

Архипова О.Е.¹, Черногубова Е.А.², Лихтанская Н.В.³

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

АННОТАЦИЯ

Принципы разработки систем регионального медико-экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий базируются прежде всего на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области мониторинга окружающей среды, урбоэкологии, экогеохимии и биоиндикации городских ландшафтов, а также оценки экологического риска для здоровья населения и технологий геоэкологического и геоинформационного картографирования, апробированных в различных регионах России, США и других странах мира.

Предложенный авторами метод оценки и прогнозирования медико-экологической обстановки на различных территориальных уровнях базируется на сочетании традиционных методов исследования онкологической заболеваемости и использовании геоинформационных технологий на базе современного программного обеспечения ArcGis Desktop*.

Особенностью предлагаемой методологии является то, что для оценки «здоровья среды» используются не только экосистемные и популяционные показатели как таковые, но и индикаторные показатели состояния различных депонирующих сред и живых организмов.

Анализировались статистические данные по экологическим показателям в городских и муниципальных округах Ростовской области, полученные в результате социально-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха, уличного шума, питьевой воды, почвы, а также данные о первичной онкологической заболеваемости раком в районах и городах Ростовской области за 2001–2016 гг., предоставленные Ростовским онкологическим диспансером и Центром гигиены и эпидемиологии в Ростовской области.

Задачей исследования является проведение анализа исторического ряда наблюдений для оценивания вероятности повторения тех или иных значений выбранных переменных.

Результатом расчета является интегральная карта медико-экологической безопасности Ростовской области.

В ходе исследования было установлено, что, несмотря на сложный, опосредованный и инерционный характер воздействия качества окружающей среды на показатели здоровья, внутрирегиональная дифференциация уровня первичной выявляемости онкологических заболеваний в значительной степени соответствует пространственному распределению показателей медико-экологической безопасности.

Применяемые технологии позволят оптимизировать процесс управления медицинской помощью больным со злокачественными новообразованиями на основе идентификации территорий и групп риска по онкологической патологии, обосновать принципы формирования региональных программ снижения смертности от злокачественных новообразований.

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, пр. Чехова, 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия, *e-mail*: arkhipova@ssc-ras.ru

² Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, пр. Чехова, 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия, *e-mail*: eachernogubova@mail.ru

³ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, пр. Чехова, 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия, *e-mail*: natalikht@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медико-экологический мониторинг, геоинформационное моделирование, медико-экологическая безопасность, онкологические заболевания, индикаторные показатели состояния.

Olga E. Arkhipova¹, Elena A. Chernogubova², Natalia V. Likhtanskaya³

SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF THE INCIDENCE OF CANCER DISEASES CASE STUDY OF SOUTHERN REGIONS OF RUSSIAN FEDERATION

ABSTRACT

The principles of developing regional medical and environmental monitoring systems using geoinformation technologies are based primarily on the works of leading domestic and foreign scientists in the field of environmental monitoring, urban ecology, ecogeochemistry and bioindication of urban landscapes, as well as environmental risk assessment for public health and geocological and geoinformation cartography, tested in various regions of Russia, the United States and other countries of the world.

The method proposed by the authors for assessing and predicting the medical and environmental situation at various territorial levels is based on a combination of traditional methods of research of oncological morbidity and the use of geoinformation technologies on the basis of modern software ArcGis Desktop*.

The peculiarity of the proposed methodology is that not only ecosystem and population indices are used to assess "health of the environment", but also indicator indicators of the state of various depositing media and living organisms.

The statistical data on environmental indicators in urban and municipal districts of the Rostov region, obtained as a result of social and hygienic monitoring of atmospheric air, street noise, drinking water, soil, as well as data on the primary oncological morbidity in the regions and cities of the Rostov Region for 2001–2016 were analyzed, provided by the Rostov Oncological Dispensary and the Center of Hygiene and Epidemiology in the Rostov Region

The task of the study is to analyze the historical series of observations to assess the probability of repetition of certain values of the selected variables.

The result of the calculation is the integral map of medical and ecological safety of the Rostov region.

The study found that, despite the complex, mediated and inertial nature of the impact of environmental quality on health indicators, within, the regional differentiation of the level of primary detection of oncological diseases largely corresponds to the spatial distribution of indicators of medical and environmental safety.

Applied technologies will allow to optimize the management of medical care for patients with malignant neoplasms based on the identification of territories and risk groups for oncological pathology, to justify the principles of the formation of regional programs to reduce mortality from malignant neoplasms.

¹ Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Chehova str., 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia, *e-mail*: arkhipova@ssc-ras.ru

² Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Chehova str., 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia, *e-mail*: eachernogubova@mail.ru

³ Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Chehova str., 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia, *e-mail*: natalikht@gmail.com

KEYWORDS: medical-ecological monitoring, geoinformation modeling, medical and health safety, cancer diseases, state indicators.

ВВЕДЕНИЕ

Двадцать первый век выдвигает много вызовов в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и вместе с тем предоставляет новые возможности для преодоления угроз безопасности и здоровью граждан. Для дальнейшего развития сложившейся к настоящему времени социально-экономической системы в России необходимо установление стратегических ориентиров и целей. Эти цели обозначены в «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года»¹.

