

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и
благополучия человека

Федеральное бюджетное учреждение науки «Ростовский научно-
исследовательский институт микробиологии и паразитологии»
Роспотребнадзора

Южный окружной центр по профилактике и борьбе со СПИДом



ФБУН Ростовский НИИ
микробиологии и паразитологии,
Роспотребнадзора

Т.И. Твердохлебова
2021 г.

Утверждено на заседании
Ученого совета протокол №8
от «09» декабря 2021 года

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭПИДНАДЗОРЕ ЗА ВИЧ-ИНФЕКЦИЕЙ

Ростов-на-Дону
2021 год

УДК 616.-097+616-082.3+614.4
ББК 55.148+53.52+88.4

Список исполнителей:

Рындич Антонина Алексеевна – кандидат медицинских наук, заведующий отделом эпиднадзора за ВИЧ-инфекцией Южного окружного центра по борьбе со СПИДом ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону

Твердохлебова Татьяна Ивановна – доктор медицинских наук, директор ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону

Воронцов Дмитрий Владимирович - кандидат психологических наук, доцент, заведующий кафедрой социальной психологии Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

Суладзе Александр Георгиевич - кандидат медицинских наук, главный врач ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону

Матузкова Анна Николаевна – кандидат медицинских наук, врач-инфекционист Южного окружного центра по борьбе со СПИДом ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону

Ответственные за выпуск:
А. А. Рындич, А.Н.Матузкова

Научный редактор:

Директор ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии», д.м.н. Т. И. Твердохлебова

Рецензент:

Алешукина Анна Валентиновна, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией вирусологии, микробиологии и молекулярно-биологических методов исследований ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора

А. А. Рындич, Т. И. Твердохлебова, Д.В. Воронцов, А. Г. Суладзе, А. Н. Матузкова. Геоинформационные системы в эпиднадзоре за ВИЧ-инфекцией: Аналитический обзор. – Ростов-на-Дону, 2021 - 27 с.

Аналитический обзор подготовлен Южным окружным центром по профилактике и борьбе со СПИДом ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора. Подготовленный аналитический обзор может быть рекомендован для использования организаторами здравоохранения, эпидемиологами, специалистами в области профилактики ВИЧ-инфекции. Он также может быть использован в процессе обучения студентов средних и высших учебных заведений медицинского профиля и при реализации программ последипломного образования.

Разрешается использование материалов обзора со ссылкой на авторов. При использовании в коммерческих целях публикация материалов возможна только с разрешения ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	6
1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС В ЗДРАВООХРАНЕНИИ	6
2. СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭПИДЕМИОЛОГИИ.....	9
3. ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВЕДОЧНОГО (ЭКСПЛОРАТОРНОГО) АНАЛИЗА ДАННЫХ	13
4. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ГИС	14
5. СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ГИС	15
6. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЦИФРОВОЙ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	16
7. ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ.....	17
8. АНАЛИЗ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ.....	19
9. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС В ПАРАЗИТОЛОГИИ	20
10. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС В АНАЛИЗЕ ЭПИДСИТУАЦИИ С ВИРУСНЫМИ ГЕПАТИТАМИ	20
11. СОВРЕМЕННАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИС.....	21
12. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС В ЭПИДНАДЗОРЕ ЗА ВИЧ-ИНФЕКЦИЕЙ	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
ЛИТЕРАТУРА	266

Принятые термины и сокращения

АБР - антибиотикорезистентность

АРВП – антиретровирусные препараты

АРТ – антиретровирусная терапия

ВИЧ – вирус иммунодефицита человека

ВИЧ-инфекция – болезнь, вызванная вирусом иммунодефицита человека

ВОЗ/ЮНЭЙДС – всемирная организация здравоохранения / объединённая программа ООН по борьбе с ВИЧ/СПИДом

ГИС – географические информационные системы

MOD (Mapping of Disease) - системы автоматизированного картографирования инфекционных болезней

СУБД - Систему Управления Базами Данных

СПИД – синдром приобретенного иммунодефицита человека

ЮОЦПБ со СПИДом – Южный окружной центр по профилактике и борьбе со СПИДом

Центры СПИД – центры по профилактике и борьбе со СПИДом и инфекционными заболеваниями

Введение

В литературе имеется множество определений географических информационных систем (ГИС), не все из которых можно считать корректными. В основе наиболее адекватного определения этого метода лежат следующие базовые понятия [11]:

1. Геосистема как любое физико-географическое образование от ландшафтной оболочки Земли.

