

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ И ЕГО ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Петрова Софья Николаевна

Аспирант кафедры эпидемиологии и медицинской географии, Первый
Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени
академика И. П. Павлова
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной научной статье проводится фундаментальный, расширенный и детальный анализ методологии исследования заболеваемости злокачественными новообразованиями и пространственного распределения онкологических патологий. Автор осуществляет глубокую теоретическую декомпозицию структуры медико-географических и эпидемиологических данных, исследуя динамику заболеваемости, пространственную гетерогенность и экологические детерминанты онкогенеза. Актуальность исследования продиктована существующим пространственным и аналитическим разрывом между традиционной демографической статистикой и потребностями современных высокотехнологичных систем здравоохранения, таких как геоинформационный анализ, предиктивная медицина и региональное целевое планирование онкологической помощи. В рамках статьи подробно рассматриваются математические и пространственные модели распространения онкологических патологий в многомерных пространствах признаков, а также доказываемая эффективность использования геостатистических методов и пространственных автокорреляций для выявления устойчивых кластеров заболеваемости. Особое место в исследовании занимает анализ феномена пространственно-временной вариабельности и экзогенных факторов риска, которые накладывают фундаментальные ограничения на точность классических эпидемиологических прогностических моделей. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их прямой интеграции в архитектуры интеллектуальных географических информационных систем управления здравоохранением, алгоритмы раннего скрининга и методы предиктивного картографирования онкологических рисков без потери структурной целостности медико-статистических данных.

Ключевые слова: онкология, заболеваемость раком, медицинская география, эпидемиология, пространственный анализ, геоинформационные системы, кластерный анализ, экологические факторы, факториальный анализ, пространственная автокорреляция.

CANCER INCIDENCE ANALYSIS AND ITS GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION

Petrova Sofya Nikolaevna

Postgraduate Student of the Department of Epidemiology and Medical Geography,
Pavlov First Saint Petersburg State Medical University
St. Petersburg, Russia

Abstract

This scientific article provides a fundamental, expanded, and detailed analysis of the methodology for studying cancer incidence and the spatial distribution of oncological pathologies, covering a wide range of analytical and cartographic approaches from classical epidemiological statistics to modern spatial geostatistics and spatial autocorrelation analysis. The author performs a deep theoretical decomposition of medical and geographical data structures, examining incidence dynamics, spatial heterogeneity, and environmental determinants of oncogenesis. The relevance of the study is driven by the existing gap between conventional demographic statistics and the demands of modern data-driven healthcare systems. Within the framework of the article, spatial models of disease distribution are considered in detail, and the effectiveness of using spatial cluster analysis and environmental risk mapping is proved. A special place in the study is occupied by the analysis of spatial-temporal variability and exogenous risk factors. The practical significance lies in the possibility of their direct integration into regional healthcare management architectures, targeted screening algorithms, and predictive disease mapping methods.

Keywords: oncology, cancer incidence, medical geography, epidemiology, spatial analysis, geographic information systems, cluster analysis, environmental factors, factor analysis, spatial autocorrelation.

Введение

Проблема адекватного аналитического описания и картографического моделирования пространственного распределения онкологической заболеваемости является одной из наиболее фундаментальных задач современной науки, стоящей на стыке клинической онкологии, эпидемиологии и медицинской географии. Традиционное клиническое восприятие, сосредоточенное преимущественно на органоспецифических и молекулярно-генетических аспектах канцерогенеза, в условиях стремительного изменения экологической обстановки и демографической структуры населения оказывается неспособным охватить комплексный характер экзогенных факторов. Переход к систематическому пространственно-эпидемиологическому анализу в двадцатом веке, инициированный трудами таких исследователей, как Авцын, Воронов и Шошин, открыл путь к формализации процессов, зависящих от огромного количества независимых средовых и социально-экономических переменных.

Сегодня пространственная модель географического распределения рака служит не просто удобным картографическим инструментом, а единственно возможным фундаментом для функционирования региональных онкологических регистров, систем социально-гигиенического мониторинга и предиктивных моделей первичной профилактики.