В соответствии с этим документом «стратегической целью является достижение уровня экономического и социального развития, соответствующего статусу России как ведущей мировой державы XXI века, с привлекательным образом жизни, занимающей передовые позиции в глобальной экономической конкуренции и надежно обеспечивающей национальную безопасность и реализацию конституционных прав граждан». Частью этой цели и далеко не последним условием ее успешной реализации является обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения и здоровья граждан России на уровне, соответствующем развитию ведущей мировой державы.

Принципы разработки систем регионального медико-экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий базируются прежде всего на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области мониторинга окружающей среды, урбоэкологии, экогеохимии и биоиндикации городских ландшафтов, а также с учетом оценки экологического риска для здоровья населения и технологий геоэкологического и геоинформационного картографирования [Безуглая, 1991; Захаров, 1993; Экогеохимия..., 1995; Malkhazova, 2014; Касимов, 2016], апробированных в различных регионах России, США и других странах мира.

Особенностью данной методологии является то, что для оценки «здоровья среды» используются не только экосистемные и популяционные показатели как таковые, но и индикаторные показатели состояния различных депонирующих сред и живых организмов. Известно, что уровень популяционного здоровья находится в определенной зависимости от факторов риска, прежде всего от присутствия в среде обитания потенциально опасных химических веществ и от других вредных экологических факторов. Состояние окружающей среды, организмов-биоиндикаторов и здоровье человека, оцененные по различным диагностическим параметрам с использованием альтернативных и взаимодополняющих методов, являются «откликом» на неблагоприятные антропогенные воздействия, т. е. критериями качества или «здоровья среды».

Одним из эффективных методов синтеза разнородных данных является картографический в сочетании с автоматизацией всех этапов работы с информацией. Перечисленным требованиям в настоящее время полностью удовлетворяют географические информационные системы (ГИС). Наиболее популярны в нашей стране такие коммерческие ГИС, как ArcGIS, MapInfo Professional, ГИС Карта. Все большую популярность набирает использование программного обеспечения QGIS, SAGA, GRASS. В рамках применения ГИС для контроля комплексного техногенного воздействия на окружающую среду ведется разработка геоинформационно-аналитических комплексов обеспечения экологическо-

¹ Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Электронный ресурс: government.ru/info/6217/

го мониторинга отдельных регионов. Наиболее эффективным подходом для интеграции данных различных природоохранных и медицинских ведомств является создание единой программно-информационной среды на основе геоинформационных технологий.

Примеры подобного подхода к решению этой проблемы в рамках регионов и отдельных субъектов РФ приводятся, например, Н.О. Гусейновой, А.А. Тигеевым, С.Ф. Мазуровым [Гусейнова, 2008; Тигеев, 2009; Мазуров, 2012]. Возможность обработки и картографической визуализации большого объема экологических данных по территориям крупных урбанизированных регионов делает применение ГИС весьма эффективным инструментом обеспечения мониторинга здоровья населения с учетом воздействия на него факторов экологического риска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика разработки прототипа геоинформационной системы представляет собой систему последовательных процедур (методов и операций), структура которых подчинена принятой технологии. Задание методики означает описание в виде единой нормативной модели процесса создания ГИС и ее информационно-программной технической базы. Базовым компонентом геоинформационной модели (ГИС) являются географические или пространственные данные, представленные в виде цифровых данных о пространственных объектах и включающие сведения об их местоположении и свойствах, пространственных и непространственных атрибутах. Основные пространственные слои – базовая карта территории, характеризующая гидрографию, рельеф, растительность и административное деление территории, а также тематические аналитические карты по выбранным факторам. Геоинформационная модель превращает сложный процесс оценки данных в наглядный процесс принятия решений.

Математико-картографическая модель оценки и прогнозирования медико-экологической обстановки региона представляет собой интерактивную среду, состоящую из геоинформационной системы, реализованной в виде проекта ArcGis Desktop, и модельного блока, встроенного в проект, разработанного с использованием модуля визуального программирования Model Builder и языка Python. Основное назначение геоинформационной модели – построение аналитических и синтетических карт оценки уровня медико-экологической безопасности региона.

Согласно принципу мультимасштабности и требованию к оценке рисков на разных муниципальных уровнях, систематизация интегральных показателей проводится по принципу административно-территориального деления: субъекты Российской Федерации – районы – урбанизированные (городские) территории. Принцип территориально-административного деления использован в связи с общепринятым видом статистической отчетности и агрегированием информации в рамках административно-территориальных единиц. Согласно принятому подходу, используется также единая картографическая основа для Российской Федерации, что позволяет провести сравнение полученных аналитических и синтетических карт.

Усовершенствованный метод оценки и прогнозирования медико-экологической обстановки на различных территориальных уровнях базируется на сочетании традиционных методов исследования онкологической заболеваемости и использовании геоинформационных технологий на базе современного программного обеспечения ArcGis Desktop*.

Задачей анализа повторяемости является проведение анализа исторического ряда наблюдений за переменными для оценивания вероятности повторения тех или иных значений выбранных переменных. Используемые при анализе данные необходимо оценивать с точки зрения исходных задач, продолжительности и полноты рядов имеющихся наблюдений. Кроме того, они должны удовлетворять таким статистическим критериям, как случайность, независимость, однородность и стационарность. Анализ повторяемости может выполняться с использованием точечных, региональных или обоих видов данных. Он может также вклю-

чать в себя историческую информацию и отражать естественные ограничения. Источниками неопределенности анализа повторяемости могут являться репрезентативность аналитического подхода, выбор вероятностного распределения и метод оценивания параметров.

