чем не только убедительно подтверждает первоначально выдвинутую гипотезу о наличии комплекса внешних причин, способствующих значительному снижению или увеличению уровня общей заболеваемости, но и позволяет сделать более общее заключение об эндемической (экологически спровоцированной) природе во всяком случае большей части существующих ОЗ.

Для дополнительной проверки этой гипотезы на базе ранее полученной выборки сельского населения были построены карты заболеваемости, относящиеся уже к ОЗ определенных локализаций. Полученный результат представлен на рис. 3.

Как и в предыдущих случаях, проведенный анализ пространственной структуры полученных изображений позволил сделать однозначные заключения о том, что:

1. Исследуемая территория предельно неоднородна в отношении уровней риска возникновения ОЗ даже принципиально разных локализаций.

2. Взаимное расположение (пространственная структура взаимного размещения аномалий как максимального, так и минимального риска) практически одинакова для ОЗ обеих сопоставляемых локализаций, что опять же подтверждает первоначально выдвинутую гипотезу об экологической неоднородности исследуемой территории, что может являться главной причиной наблюдаемой дифференциации.

3. Пространственная структура зон риска для ОЗ обеих рассматриваемых локализаций не является оригинальной, но в целом повторяет конфигурацию зон риска, выявленных для выборки общей заболеваемости как женщин, так и мужчин.

4. На сопоставляемых картах имеет место очень незначительное количество исключений (несоответствий), при которых территориям с минимальным уровнем риска, например, для органов дыхания, соответствует зона максимального риска по органам пищеварения, что не отменяет общего правила, но представляет собой предмет особого интереса.

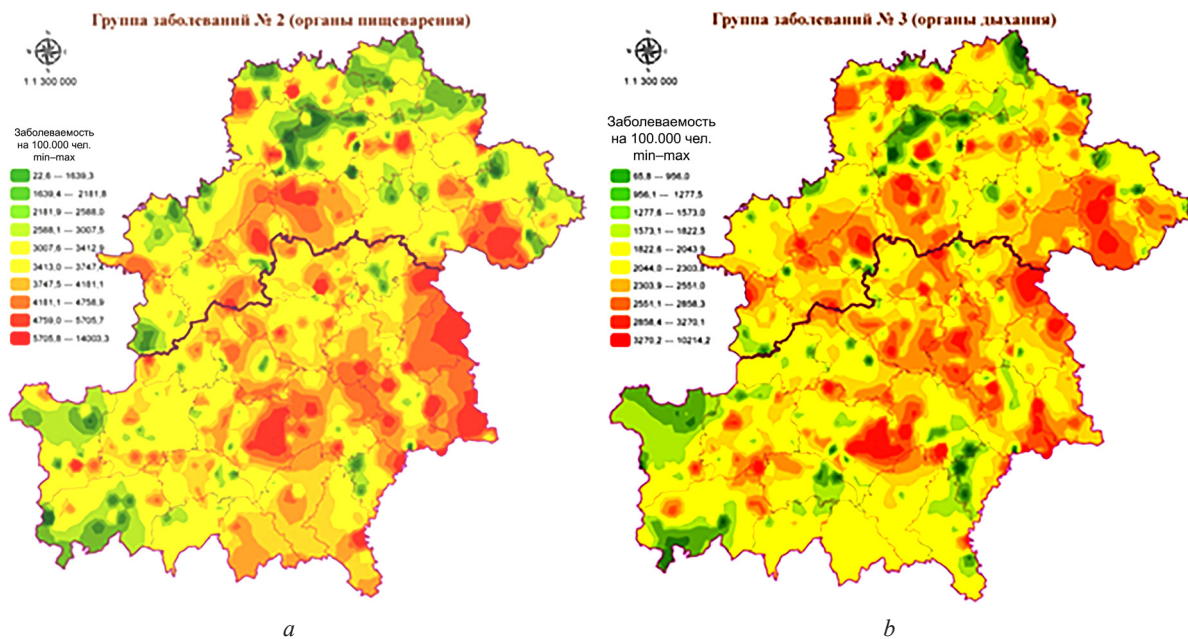


Рис. 3. Пространственная структура онкологической заболеваемости органов пищеварения (а) и органов дыхания (б) для сельского (мужского и женского) населения Гомельской и Могилевской областей