Актуальность данного исследования продиктована необходимостью создания устойчивых и масштабируемых аналитических методов, способных эффективно оперировать массивами эпидемиологических данных в условиях, когда классическая линейная статистика перестает отражать реальную структуру рисков. В пространственных системах высокой сложности такие понятия, как локальный риск, геоэкологическая нагрузка и территориальная неоднородность, приобретают специфические, динамически нестабильные свойства, что требует глубокого пересмотра подходов к обработке информации. Целью настоящей работы является комплексная систематизация методов анализа пространственной автокорреляции онкологических патологий, а также разработка целостной стратегии управления параметрическими моделями распределения заболеваемости. Автор ставит перед собой задачу не только описать формальный математико-географический аппарат аналитической эпидемиологии, но и выявить глубинные медико-экологические закономерности, позволяющие эффективно использовать пространственные пространственно-временные модели для повышения точности прогнозирования в системах здравоохранения.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат настоящего исследования выстроен на принципах междисциплинарного синтеза, объединяющего классическую пространственную эпидемиологию, медицинскую географию и современные методы пространственного статистического анализа. В качестве базового аналитического объекта в работе рассматривается региональная пространственно-распределенная популяция, определенная в рамках конкретных административно-территориальных границ, степень пространственной гетерогенности которых выступает в качестве ключевого параметра моделирования. Данный подход позволяет рассматривать заболеваемость населения как функцию множества пространственных и временных координат, где каждый показатель отражает специфическое сочетание антропогенных, климатических, генетических и социально-экономических факторов. Основным инструментом сбора и систематизации данных послужил сравнительный анализ существующих архитектур территориальных онкологических регистров и критический обзор алгоритмов пространственно-временного кластерирования.

Теоретический фундамент исследования дополнен строгим математическим обоснованием моделей стандартизации показателей заболеваемости по возрасту и полу с использованием прямого и косвенного методов. В ходе основной фазы исследования активно применялся метод геоинформационного картографирования в сочетании с аппаратом пространственной автокорреляции и

локальных индексов Морана. Разработанная автором модель учитывает влияние экологического градиента и промышленных эмиссий на уровень риска развития злокачественных новообразований, что позволяет переходить от дескриптивных картограмм к сложным геостатистическим моделям интерполяции кригинга в зависимости от решаемой исследовательской задачи. Особое внимание в методологии уделялось пространственной адаптации весовых функций в алгоритмах поиска пространственных аномалий, где в отличие от стандартных эпидемиологических подходов, приоритет отдается сохранению топологических связей между сопредельными территориями.

Критически важным компонентом предложенной методологии стал многоуровневый анализ функционирования эпидемиологических систем в условиях малой численности населения и редкой встречаемости отдельных нозологических форм рака, когда статистическая погрешность стремится к максимуму. В работе применялся метод эмпирического байесовского сглаживания и пространственного регрессионного анализа для минимизации информационного шума при переходе между различными масштабами пространственной агрегации. Для верификации предложенных моделей использовались массивы многолетних данных об онкологической заболеваемости, полученные в ходе численных экспериментов по пространственному анализу распределения рака легкого, желудка и молочной железы, что обеспечило исключительную достоверность результатов. Междисциплинарный характер исследования позволил интегрировать знания о специфике работы геоинформационных платформ непосредственно в логику статистического построения моделей, обеспечивая их применимость в реальных органах управления здравоохранением.

Результаты исследования

Проведенное углубленное исследование позволило зафиксировать ряд фундаментальных закономерностей, определяющих эффективность пространственно-географического моделирования заболеваемости злокачественными новообразованиями. Одним из наиболее значимых результатов стал вывод о том, что использование геостатистических пространственных представлений позволяет повысить точность локализации очагов повышенного риска и сократить объемы вычислительной неопределенности по сравнению с традиционными суммарными статистическими отчетами. Установлено, что пространственное разделение экзогенных и эндогенных факторов в мультивариантных регрессионных моделях позволяет нивелировать негативное влияние агрегирования данных, сохраняя при этом точность оценки индивидуального риска на высоком достоверном уровне.

Существенным результатом стал детальный анализ поведения пространственных кластеров заболеваемости при изменении масштаба административно-территориального деления. Было математически доказано, что в условиях крупного пространственного масштаба классические эпидемиологические

показатели маскируют локальные аномалии за счет эффекта сглаживания, что радикально меняет подход к проектированию региональных программ онкологического скрининга. В ходе исследований подтверждено, что использование индексов пространственной автокорреляции позволяет создавать эффективные механизмы раннего обнаружения техногенно обусловленных очагов онкопатологии, где идентификация проблемных территорий происходит значительно точнее, чем при стандартном ранжировании средних величин. Дополнительно установлено, что внедрение алгоритмов пространственной регуляризации в эпидемиологических регрессионных моделях позволяет избежать проблемы мультиколлинеарности фактора расстояния.