Тест Манна-Кендалла – это основанная на ранжировании непараметрическая проверка оценивания значимости тренда. Нулевая гипотеза H_0 заключается в том, что выборка хронологически упорядочена, независима и однозначно распределена. Статистика S имеет следующий вид [Yue et al., 2002]:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i),$$

где

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x > 0 \\ 0, & \text{если } x = 0 \\ -1, & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

При $n \geq 40$ статистика S – асимптотически нормально распределена со средним 0 и дисперсией, описываемой следующим уравнением:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n-5) - \sum_t t(t-1)(2t+5) \right],$$

где t – размер данной связанной группы и \sum_t – сумма всех связанных групп в выборке данных. Стандартизованная проверочная статистика K может быть рассчитана с помощью уравнения:

$$K = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{Если } S > 0 \\ 0, & \text{Если } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{Если } S < 0 \end{cases}$$

Стандартизованная статистика K подчиняется закону стандартного нормального распределения со средним нулевым значением и единичной дисперсией. Значение вероятности P статистики K выборки можно оценить с помощью функции нормального интегрального распределения:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^K e^{-t^2/2} dt$$

Для независимой выборки данных без тренда значение P должно быть равно 0,5. Для выборки с большим положительным трендом – близким к 1,0; с большим отрицательным трендом значение P – близким к 0,0. Если выборки данных имеют внутрирядную корреляцию, то данные должны быть предварительно «очищены» от нее, и полученная поправка применена для вычисления дисперсии [Yue et al., 2002]. Наклон тренда оценивается следующим образом:

$$\beta = \text{median}\left(\frac{x_i - x_j}{i - j}, \forall j < i\right),$$

где β – это оценка наклона тренда, x_j – j -тое наблюдение.

При восходящем тренде значение β положительно, при нисходящем – β отрицательно.

Статистика Манна-Кендалла подразумевает ранговый корреляционный анализ количества точек или значений и их временных периодов.

Углубленный анализ пространственно-временных закономерностей содержит статистические инструменты для анализа распределения данных и выявления закономерностей в контексте пространства-времени. Включает группу инструментов для визуализации данных, хранящихся в виде куба Пространство-Время в формате netCDF как в 2D, так и в 3D.

Инструмент Создать куб Пространство-Время на основе набора точечных данных строит трехмерную кубическую структуру (в формате netCDF) для последующего анализа. Инструмент Анализ возникновения горячих точек использует этот куб в качестве входных данных и на основе него выявляет статистически значимые тренды горячих и холодных точек во времени. Инструмент Анализа локальных выбросов в качестве входных данных берет куб, чтобы определить статистически значимые выбросы высоких или низких значений, а также выбросы, имеющие значения, статистически отличные от их окружения во времени и пространстве. Группа инструментов Утилиты обеспечивает возможность визуализации данных и результатов анализа, хранящихся в кубе Пространства-Времени в двух и трех измерениях. Эти инструменты визуализации можно применять для изучения структуры куба, работы процессов агрегации куба и для визуализации аналитических результатов, добавленных в куб другими инструментами Углубленного анализа пространственно-временных закономерностей. Пространственно-временной куб объединяет точечные Входные объекты в группы пространства-времени. Структуру данных можно представить в виде трехмерного куба, который состоит из пространственно-временных бинов, где x,y-измерения представляют пространство, а t-измерение представляет время. Куб Пространство-Время использует точечные объекты с временной меткой и структурирует их в куб формата netCDF, агрегируя точки в бины пространства-времени. Для значений бинов выполняется подсчет количества точек, вычисляется статистика Поля суммирования и определяется наличие трендов во времени в каждом местоположении с использованием статистики Манна-Кенделла. Чаще этот инструмент необходим для создания куба, который будет использован в качестве входных данных для других инструментов анализа пространственно-временных закономерностей, но также можно использовать построенный куб для оценки трендов по временным рядам в области изучения. Структура куба содержит строки, столбцы и временные шаги. Перемножив число строк на число столбцов и на число временных шагов, можно получить суммарное число бинов в кубе. Строки и столбцы определяют пространственный экстенд куба, а временные шаги определяют временной экстенд¹. Алгоритм интегрального медико-экологического зонирования включает в себя следующие этапы:

1. Формирование информационного банка данных с дифференциацией по двум основным блокам: «Здоровье», «Среда обитания» с ежегодным пополнением информации по основным показателям;
2. Комплексное ранжирование экологических факторов риска на уровне районов и урбанизированных территорий;
3. Комплексное медико-географическое ранжирование районов и урбанизированных территорий по уровню онкологической заболеваемости как индикатору медико-экологической безопасности;
4. Оценку причинно-следственных связей в системе «среда-здоровье» на основе сочетания методов корреляционно-регрессионного анализа, моделирования и прогнозирования;
5. Интегральное мультимасштабное медико-экологическое зонирование территории.

Математико-картографическая модель состоит из двух основных компонент – модуль подготовки данных и расчетный модуль. Основное назначение модуля подготовки данных – преобразование входной информации в вид, удобный для расчета в основной мо-

¹ ArcGis Help 10.1 Hotspot Analysis (Spatial Statistics) // <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//005p00000010000000>

дели. Расчетный модуль состоит из следующих последовательно выполняемых моделей: «Факторы внешней среды», «Климат», «Факторы антропогенной нагрузки», «Оценка уровня онкологических заболеваний», «Статистическая оценка взаимосвязей факторов внешней среды и уровня онкологических заболеваний», «Прогностическая модель медико-экологической безопасности».