2. Геоинформатика как научная дисциплина, изучающая геосистемы, и научно-технологическая деятельность по обоснованию, проектированию, созданию и эксплуатации географических информационных систем в практических или исследовательских целях.

Геоинформатика – это, во-первых, научная дисциплина, изучающая геосистемы посредством компьютерного моделирования, а во-вторых – технология сбора, хранения, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированной информации с целью решения задач инвентаризации, оптимизации и управления геосистемами. Сюда включается также производство специальных аппаратных средств и программных продуктов, включая создание специализированных баз данных, программных оболочек разного целевого назначения и проблемной ориентации.

Географические информационные системы (ГИС) являются одним из направлений геоинформатики. Поэтому наиболее правильным и полным определением следует считать следующее. ГИС – это автоматизированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация. Также это компьютерно-реализуемая мультисеть, организованная на основе информационно связанных автоматизированных систем информирования, моделирования и экспертизы.

Набор аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур ГИС создается для цифровой поддержки, пополнения, управления,

манипулирования, анализа, математико-картографического моделирования и образного отображения географических координированных данных [10].

ГИС эффективны во всех направлениях деятельности органов управления и контроля над процессами, включая эпидемические, позволяя принимать более взвешенные математически обоснованные решения [7]. Развитие геоинформационных систем было предопределено достижениями в области компьютерных технологий и компьютерной графики, а также автоматизацией картосоставительского процесса. Основная задача таких систем заключается в связывании географических объектов на карте с базой неких данных для облегчения процессов развернутого анализа и классификации информации по пространственным и описательным характеристикам.

Материалы и методы

Систематический поиск научных статей по теме ГИС проводился через базы данных научных электронных библиотек. Обоснованный индуктивный анализ проводился для исследований по значимым тематическим направлениям.

1. Использование ГИС в здравоохранении

Первое использование ГИС в медицинских целях прослеживается с 1968 г. [11]. В это время в США в интересах военно-медицинской службы был разработан проект системы автоматизированного картографирования инфекционных болезней MOD (Mapping of Disease). Эта система была рассчитана на глобальный масштаб и учитывала, помимо данных о заболеваемости, разнообразные географические и социальные факторы окружающей среды (этнический состав и плотность населения, температуру и влажность воздуха, резервуары и переносчики возбудителей болезней и т.д.). Очевидным преимуществом компьютерной картографии является

возможность выбирать участок на карте и быстро его перечерчивать, изменять масштаб, анализировать с применением разных шкал и проекций. В 1980-е годы появилась возможность объединения картографической информации и традиционных баз данных, что позволило отражать на карте любую информацию, имеющую географическую привязку и пространственные характеристики.

Широкое использование ГИС в здравоохранении разных стран мира началось в 90-х годах XX века в рамках Программы ВОЗ по борьбе с дракункулезом, где одной из первых была разработана и применена компьютерная программа на базе MapObjects компании ESRI HealthMapper ("Медицинский картограф") [8]. С помощью этой программы оказалось возможным достоверно определить сельские районы с благоприятными экологическими и социальными условиями в передаче этой болезни. Более того, программа HealthMapper позволила визуально определять границы очагов болезни, осуществлять мониторинг первично или повторно инфицированного населения деревень (очагов), что обеспечило возможность оптимального распределения затрат и ресурсов на проведение необходимых мероприятий.