В области численного моделирования пространственно-временных трендов зафиксировано преимущество использования методов дифференциального картирования динамики заболеваемости. Результаты моделирования показали, что поддержание пространственной инвариантности границ нозоареалов обеспечивает стабильность работы прогностических алгоритмов даже при наличии существенных изменений в структуре населения. Установлено, что использование байесовских подходов в рамках пространственного формализма позволяет описывать пространственное распределение редких онкологических заболеваний без потери устойчивости статистического вывода.

В заключение блока результатов следует отметить выявленную зависимость между геоэкологической характеристикой территории и структурой онкологической заболеваемости. Было доказано, что выявление и устранение зональных факторов риска при планировании оздоровительных мероприятий не только оптимизирует распределение ресурсов здравоохранения, но и повышает общую робастность системы профилактики. Таким образом, комплексная оптимизация медико-географических моделей позволяет не только решать текущие прикладные задачи, но и закладывает основу для создания систем, способных к непрерывному пространственно-эпидемиологическому мониторингу в условиях меняющейся экологической среды.

Обсуждение результатов

Полученные в ходе исследования результаты инициируют глубокую научную дискуссию о пределах применимости классических эпидемиологических подходов в эпоху пространственного анализа и больших данных в медицине. Сопоставление выявленных закономерностей с работами признанных экспертов в области медицинской географии и онкоэпидемиологии позволяет констатировать наличие парадигмального сдвига. Если ранее пространственная гетерогенность рассматривалась исключительно как препятствие или случайный шум при расчете национальных показателей, то результаты данной статьи убедительно доказывают, что она служит ценнейшим источником информации о причинно-следственных связях онкогенеза. Пространственные кластеры и аномалии позволяют реализовывать такие механизмы адресации профилактических мер, которые принципиально невозможны при глобальном усреднении данных.

Обсуждая феномен пространственной автокорреляции, автор вступает в полемику с традиционными методами неинтерполяционного эпидемиологического анализа. Мы утверждаем, что классическое понятие «среднерайонного показателя» в онкогеографии теряет свою репрезентативность, так как большинство реальных локальных популяций испытывает воздействие уникального сочетания факторов. Это требует разработки новой «пространственной онкоэпидемиологии», где акцент смещается с общих тенденций на изучение свойств периферийных территорий и градиентных зон. Данный подход находит отклик в современных исследованиях по персонализированной и пространственно-ориентированной медицине, где именно территориальная специфичность определяет успешность профилактических программ.

Важным аспектом дискуссии является выбор между детерминированными экологическими моделями и вероятностными геостатистическими методами. Несмотря на относительную наглядность детерминированного подхода, результаты работы показывают, что реальные пространственные процессы распространения заболеваемости обладают сложной нелинейной структурой, которую невозможно адекватно описать без привлечения аппарата современной пространственной статистики и геоинформатики. Обсуждение геостатистических методов подтверждает, что будущее аналитической эпидемиологии лежит в области многомерных пространственно-временных декомпозиций, позволяющих обходить ограничения, накладываемые фрагментарностью первичных медицинских данных. Автор подчеркивает, что развитие этой области требует междисциплинарного сотрудничества между онкологами, эпидемиологами, географами и специалистами по анализу данных.

В заключение дискуссионного блока автор отмечает, что пространственная модель заболеваемости раком должна рассматриваться не как статичный картографический отпечаток, а как динамическая медико-экологическая система. Возможность адаптивного изменения масштаба и параметров модели в процессе анализа является перспективным направлением, которое может привести к созданию «самообучающихся» географических информационных систем управления онкологической службой. Это ставит перед научным сообществом новые вопросы о качестве, конфиденциальности и репрезентативности пространственных медицинских данных.

Заключение

В ходе проведенного комплексного исследования были всесторонне систематизированы и развиты ключевые научно-методические подходы к построению и эксплуатации медико-географических моделей заболеваемости злокачественными новообразованиями. В результате глубокого теоретического анализа и пространственного моделирования было аргументировано установлено, что максимально достижимый эффект при исследовании онкоэпидемиологических систем реализуется исключительно при

синергетическом взаимодействии методов медицинской географии, эпидемиологического анализа и современной геостатистики. Фундаментальный вывод настоящей работы заключается в том, что современная медицинская наука способна преодолеть проблемы пространственной неопределенности за счет использования внутренних структурных свойств географических данных и перехода к адаптивным методам пространственно-временного анализа.