Результат работы первого модуля – загруженная в базу данных системы первичная информация по факторам среды, онкологической заболеваемости и нормативная база данных по РФ.

Результат работы второго модуля – карты оценки экологических рисков, построенные на основе показателей комплексной антропогенной нагрузки, аналитические карты пространственного распределения частоты заболеваемости анализируемыми видами рака, на основе данных по онкологической заболеваемости населения, полученные на основе Формы № 35, представляемой организационно-методическими отделами онкологических институтов и диспансеров, а также нормативная база данных, построенная на основе статистической отчетности по уровню онкологической заболеваемости в разрезе – РФ и субъект РФ.

В качестве входных данных используются показатели первичной выявляемости онкологических заболеваний четырех нозологических групп: рак легких, рак молочной железы, рак ободочной кишки и предстательной железы; комплексный показатель антропогенной нагрузки, комплексный показатель загрязнения атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы и шумовая нагрузка.

Результат – аналитические карты ранжирования на уровне городов и районов, где за анализируемый период времени статистически значимо изменился (или не изменился) уровень заболеваемости раком и уровень антропогенной нагрузки.

Подмодель «Расчет индекса медико-экологической безопасности» в качестве критерия типизации районов и городских округов использует индекс медико-экологической безопасности, рассчитанный как средний арифметический ранг из суммы трех интегральных показателей, выраженных в оценочных баллах.

Результатом расчета является интегральная карта медико-экологической безопасности, построенная на основе пространственного сложения карт локальных индексов, классифицированная по следующим градациям:

1. Высокая медико-экологическая безопасность.
2. Средняя медико-экологическая безопасность.
3. Низкая медико-экологическая безопасность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализировались статистические данные по экологическим показателям в городских и муниципальных округах Ростовской области, полученные в результате социально-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха, уличного шума, питьевой воды, почвы, статистические данные о первичной заболеваемости раком легких, раком молочной железы, раком ободочной кишки и предстательной железы в 43 районах и 16 городах Ростовской области за 16 лет, с 2001 по 2016 г., предоставленные Ростовским онкологическим диспансером и Центром гигиены и эпидемиологии в Ростовской области. Поскольку городские и муниципальные округа по численности и плотности населения, размеру территории и ряду других признаков имеют принципиальные различия, данные по городским округам анализировались отдельно от данных по муниципальным округам. Представленные материалы являются продолжением работ, начатых авторами в 2013 г. [Архипова и др., 2014].

Пространственно-временной анализ включал в себя три направления: исследование изменений объектов в пространстве; изучение пространственно-временных закономерностей; пространственно-временной прогноз, который предлагает варианты развития ситуации.

На этапе проведения разведочного анализа данных в результате проверки на нормальность распределений данных по экологическим показателям: K_a – показатель по атмосферному воздуху; K_n – показатель по уличному шуму; K_w – показатель по питьевой воде; K_s – показатель по почве; был сделан вывод о неприменимости к ним параметрических методов статистического анализа.

Все районы и города Ростовской области, в зависимости от числа больных (в пересчете на 100 тыс. населения) в каждом из них, были условно разделены на 3 группы:

1-я группа – города и районы, где число больных не превышает средних показателей по городам и районам Ростовской области – онкогенная ситуация в этих городах и районах названа «фоновой»;

2-я группа – города и районы, в которых число больных превышает средние показатели по городам и районам Ростовской области – города и районы с онкогенной ситуацией «повышенного риска»;

3-я группа – районы, где средний уровень заболеваемости (в пересчете на 100 тыс. населения) ниже средних показателей по городам и районам Ростовской области – группа «минимального риска».

На протяжении последнего десятилетия в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями мужского населения России рак предстательной железы занимает второе место после опухолей трахеи, бронхов и легкого. Именно по этому показателю в Ростовской области за анализируемый период отмечены самые значительные изменения. В связи с этим анализ заболеваемости раком простаты в 2016 г. и динамики ее изменения с 2001 по 2016 г. приведен как пример ранжирования районов и урбанизированных территорий по уровню онкологической заболеваемости.

Стандартизированный показатель заболеваемости раком предстательной железы в Ростовской области в 2016 г. составил 21,3 случая на 100 тыс. населения.

Необходимо отметить, что по сравнению с 2015 г. этот показатель увеличился на 26,8 %, с 16,8 до 21,3 случая на 100 тыс. населения. Этот высокий «фоновый» уровень заболеваемости раком простаты отмечен в большинстве районов Ростовской области (см. рис. 1). Самая высокая заболеваемость раком предстательной железы в 2016 г. отмечена в Орловском районе – 39,4 случая на 100 тыс. населения, что на 85,0 % ($p < 0,05$) выше, чем в среднем по районам Ростовской области.

Низкая заболеваемость раком предстательной железы по сравнению с «фоновым» уровнем в 2016 г. зарегистрирована в Заветинском, Зимовниковском, Красносулинском, Мартыновском, Миллеровском, Мясниковском, Морозовском, Октябрьском и Тагинском районах Ростовской области (см. рис. 1).