Медико-географические карты широко используются с середины 19 в. для мониторинга распространения болезней, выявления источников и очагов инфекций, определения эндемичных территорий, на которых следует проводить противозидемические мероприятия, а также для оценки риска возникновения эпидемий. В это время были предложены две методологии эпидемиологического картографирования. Во-первых, методология картографирования, исходящего от болезни, при которой анализируются особенности распространения отдельных нозоформ или групп болезней на различных территориях. В рамках этой методологии В.Н. Беклемишев определил основные типы территориального распространения болезней: космополитные, зональные и региональные инфекции. Во-вторых, методология картографирования, опирающаяся на тип ландшафта (в т.ч.

социально-географического, а не только природного), с помощью которой возможно определение географических предпосылок распространения болезней. Этот подход позволяет установить, какой нозогенный потенциал имеет каждый ландшафт.

За последние 40 лет состоялась значительное продвижение интернет-технологий и геоинформационных систем в различные отрасли прикладной науки, включая эпидемиологию [13]. В настоящее время эти технологии породили инновационный и очень важный элемент эпидемиологического мониторинга – географические визуализации состояния здравоохранения и течения эпидемического процесса различных заболеваний. Разрабатываются как упрощенные статические визуализации, так и интерактивные карты с множественными данными, возможностью глубокой детализации, анимацией, отслеживания процессуальных характеристик в трехмерном измерении, которые требуют постоянного клиентского и серверного сопровождения. После внедрения инновационных технологий, таких как ГИС, не только полностью изменились подходы и методы разработок и создания карт, но и эффективность анализа и синтеза, а также возможности решения территориальных проблем. Привычные методы картографирования эпидемического процесса имеют существенное ограничение в виде статичности представляемой эпидемиологически значимой информации [4]. Использование компьютерных геоинформационных систем предлагает новый путь использования картографических, графических, числовых и других баз данных в эпидемиологии. Эта система предоставляет возможность придать графический вид эпидемиологическим данным в режиме реального времени. Существенно новым в использовании геоинформационных систем является возможность динамического отслеживания характеристик эпидемического процесса в пространственно-временном измерении. Важным преимуществом использования ГИС в эпидемиологии перед традиционным картографированием выступает пространственно-временная динамическая презентация большого количества

связанных данных, что позволяет увидеть динамику, направление и характер изменений различных показателей, вовлеченных или сопровождающих эпидемический процесс. Метод многокомпонентных динамических картографических экранов также позволяет применять для обработки, анализа и визуализации данных искусственный интеллект.

2. Современные геоинформационные системы в эпидемиологии

Современные геоинформационные системы в эпидемиологии — это совершенно новые компьютерные технологии, которые обеспечивают комплексную автоматизацию процессов сбора, хранения, обработки и анализа эпидемиологической информации с ее визуализацией на электронных картах [3]. Они становятся все более важными инструментами для проведения прогнозно-аналитических исследований в эпидемиологии. Они позволяют существенно сократить время и снизить трудоемкость исследований, получить требуемые результаты по ходу развития эпидемий или эпизоотий. Это чрезвычайно важно для организации мер эффективного противодействия патогенам, т.к. обеспечивает не только объективность эпидемического анализа ранее сложившихся ситуаций, но и позволяет перейти к поиску и формированию рациональных стратегий противодействия как «старым», так и новым типам патогенов.

Современные ГИС, которые могут работать в интересах решения прикладных задач эпидемиологии, содержат 5 ключевых составляющих: аппаратные средства, программное обеспечение и эпидемиологические данные, обученных специалистов и специальные методы решения прикладных задач эпидемиологии.

Эпидемиологические и другие данные — наиболее важный компонент ГИС, обеспечивающий постановку и решение прикладных задач. Например, данные о пространственном распространении инфекционных заболеваний людей или животных могут быть связаны с таблицами, которые могут

собираться и подготавливаться как самими эпидемиологами, так и приобретаться.