Fig. 3. Spatial structure of cancer incidence of the digestive system (a) and respiratory system (b) for the rural (male and female) population of the Gomel and Mogilev regions



Следует добавить, что определенное различие в конфигурации (не в местоположении!) как положительных, так и отрицательных зон риска объясняется специфическим набором градаций (десятичный квантиль), что упрощает сопоставление и позволяет стандартизировать легенды, однако, даже при небольшой разнице гистограммных параметров способно создавать весьма заметные различия в конфигурации изолиний.

В ходе дальнейшей работы по изучению пространственной структуры наблюдаемых уровней онкозаболеваемости были проанализированы ОЗ других локализаций (губы, глотки, молочной железы, мужских половых органов и др.), но поскольку частота встречаемости ОЗ разных локализаций резко различна, данный тип картирования требовал и изменения статистических параметров используемой выборки, поскольку в противном случае применительно к редким формам ОЗ, с одной стороны, могли возникать искажения, вызванные неравномерной плотностью проживающего населения, а, с другой стороны, резкое изменение количества рассматриваемых НП могло вызвать и значительное изменение параметров структуры, полученной по отношению к поверхностям, построенным на основе большего количества точек контроля.

В целом полученные результаты свидетельствуют о следующем:

1. Имеет место резкая пространственная дифференциация зон риска, свойственная практически всем проанализированным локализациям ОЗ.

2. Общая структура (взаимная конфигурация местоположений, зафиксированных для зон минимального и максимального риска) в целом аналогична для всех полученных карт, однако применительно к разным формам ОЗ такого рода пространственная корреляция проявляется в разной мере.

3. Несмотря на разную частоту встречаемости, на всех картах, как правило, наблюдается значительное сходство конфигурации структуры, зафиксированной для локализаций ОЗ мужского и женского населения, хотя сравнительный анализ показал, что применительно, например, к структуре распространения рака молочной железы и мужских половых органов эта связь выражена значительно хуже.

Еще одним весьма сложным аспектом работы явилась проверка качественных параметров используемых выборок, для чего было написано специальное программное обеспечение, позволяющее сопоставлять полученные списки актуально существующих, ликвидированных, переименованных, а также сменивших ведомственную принадлежность НП со списком НП, указанных в актуальном канцер-регистре. Смысл осуществляемой проверки состоял в последовательном установлении соответствия индивидуальных кодов СОАТО, присутствующих в сопоставляемых массивах. Полученный результат позволил не только выявить и скорректировать группу отселенных и ликвидированных НП, но и обнаружить значительное количество реально существующих НП, применительно к которым за всю историю наблюдений ни разу не было выявлено (записано в регистр) ни одного случая какого-либо ОЗ. Поскольку данный факт объективно мог явиться следствием относительной малочисленности населения в данных НП (0 становится статистически значимым параметром при количестве проживавших больше, чем 90 человек). Параметры выборки были соответствующим образом изменены, а результат, полученный применительно к статистически достаточному количеству заболевших мужчин и женщин, представлял собой списки НП, в которых случаи ОЗ либо вообще не были зафиксированы на протяжении всего срока контроля, либо число заболевших не превышало 2 человека на 250 проживающих в НП. Общее количество таких НП составило 39 для женского и 35 для мужского населения, при этом 22 НП из них оказались общими.

Анализ полученных изображений позволил сделать следующие выводы:

1. Общее количество НП с минимальным и нулевым количеством заболевших как мужчин, так и женщин значительно различается как в плане областей, так и в плане отдельных административных районов, что, несомненно, должно стать предметом детального изучения.

2. Практически все выделенные НП в подавляющем большинстве случаев не равномерно распределены по территории, а представляют собой компактные группировки, размер которых соответствует размерности выделенных пространственных аномалий.