Самая высокая заболеваемость раком предстательной железы в 2016 г. среди городов Ростовской области была отмечена в Таганроге – 40,4 случая на 100 тыс. населения, что на 52,5,4 % ($p < 0,05$) выше, чем в среднем среди городского населения Ростовской области. Низкая первичная выявляемость рака простаты отмечена в Гуково, Зверево, Новошахтинске и Шахтах. В остальных городах Ростовской области заболеваемость раком простаты не отличалась от средних показателей среди городского населения – 26,5 случая на 100 тыс. населения.

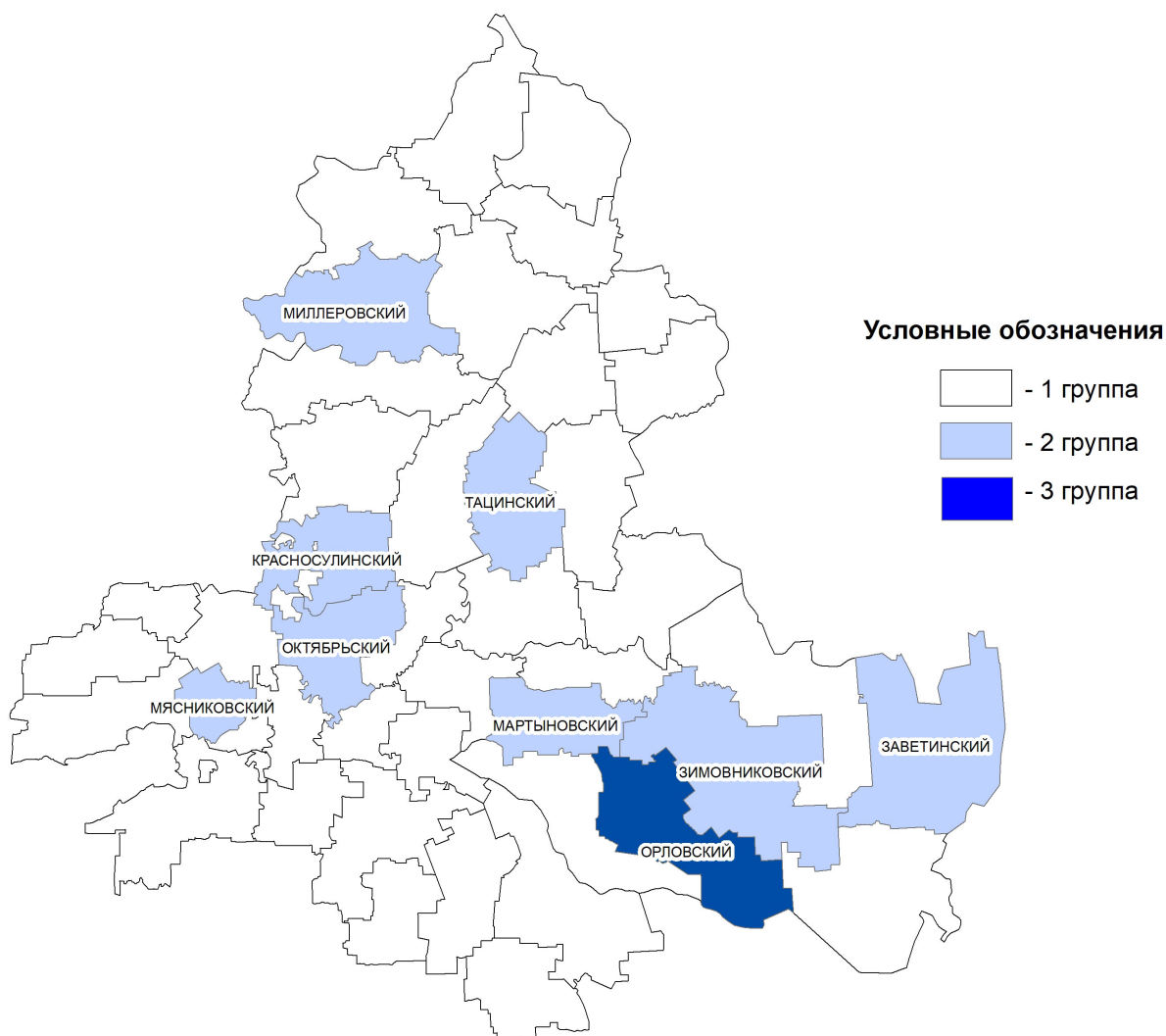


Рис. 1. Заболеваемость раком предстательной железы в Ростовской области в 2016 г. (1 группа – «фоновая» онкогенная ситуация; 2 группа – онкогенная ситуация «повышенного риска»; 3 группа – группа «минимального риска»)

Fig. 1. The incidence of prostate cancer in the Rostov Region in 2016 (group 1 – background oncogenic situation, group 2 – oncogenic situation of "increased risk", group 3 – "minimum risk" group)

Ретроспективный анализ заболеваемости отдельными формами рака за длительный период времени позволяет получить наиболее достоверные результаты на данной территории. Проанализирована онкоэпидемиологическая обстановка в городах и районах Ростовской области за 16 лет. «Анализ горячих точек» (Hot-Spot Analysis) заболеваемости раком предстательной железы в Ростовской области позволил выделить пространственные кластеры высоких значений – «горячие точки», где первичная выявляемость рака предстательной железы остается высокой на протяжении всего анализируемого периода, с 2001 по 2016 г. (см. рис. 2).