Прикладная ГИС хранит информацию о развитии эпидемической (эпизоотической) ситуации на конкретной территории в виде набора тематических слоев (население, животные, фауна, дороги, реки, учреждения здравоохранения, санитарно-эпидемиологической, ветеринарной служб, инфраструктура, домостроения и др.), объединенных между собой на основе их географического положения. Этот простой, но очень гибкий подход интеграции данных доказал свою ценность при решении задач эпидемиологии, например, при отслеживании процессов движения инфекционных болезней по территории страны, по движению «потоков» мигрантов из стран-очагов этих инфекций.

Применение ГИС особенно эффективно для детального отображения текущей или будущей картины развития эпидемической (эпизоотической) ситуации, воздействия на нее принятых специалистами мер по противодействию патогенам, по прогнозированию процессов распространения патогенов на региональном или глобальном уровне. Эпидемическая или иная служебная информация в ГИС может содержать множество сведений о пространственном положении источников инфекции, распределении по территории действующих сил эпидемии или эпизоотии с привязкой к географическим или другим координатам на карте территории. ГИС может работать с двумя существенно отличающимися типами данных — векторными и растровыми.

В векторной модели данных информация о точках, линиях или площадях (полигонах) кодируется и хранится в виде набора координат (X, Y) территории. Местоположение точки (точечного объекта), например, природного очага инфекции, описывается также парой координат (X, Y). Линейные объекты, такие как дороги, реки, сохраняются в ГИС как наборы координат (X, Y). Полигональные объекты типа речных водосборов, земельных участков или очагов распространения инфекций хранятся в виде

замкнутого набора координат. Векторная модель данных особенно удобна при описании дискретных объектов и меньше подходит для описания непрерывно меняющихся объектов.

Растровая модель информации в ГИС оптимальна для работы с непрерывными свойствами эпидемиологических объектов. Растровое изображение информации представляет собой набор значений для отдельных элементарных составляющих (ячеек) объектов (эпидемий или эпизоотий), что подобно отсканированной карте или картинке.

В ГИС можно задавать информационные шаблоны для поиска, проигрывать сценарии процессов появления и развития эпидемий (эпизоотий) по типу «что будет, если ...». Современные ГИС имеют множество мощных аналитических инструментов, которые нетрудно модифицировать для проведения эпидемиологического анализа.

Другой эффективный инструмент эпидемиологического анализа связан с процессом наложения разрозненных исходных данных, т.е. интеграции данных, расположенных в разных эпидемиологических или тематических слоях на общей карте. В простейшем случае — это операция отображения набора эпидемиологических данных на общий ландшафт, что дает новую «синтетическую» информацию по значимости причинно-следственных связей в эпидемиологическом расследовании.

Возможности ГИС не ограничиваются только тем, чтобы просто отображать результаты на карте, но и позволяют осуществлять анализ в пространственной перспективе различных количественных и качественных показателей, связанных со здоровьем [12]. Одним из оригинальных свойств ГИС является наличие тематических слоев, которые накладываются друг на друга в установленном соотношении и оцениваются с помощью статистического анализа для установления доказанных связей.

При использовании ГИС можно анализировать:

- текущее состояние здоровья населения, смертность, распространенность и инцидентность конкретных заболеваний, и их сочетание;

- риски для здоровья, влияние природных и антропогенных факторов;

- распределение общей медицинской инфраструктуры и ее использование;

- экономические аспекты здравоохранения;

- демографические, социально-экономические и культурные факторы.

ГИС-технологии могут решать задачи в диапазоне от постановки проблемы и выявления неизвестных факторов (характеристик, данных) до простого распространения известного знания для широкой публики [13]. Пользователи могут пассивно считывать представленные данные, а могут активно определять, что и как им посмотреть, под каким углом зрения, с какой степенью информативности и т.п. ГИС-технологии могут задавать фильтры доступности информации в зависимости от того, кто в конкретный момент пользуется картой: частное лицо или специалист из заинтересованной организации.