3. НП с нулевым уровнем ОЗ повсеместно входят в состав группировок с минимальным числом заболевших, в связи с чем факт наличия больных, принимая во внимание численность анализируемого населения (больше 250 чел.), может рассматриваться как следствие постоянной миграции населения.

Несмотря на то что выявление причин обнаруженной пространственной неоднородности не являлось непосредственной целью данной работы, вопрос о наличии связи между наблюдаемым уровнем заболеваемости и таким очевидным фактором воздействия, как присутствующее на территории обеих областей радиационное загрязнение, несомненно, представлял первоочередной интерес. А поскольку имеющиеся программные средства позволяли анализировать не только пространственные, но и временные параметры ОЗ, была построена карта, характеризующая уровень общей заболеваемости мужского и женского сельского населения, зафиксированный по состоянию на январь 1986 г. Результат приведен на рис. 4.

Анализ полученных изображений показывает:

1. Радиационное загрязнение не является непосредственной (единственной) причиной наблюдаемой неоднородности риска возникновения ОЗ, поскольку и до аварии на ЧАЭС 1986 г. территории как Гомельской, так и Могилевской областей уже были в значительной мере пространственно дифференцированы по этому параметру.

2. Пространственная структура риска общей заболеваемости сельского населения, зафиксированная на уровне 1986 г., имеет значительные отличия от аналогичной структуры, выявленной по состоянию на январь 2019 г.

3. Общая конфигурация современных зон риска в целом не соответствует конфигурации последующего радиационного загрязнения, что дает основание полагать, что наблюдаемая структура заболеваемости в определенной мере представляет собой интерференционную картину суммарного воздействия обоих упомянутых факторов, что несомненно нуждается в последующей проверке.

Поскольку в распоряжении авторов имелся достаточный набор предельно надежных статистических и разномасштабных картографических материалов, выполненных на крупномасштабной топооснове, это не дает оснований сомневаться в достаточной точности и детальности полученных результатов. При этом все работы по построению картографических поверхностей были выполнены предельно корректно с соблюдением всех необходимых методических требований