Ранее проведенные исследования позволили сделать вывод о тесной связи в системе «общественное здоровье–экология» между качеством среды и уровнем заболеваемости населения, что подтверждается результатами экспериментальных исследований, выполненными на территории Ростовской области за период с 2001 по 2012 г. [Архипова и др., 2014].

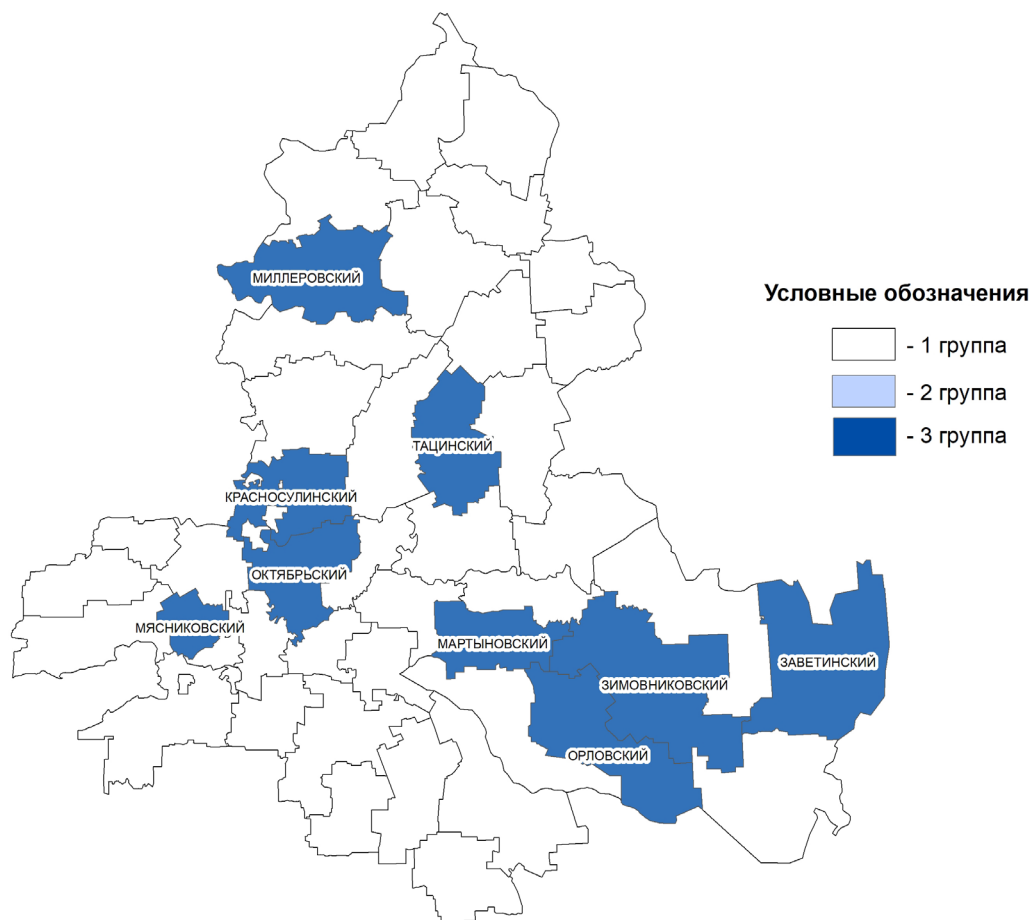


Рис. 2. Динамика заболеваемости раком предстательной железы
в районах Ростовской области с 2001 по 2016 г.

(1 группа – статистически значимо не изменяется ($p > 0,05$);
2 группа – снижается ($p < 0,05$); 3 группа – увеличивается ($p < 0,05$))

Fig. 2. The Dynamics of prostate cancer in areas of Rostov region from 2001 to 2016

(Group 1 – no statistically significant changes ($p > 0,05$);
Group 2 – decreased ($p < 0,05$); Group 3 – increases ($p < 0,05$))

Проведен пространственно-временной анализ медико-экологической безопасности (НЕС) территорий Ростовской области на основе определения НЕС по статистически данным за 2001–2012 гг. Комплексный показатель НЕС учитывает уровень антропогенной нагрузки, состояние природной среды и онкоэпидемиологическую обстановку в данном регионе, что позволяет получить объективную оценку уровня медико-экологической безопасности территорий. Результат расчета – интегральная (синтетическая) карта медико-экологической безопасности, построенная на основе пространственного сложения карт локальных индексов, классифицированная по следующим градациям: высокая медико-экологическая безопасность, средняя медико-экологическая безопасность, низкая медико-экологическая безопасность (см. рис. 3).

С целью анализа прогностического потенциала комплексного показателя медико-экологической безопасности территорий НЕС была проанализирована динамика заболеваемости раком легких, молочной железы, ободочной кишки и предстательной железы за 2001–2016 гг. в городах и районах Ростовской области с высокой и низкой медико-экологической безопасностью.