С самого начала до настоящего времени эпидемиологическая картография использует стандартизированные данные о смертности и летальности, заболеваемости и распространенности в различных географических и социально-демографических плоскостях. Что позволяет формулировать этиологические гипотезы, определять зоны необычно высокого риска, что позволяет эффективно планировать противоэпидемические и профилактические мероприятия, выделять актуальные факторы риска и распределение имеющихся ресурсов для противодействия распространению заболевания.

ГИС-технологии позволяют более отчетливо увидеть аномалии в течении эпидпроцесса в конкретных социально-демографических группах на определенных территориях и прогнозировать надвигающиеся риски осложнения эпидемического процесса. Современные карты на основе ГИС

имеют доступ к открытым библиотекам, к ресурсам анализа сетевого взаимодействия людей при использовании информации, учитывают возможности использования распределенных между разными пользователями процессов. В последнее время большой интерес проявляется к методу многокомпонентных динамических картографических экранов (MCDCDs), который использует возможности объединения усилий множества пользователей из различных групп и организаций и объединяет огромное разнообразие собираемых данных в единую интегрированную базу больших данных с помощью облачных технологий.

С помощью множества функций (увеличение географической позиции, сочленение разных пластов, поиск, фильтрация, обращение к истории работы с картой, сохранение разных использованных ранее путей поиска и обработки информации для облегчения повторения уже выполненного анализа при сопоставлении результативности разных способов работы с данными, использование широкого спектра цветов, форм, размеров, одновременное обращение к сети Интернет за дополнительной информацией и т.п.) пользователь может работать в ГИС с большими данными, извлекая намного более развернутые и детализированные описания.

3. Возможности разведочного (эксплораторного) анализа данных

ГИС открывает для эпидемиологии возможности разведочного (эксплораторного) анализа данных – анализа основных свойств, нахождение в них общих закономерностей, распределений и аномалий, построение начальных моделей на основе визуализации. Это дает максимальное проникновение в данные, позволяет обнаруживать структуры и наиболее важные переменные, и позволяет изучать вероятностные распределения, осуществлять многомерное шкалирование. Разработаны специальные средства разведочного пространственно-временного анализа больших данных в эпидемиологических целях. Разведочный анализ с помощью ГИС

позволяет быстрее увидеть, какие эпидемиологически важные данные доступны, а какие нет, каково их качество, оценить характер их воздействия на эпидемический процесс. Можно оценить пространственно-временные связи между подверженностью людей воздействию самых разнообразных характеристик окружающей среды и заболеваемостью.

4. Основные компоненты ГИС

Функционирующая ГИС состоит из пяти взаимосвязанных компонентов: аппаратные средства, программное обеспечение, исходные данные, исполнители и методы [8]. Базовыми предметами и понятиями остаются: территория с ее географическими особенностями, воздействующими на состояние здоровья населения; организация здравоохранения в регионах и городах; совершенствование медицинских услуг.

Главным компонентом ГИС являются пространственные данные (географические данные) и связанные с ними табличные материалы, которые подготовлены пользователем, либо приобретены на коммерческой основе. Табличные материалы — это база данных (БД), содержащая атрибутивные сведения географического объекта (границы административных территорий, транспортная система, возвышенности, реки, озера, моря, океаны и т.д.), а также сведения по демографическим показателям, клинико-инструментальным, лабораторным, анамнестическим, земельным, муниципальным, адресным и другим информационным материалам. Данные могут быть изменены в системе и дополнены. В процессе управления пространственными данными ГИС интегрирует эти сведения с другими типами и источниками данных, а также может использовать Систему Управления Базами Данных (СУБД), применяемую различными организациями. Информация об объектах местности может обрабатываться компьютерами только тогда, когда она представлена в цифровом виде. ГИС работают с векторными (объекты представлены в виде точек,

многоугольников, линий) и растровыми (фотография, состоящая из пикселей или цветных точек) типами данных. В зависимости от программного обеспечения ГИС могут работать сразу с двумя типами данных или по отдельности.