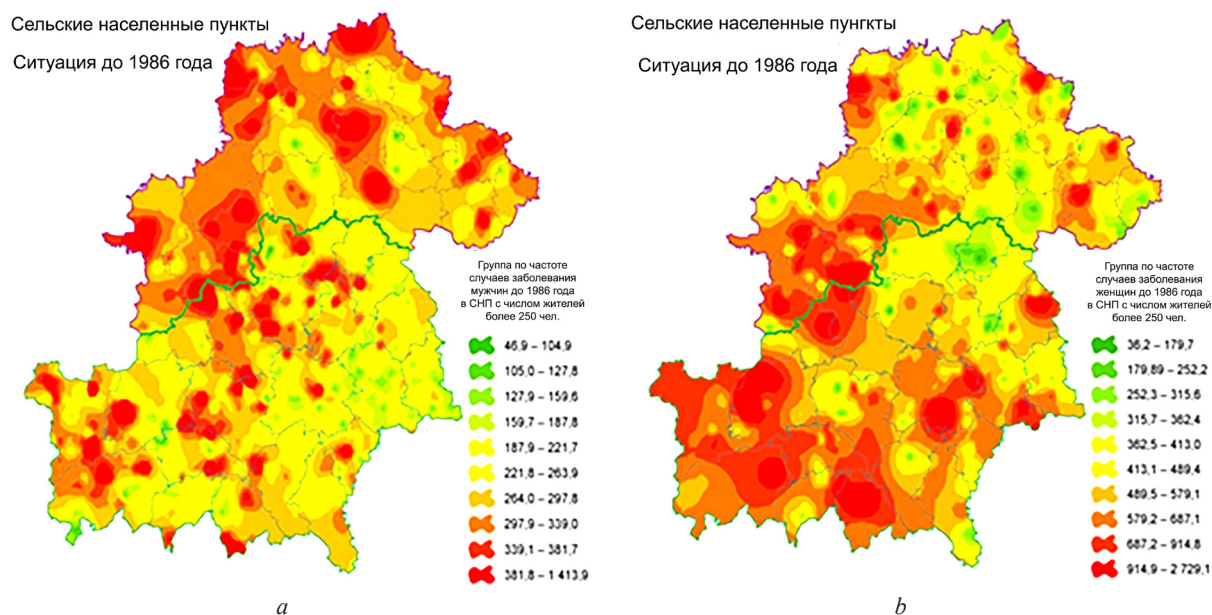


Рис. 4. Общий уровень ОЗ для сельского населения (*a* – мужчины, *b* – женщины), существовавший по состоянию на январь 1986 г.

Fig. 4. The general level of cancer incidence for the rural population (*a* – men, *b* – women) existing as of January 1986

к статистической обеспеченности и правилам ортотрансформации, а операции, связанные с оверлейным наложением, позиционированием и построением цифровых изолинейных поверхностей, осуществлялись в соответствии с общепринятой методикой и с использованием стандартно сертифицированных средств пакета ArcGIS 10.7.

Важным независимым доказательством физического существования площадных объектов, изолинейно воспроизведенных в виде сочетания «гладких» моноцентрических поверхностей, может служить форма частотных гистограмм, построенных применительно к выборке, характеризующей число заболевших во всех рассматриваемых НП.

Как показало специально проведенное исследование левосторонняя асимметрия частотных гистограмм является прямым следствием и индикатором наличия специфически упорядоченной и равномерно опробованной полицентрической структуры, в пределах которой площади центров аномалий всегда закономерно меньше площади их периферии. В рассматриваемом случае во всех выборках, характеризующих количество ОЗ в сельских НП, имеет место именно левосторонняя асимметрия частотных гистограмм, которая становится более выраженной по мере увеличения количества зафиксированных случаев ОЗ, что дает основание утверждать, что изолинейная картина, наблюдаемая на рис. 1–4, не является результатом ошибочной заданной прорисовки, но представляет собой относительно точное отображение физически существующего объекта, обладающего специфической, закономерно организованной структурой.

Все полученные результаты не содержат очевидных логических и смысловых противоречий, что дает основание утверждать, что сделанные на их основе выводы должным образом обоснованы и справедливы, а анализируемая нулевая гипотеза подтверждена на достаточно высоком уровне достоверности.

**Заключение.** Совокупность вышеприведенных результатов позволяет сделать ряд важных заключений относительно не только специфики пространственного распределения, но и генезиса ОЗ, имеющих место на территории Беларуси:

риск возникновения, во всяком случае подавляющего большинства фиксируемых ОЗ, резко дифференцирован в пространстве, в результате чего на территории Беларуси имеют место аномальные зоны значительной протяженности, длительное, оседлое проживание в пределах которых способно в разы как увеличивать, так и снижать уровень риска возникновения ОЗ;

при равенстве всех прочих социально-экономических условий для не имеющей значимых демографических различий популяции сельского населения юго-востока Беларуси наблюдаемая картина пространственной неоднородности риска возникновения ОЗ может являться только следствием экологической, а скорее эколого-геохимической неоднородности территории (включая радиационное загрязнение местности);

как минимум для сельской части населения Беларуси ОЗ большинства локализаций являются эндемическими, т. е. представляют собой прямое следствие пространственной приуроченности к территориям, обладающим определенным набором экологических параметров, способных в значительной мере провоцировать возникновение заболеваний у наиболее уязвимых категорий населения.