Рис. 3. Комплексный показатель медико-экологической безопасности Ростовской области
Fig. 3. A comprehensive index of health and environmental safety of the Rostov region

Так, за период с 2001 по 2016 г. уровень заболеваемости раком всех анализируемых нозологических форм в районах с неблагоприятной медико-экологической обстановкой сохранился на высоком уровне, а в отдельных районах увеличился. Так, в Ремонтненском районе Ростовской области за период с 2001 по 2016 г. заболеваемость раком ободочной кишки увеличилась на 221,2 % ($p < 0,05$) (с 12,0 до 38,6 случая на 100 тыс. населения). За период с 2001 по 2016 г. заболеваемость раком простаты увеличилась в 9,5 ($p < 0,05$) в Морозовском (с 2,4 до 22,8 случая на 100 тыс. населения), в 3,4 раза ($p < 0,05$) в Волгодонском (с 3,4 до 11,7 случая на 100 тыс. населения), в 11,3 раза ($p < 0,05$) в Багаевском (с 2,8 до 31,8 случая на 100 тыс. населения), в 6,6 раза ($p < 0,05$) в Усть-Донецком (с 3,3 до 21,9 случая на 100 тыс. населения) и в 4,2 раза ($p < 0,05$) в Сальском районах (с 3,9 до 16,3 случая на 100 тыс. населения) Ростовской области. Необходимо отметить, что снижения общего количества случаев выявления рака предстательной железы за исследуемый период наблюдения не было отмечено ни в городах, ни в районах Ростовской области.

Самая неблагоприятная медико-экологическая обстановка по результатам анализа HES в городах Ростовской области сложилась в Таганроге. Необходимо отметить, что в 2016 г. в этом городе отмечен высокий уровень заболеваемости всеми анализируемыми формами рака, а заболеваемость раком молочной железы, ободочной кишки и простаты увеличилась.

В районах с высокой медико-экологической безопасностью уровень заболеваемости раком ободочной кишки, молочной железы не изменился, а уровень заболеваемости раком легких даже снизился. Так, за период с 2001 по 2016 г. отмечено снижение первичной выявляемости рака легких в 2,4 раза ($p < 0,05$) в Красносулинском (с 90,9 до 27,3 случая на 100 тыс. населения), в 3,1 раза ($p < 0,05$) в Пролетарском (с 54,0 до 17,2 случая на 100 тыс. населения) и в 2,2 раза ($p < 0,05$) в Песчанокопском (с 91,9 до 41,9 случая на 100 тыс. населения) районах Ростовской области. Нельзя не отметить, что в Советском, Красносулинском и Орловском районах первичная выявляемость рака предстательной железы увеличилась в 2016 г. по сравнению с таковой в 2001 г. на 163,5 % ($p < 0,05$) (с 11,8 до 31,8 случая на 100 тыс. населения), 450,0 % (с 3,8 до 20,9 случая на 100 тыс. населения) и 676,0 % (с 5,0 до 38,8 случая на 100 тыс. населения), соответственно.

Несомненно, что рост первичной выявляемости рака простаты связан с введением мониторинга простатспецифического антигена (ПСА), появлением новых медицинских технологий, однако выявленная территориальная медико-экологическая контрастность (группы районов с различным рейтингом качества среды обитания и общественного здоровья), территориальная неоднородность заболеваемости РПЖ свидетельствуют о тесной связи уровня заболеваемости РПЖ и уровня медико-экологической безопасности [Архипова и др., 2016].

ВЫВОДЫ

Региональный мониторинг воздействия вредных факторов среды обитания на здоровье населения (медико-экологический мониторинг) – важнейший аспект деятельности региональных природоохранных ведомств. Эффективность создания подобных систем мониторинга значительно повышается на базе применения современных геоинформационных технологий, обеспечивающих достаточный набор инструментов для сбора, анализа информации, составления прогнозов и принятия на их основе управленческих решений для минимизации экологического риска для здоровья населения. Методология создания региональных систем медико-экологического мониторинга базируется на современных подходах к оценке риска для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания, реализованных с применением геоинформационных технологий и вероятностно-статистических многокритериальных оценок для выявления причинно-следственных связей в системе «факторы окружающей среды – здоровье населения».

В основе предложенного анализа лежит оценка встречаемости онкологических заболеваний как индикаторов воздействия на население природных, социально-экономических и техногенных изменений окружающей среды с использованием геоинформационных технологий. В выявлении причинно-следственных связей между заболеваемостью населения и факторами окружающей среды использованы методы математико-статистического моделирования, компьютерные банки тематических данных и методы пространственно-временного анализа.

Несомненно, что рост первичной выявляемости онкологических заболеваний связан с появлением новых медицинских технологий, однако показанная в результате исследования территориальная медико-экологическая контрастность (группы районов с различным рейтингом качества среды обитания и общественного здоровья), территориальная неоднородность заболеваемости свидетельствует о тесной связи уровня заболеваемости рассматриваемых видов онкологических заболеваний и уровня медико-экологической безопасности.

Злокачественные новообразования относят к индикаторным показателям здоровья с высокой степенью зависимости от качества среды обитания, поэтому рост онкологической заболеваемости часто рассматривают как гигиеническую характеристику экологического неблагополучия территории. Злокачественные новообразования являются экологически индикаторной патологией, высокоинформативным и социально значимым показателем состояния здоровья популяции в целом [Parsa, 2012; Архипова и др., 2014].

Сопоставление минимальных и максимальных показателей заболеваемости в популяции позволяет оценить долю онкологических заболеваний, которые можно предупредить. Выявленные региональные различия уровня заболеваемости являются не только основой для выявления факторов риска, но и для определения теоретических возможностей профилактики заболевания.