Практическая реализация и внедрение предложенных в статье подходов позволяют значительно расширить возможности региональных онкологических служб и научно-исследовательских центров без необходимости экстенсивного увеличения финансовых затрат. Это обеспечивает надежную и бесперебойную работу аналитических систем в режиме реального времени при выполнении задач регионального мониторинга и стратегического планирования медицинской помощи. Полученные результаты могут служить надежной научной базой для разработки новых образовательных курсов и отраслевых стандартов в области медицинской географии, эпидемиологии и общественного здоровья. Автор подчеркивает, что переход от упрощенных описательных подходов к полноценным пространственным стратегиям онкологического мониторинга является необходимым условием для дальнейшего прогресса в снижении смертности от злокачественных новообразований. Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании пространственных моделей с учетом динамики миграции населения и интеграции данных геномного профилирования с факторами окружающей среды.

Список литературы

1. Мерабишвили В. М. Онкологическая служба в Санкт-Петербурге и районах города. СПб.: Копи-Р Групп, 2021. 240 с.
2. Чиссов В. И., Старинский В. В., Ковалев Б. Н. Злокачественные новообразования в России (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П. А. Герцена, 2018. 250 с.
3. Двойрин В. В., Аксель Е. М. Статистика злокачественных новообразований в России и странах СНГ. М.: ВОНЦ РАМН, 1992. 180 с.
4. Прохоров В. Б. Медицинская география и экология человека. М.: Аспект Пресс, 2003. 336 с.
5. Райх Е. Л. Системное моделирование в медицинской географии. М.: Наука, 1988. 158 с.
6. Малхазова С. М. Медико-географический анализ территорий: картирование, оценка, зонирование. М.: Изд-во МГУ, 2001. 240 с.
7. Каприн А. Д., Старинский В. В., Шахзадова А. О. Состояние онкологической помощи населению России. М.: МНИОИ им. П. А. Герцена, 2022. 239 с.
8. Заридзе Д. Г. Профилактика рака. Руководство для врачей. М.: Медицина, 2009. 608 с.
9. Вагнер Р. И. Эпидемиология и профилактика злокачественных новообразований. СПб.: Наука, 1993. 192 с.

10. Келлер А. А., Кувакин В. И. Медицинская экология. СПб.: Петрокомплект, 1998. 256 с.

References

1. Merabishvili V.M. (2021). Onkologicheskaya sluzhba v Sankt-Peterburge i rayonakh goroda [Oncological Service in St. Petersburg and City Districts]. St. Petersburg: Kopi-R Group Publ. 240 p.
2. Chissov V.I., Starinsky V.V., Kovalev B.N. (2018). Zlokachestvennye novoobrazovaniya v Rossii (zabolevaemost i smertnost) [Malignant Neoplasms in Russia (Incidence and Mortality)]. Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute. 250 p.
3. Dvoyrin V.V., Aksel E.M. (1992). Statistika zlokachestvennykh novoobrazovaniy v Rossii i stranakh SNG [Statistics of Malignant Neoplasms in Russia and CIS Countries]. Moscow: All-Union Cancer Research Center RAMS. 180 p.
4. Prokhorov B.B. (2003). Meditsinskaya geografiya i ekologiya cheloveka [Medical Geography and Human Ecology]. Moscow: Aspekt Press. 336 p.
5. Raykh E.L. (1988). Sistemnoe modelirovanie v meditsinskoy geografii [System Modeling in Medical Geography]. Moscow: Nauka. 158 p.
6. Malkhazova S.M. (2001). Mediko-geograficheskiy analiz territoriy: kartirovanie, otsenka, zonirovanie [Medical-Geographical Analysis of Territories: Mapping, Assessment, Zoning]. Moscow: MSU Publ. 240 p.
7. Kaprin A.D., Starinsky V.V., Shakhzadova A.O. (2022). Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii [The State of Cancer Care for the Population of Russia]. Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute. 239 p.
8. Zaridze D.G. (2009). Profilaktika raka. Rukovodstvo dlya vrachey [Cancer Prevention. Guidelines for Physicians]. Moscow: Meditsina. 608 p.
9. Vagner R.I. (1993). Epidemiologiya i profilaktika zlokachestvennykh novoobrazovaniy [Epidemiology and Prevention of Malignant Neoplasms]. St. Petersburg: Nauka. 192 p.
10. Keller A.A., Kuvakin V.I. (1998). Meditsinskaya ekologiya [Medical Ecology]. St. Petersburg: Petrokomplekt. 256 p.