В силу того, что рассматриваемый объект обладает значительной площадью и значительным природным разнообразием, он, равно как анализируемая популяция населения, несомненно репрезентативен по отношению и ко всей территории Беларуси, и, как минимум, к территории всей восточной Европы, включая Европейскую Россию.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что имеющиеся данные канцер-регистра репрезентативны для проведения комплексного геоинформационного (геостатистического) анализа, позволяющего получить ответы на многие вопросы, закономерно возникающие при рассмотрении вышеприведенных картографических изображений. В частности, наличие цифровых картографических поверхностей, позволяющих с достаточной точностью воспроизводить характер природно-техногенной и ландшафтно-геохимической неоднородности, дает возможность определить дальнейшее направление работ по изучению пространственных особенностей распространения ОЗ. Это, во-первых, определение факторов или комплекса факторов, присущих локальным территориям с аномально высоким и низким уровнем ОЗ и, соответственно, способ-

ных провоцировать объективно существующую неоднородность возникающего риска ОЗ отдельных локализаций; во-вторых, анализ пространственно-временной динамики основных параметров заболеваемости для всех половозрастных групп как сельского, так и городского населения; в-третьих, выявление наиболее уязвимых (восприимчивых к влиянию внешних условий) категорий населения; в-четвертых, разработка проекта создания эффективной системы профилактических мероприятий, способных существенно снизить предполагаемые различия и, соответственно, уровень наблюдаемой ОЗ, во всяком случае, на территории Беларуси.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований и Российского фонда фундаментальных исследований (проект X20P-386).

**Acknowledgements.** The work was sponsored by the Belarusian Republican Foundation of Fundamental Research and Russian Foundation for Basic Research (project no. X20P-386).

### Список использованных источников

1. Variations in common diseases, hospital admissions, and deaths in middle-aged adults in 21 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study / G. R. Dagenais [et al.] // *Lancet*. – 2020. – Vol. 395, N 10226. – P. 785–794. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)32007-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)32007-0)
2. Elevated Bladder Cancer in Northern New England: The Role of Drinking Water and Arsenic / D. Baris [et al.] // *Journal of the National Cancer Institute*. – 2016. – Vol. 108, N 9. <https://doi.org/10.1093/jnci/djw099>
3. Cancer and Obesity: Global burden of cancer attributable to excess weight / M. Arnold [et al.]. – Lyon, France, 2015 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://gco.iarc.fr/obesity>. – Date of access: 14.11.2021.
4. Sun and UV facts and evidence // *Cancer Research UK* (24 March 2015) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/causes-of-cancer/sun-uv-and-cancer>. – Date of access: 09.11.2021.
5. Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood / E. Cardis [et al.] // *Journal of the National Cancer Institute*. – 2005. – Vol. 97, N 10. – P. 724–732. <https://doi.org/10.1093/jnci/dji129>
6. Израэль, Ю. А. Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной станции / Ю. А. Израэль. – М., 2006. – 28 с.
7. Korobova, E. Endemic diseases of geochemical origin and methodological approaches toward their prevention and elimination / E. Korobova, S. Romanov, A. Silenok // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2020. – Vol. 42, N 8. – P. 2595–2608. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00442-z>
8. Методические принципы построения карты йододефицита на территории Беларуси / С. Л. Романова [и др.] // *Вестн. Фонда фундам. исслед.* – 2017. – № 3. – С. 118–135.
9. Коробова, Е. М. Комплексная оценка эколого-геохимического состояния техногенно трансформированных территорий / Е. М. Коробова // *Геохимия*. – 2017. – № 10. – С. 863–874. <https://doi.org/10.7868/S0016752517100065>
10. Power and Sample Size Calculators [Electronic resource]. – Mode of access: <http://powerandsamplesize.com/Calculators/Compare-2-Means/2-Sample-1-Sided>. – Date of access: 09.11.2021.