Установлено, что несмотря на сложный, опосредованный и инерционный характер воздействия качества окружающей среды на показатели здоровья, внутрорегиональная дифференциация уровня первичной выявляемости онкологических заболеваний в значительной степени соответствует пространственному распределению показателей медико-экологической безопасности.

Рост заболеваемости раком усугубляется также демографическими и социально-экономическими процессами в регионах Ростовской области, такими, как депопуляция и старение населения, половозрастной состав, уровень жизни, миграции населения, качество и доступность и качество медицинской помощи.

Геоинформационное моделирование медико-экологической безопасности регионов позволит обосновать принципы формирования региональных программ формирования здоровой окружающей среды, оптимизировать процесс управления медицинской помощью больным со злокачественными новообразованиями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект № 16-05-00940 Научно-методическое обоснование технологии интеллектуального анализа медико-экологической безопасности Южных регионов России.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, Project No 16-05-00940 Scientific and methodological substantiation of the technology of intellectual analysis of medical and ecological safety of the Southern regions of Russia.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Лихтанская Н.В., Тарасов В.А., Матишов Д.Г. География и динамика онкологических заболеваний в аграрных регионах Южного федерального округа // Вестник Южного научного центра, 2014. 10 (4): 96–103.
2. Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Чибичян М.Б., Коган М.И. Эпидемиология рака предстательной железы в Ростовской области. Пространственно-временная статистика // Онкоурология. 2016. № 4. С. 52–59.
3. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город / Э.Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 256 с.
4. Гусейнова Н.О. Экологический мониторинг Дагестана с использованием дистанционного зондирования и ГИС-технологий (на примере г. Махачкалы) / Н.О. Гусейнова, Н.М. Булаева, Б.И. Магомедов, С.Я. Аскеров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 477–482.

5. *Захаров В.М.* Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / В.М. Захаров, Д.М. Кларк. М.: Моск. отд. межд. фонда «Биотест», 1993. 68 с.
6. *Касимов Н.С.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы / Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.. М.: АПР, 2016. 276 с.
7. *Мазуров С.Ф.* Комплексное картографическое обеспечение административно-хозяйственных структур / Мазуров С.Ф., Пластинин Л.А. // Геодезия и картография. 2012. № 2. С. 30–37.
8. *Тугеев А.А.* Структура региональной экологической ГИС Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2009. № 10. С. 210–213.
9. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Касимова Н.С. М.: Изд-во МГУ, 1995. 336 с.
10. *Malkhazova S.M.* Health of urban population in Moscow and Beijing agglomerations / Malkhazova S.M., Linsheng Y., Wuyi W., Orlov D.S., Shartova N.V., Hairong L., Li W. // Geography. Environment. Sustainability. 2014. No 4 (V. 7). P. 41–53.
11. *Parsa N.* Environmental Factors Inducing Human Cancers. Iran J Public Health; 2012. 41 (11): 1–9.
12. *Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G.* The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrol. Processes 16, 2002. P. 1807–1829.

REFERENCES

1. *Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Likhtanskaya N.V., Tarasov V.A., Matishov D.G.* Geography and dynamics of oncological diseases in the agrarian regions of the Southern Federal District. Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra, 2014. 10 (4): 96–103 (in Russian).
2. *Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Chibichyan M.B., Kogan M.I.* Epidemiology of prostate cancer in the Rostov Region. Spatio-temporal statistics Onkourologiya. 2016. No 4. P. 52–59 (in Russian).
3. *Bezuglaya E.Yu.* What does the industrial city breathe? Bezuglaya G.P., Rastorgueva I.V., Smirnova L.: Gidrometeoizdat, 1991. 256 p. (in Russian).
4. Ecogeochemistry of urban landscapes. Ed. N.S. Kasimov. M.: Izd-vo MGU, 1995. 336 p. (in Russian).
5. *Guseinova N.O., Bulaeva N.M., Magomedov B.I., Askerov S.Ya.* Ecological monitoring of Dagestan using remote sensing and GIS technologies (on the example of Makhachkala). Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2008. Issue 5. T. 2. P. 477–482 (in Russian).
6. *Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforov E.M.* Geochemistry of the landscapes of Eastern Moscow. Moscow: APR, 2016. 276 p. (in Russian).
7. *Malkhazova S.M., Linsheng Y., Wuyi W., Orlov D.S., Shartova N.V., Hairong L., Li W.* Health of urban population in Moscow and Beijing agglomerations. Geography. Environment. Sustainability. 2014. No 4 (V. 7). P. 41–53.
8. *Mazurov S.F., Plastinin L.A.* Complex cartographic support of administrative and economic structures. Geodeziya i kartografiya. 2012. No 2. P. 30–37 (in Russian).
9. *Parsa N.* Environmental Factors Inducing Human Cancers. Iran J Public Health; 2012. 41 (11): 1–9.
10. *Tigeyev A.A.* Structure of the regional environmental GIS of the Tyumen Region. Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. 2009. No 10. P. 210–213 (in Russian).
11. *Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G.* The influence of autocorrelation on the ability to detect trends in hydrological series. Hydrol. Processes 16, 2002. P. 1807–1829.
12. *Zakharov V.M., Clark D.M.* Biotest. Integral Assessment of Health of Ecosystems and Species. Moscow: Moskovskoye otd. mezhd. fonda "Biotest", 1993. 68 p. (in Russian).