### References

1. Dagenais G. R., Leong D. P., Rangarajan S., Lanan F., Lopez-Jaramillo P., Gupta R., Diaz R., Avezum A., Oliveira G. B. F., Wielgosz A., Parambath S. R., Mony P., Alhabib K. F., Temizhan A., Ismail N., Chifamba J., Yeates K., Khatib R., Rahman O., Zatonska K., Kazmi K., Wei L., Zhu J., Rosengren A., Vijayakumar K., Kaur M., Mohan V., Yusufali A. H., Kelishadi R., Teo K. K., Joseph P., Yusuf S. Variations in common diseases, hospital admissions, and deaths in middle-aged adults in 21 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study. *Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10226, pp. 785–794. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)32007-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)32007-0)
2. Baris D., Baris D., Waddell R., Freeman L. E. B., Schwenn M., Colt J. S., Ayotte J. D., Ward M. H., Nuckols J., Schned A., Jackson B., Clerkin C., Rothman N., Moore L. E., Taylor A., Robinson G., Hosain G. M. M., Armenti K. R., McCoy R., Samanic C., Hoover R. N., Fraumeni J. F., Johnson A., Karagas M. R., Silverman D. T. Elevated Bladder Cancer in Northern New England: The Role of Drinking Water and Arsenic. *Journal of the National Cancer Institute*, 2016, vol. 108, no. 9. <https://doi.org/10.1093/jnci/djw099>
3. Arnold M., Lam F., Ervik M., Soerjomataram I. *Cancer and Obesity: Global burden of cancer attributable to excess weight*. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2015. Available at: <http://gco.iarc.fr/obesity> (accessed 14 November 2021).
4. Sun and UV facts and evidence. *Cancer Research UK* (24 March 2015). Available at: <https://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/causes-of-cancer/sun-uv-and-cancer> (accessed 09 November 2021).
5. 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 <sup>131</sup>I in childhood. *Journal of the National Cancer Institute*, 2005, vol. 97, no. 10, pp. 724–732. <https://doi.org/10.1093/jnci/dji129>



6. Izrael Yu. A. *Radioactive contamination of natural environments as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant*. Moscow, 2006. 28 p. (in Russian).

7. Korobova E., Romanov S., Silenok A. Endemic diseases of geochemical origin and methodological approaches toward their prevention and elimination. *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, vol. 42, no. 8, pp. 2595–2608. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00442-z>

8. Romanov S. A., Cherven A. N., Korobova E. M., Yablonskaya T. S. Methodical principles of construction the iodine map in the territory of Belarus. *Vestnik Fonda fundamental'nykh issledovaniy = Vestnik of the Foundation for Fundamental Research*, 2017, no. 3, pp. 118–135 (in Russian).

9. Korobova E. M. Combined assessment of the ecological and geochemical state of anthropogenically impacted areas. *Geochemistry International*, 2017, vol. 55, no. 10, pp. 861–871. <https://doi.org/10.1134/s0016702917100068>

10. *Power and Sample Size Calculators*. Available at: <http://powerandsamplesize.com/Calculators/Compare-2-Means/2-Sample-1-Sided> (accessed 09 November 2021).

### Информация об авторах

*Романов Сергей Львович* – канд. географ. наук, ст. науч. сотрудник. Геоинформационные системы (ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [SRomanov@GIS.by](mailto:SRomanov@GIS.by).

*Червань Александр Николаевич* – канд. сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой. Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 16, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [ChervanAlex@mail.ru](mailto:ChervanAlex@mail.ru).

*Коробова Елена Михайловна* – д-р геолого-минералог. наук, заведующий лабораторией. Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН (ул. Косыгина, 19, 119334, Москва, Российская Федерация). E-mail: [korobova@geokhi.ru](mailto:korobova@geokhi.ru).

### Information about the authors

*Romanov Sergey L.* – Ph. D. (Geography), Senior Researcher. Geoinformation systems (6, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [SRomanov@GIS.by](mailto:SRomanov@GIS.by).

*Chervan Aliaksandr M.* – Ph. D. (Agrarian), Head of the Department. Belarusian State University (16, Leningradskaya Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [Chervan@bsu.by](mailto:Chervan@bsu.by).

*Korobova Elena M.* – D. Sc. (Geology and Mineralogy), Head of the Department. Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry V. I. Vernadsky (19, Kosygin Str., 119334, Moscow, Russian Federation). E-mail: [korobova@geokhi.ru](mailto:korobova@geokhi.ru).