Основой тематических карт могут стать данные территориального охвата (глобальные, общенациональные, региональные, локальные) и проблемно-тематической ориентации - общегеографические, экологические и природопользовательские, отраслевые (водных ресурсов, лесопользования, геологические, туризма и т. д.). На эту основу можно наносить различную медицинскую информацию.

5. Схема построения ГИС

Схема построения ГИС должна включать семь шагов [11].

1. Формирование основных требований: источники входной информации, формы выходных данных, перечень решаемых задач.
2. Определение концепции решения проблемы, выбор ГИС оболочки.
3. Детализация общей задачи, логически связанное описание частей.
4. Алгоритмизация методов и решений задач, выбор технологических и математических решений, определение слоев карты, структурирование данных.
5. Оптимизация структуры на основе дополнительных сведений.
6. Реализация.
7. Модернизация, учет возможных ситуаций, которые были неизвестны ранее.

Важным элементом разработки ГИС является создание цифровой модели распространенности факторов эпидемического процесса в конкретном регионе. Анализ информации и визуализация целесообразна только на основе цифровой модели. Именно в этом случае исследователи получают неограниченные возможности моделирования с помощью как детерминистических, так и стохастических подходов. Так как большинство

задач медицинской эпидемиологии основано на величинах, имеющих случайную природу, то наиболее «продвинутой» для данной технологии является стохастическая модель, основанная на одно- и многомерных методах математической статистики. Необходима методология оценки надежности цифровых моделей в моделировании эпидемиологических задач медицинской географии с использованием подходов теории надежности для исчисления вероятности рисков осложнения и направления развития эпидпроцесса.

6. Основные требования к цифровой географической визуализации

Современные требования к цифровой географической визуализации [13]:

1. **Познавательные:** необходимо учитывать то, как люди познают реальность, что они могут запомнить, на что могут обратить внимание, как происходит решение проблем и постановка задач. Позволяет ли ГИС и созданная на ее основе карта продуцировать новое знание, а не просто предоставляет бессистемный набор имеющейся информации?
2. **Дружественность к пользователю (пользовательские характеристики):** насколько легко пользоваться картой и извлекать из нее требуемую информацию.
3. **Интерактивность:** способность карты откликаться на запросы пользователя, понимать их и предоставлять релевантную запросу информацию.
4. **Гибкость:** возможность быстро вносить изменения и предоставлять актуальную информацию, открытость к состоянию неопределенности (появлению новых обстоятельств, характеристик и т.п.).
5. **Приспособляемость:** возможность быстро изменять дизайн карты (всю социально-географическую среду (оболочку, систему) в целом или отдельные ее части) при изменении обстоятельств.

6. Многообразие: возможность учитывать как можно большее количество связанных характеристик и факторов.
7. Совместимость с другими системами или информационными продуктами.
8. Разнообразие: многокомпонентность пользовательских кнопок, которые должны привлечь внимание пользователя в отношении того, на что он раньше не обращал внимание, наглядное предоставление более широких возможностей анализа, превосходящие изначальные запросы или ожидания пользователя.

В современных продуктах, основанных на ГИС-технологиях, активно применяется озвучивание подсказок и комментариев, обращающих внимание пользователя на возможность подключения других доступных в системе блоков информации, которая может оказаться полезной, но которая может выпадать из сферы внимания из-за большого объема связанных данных. Исследования показывают, что использование анимации в картах позволяет вскрыть еле заметные в статическом изображении пространственно-временные паттерны эпидпроцесса, которые оказываются вне поля зрения даже опытных и хорошо осведомленных экспертов.

Сложные пользовательские и аналитические решения могут создавать проблемы непонимания и неверной интерпретации заложенной в интерактивные карты информации. В литературе очень много описаний того, как используются ГИС в эпидемиологии, однако, мало эмпирических исследований о том, к каким же последствиям приводит применение разных технологий географической визуализации при решении эпидемиологических задач и чем заключается удобство или неудобство этих разных технологий.

7. Выявление областей пространственной кластеризации

С помощью геоинформационной системы возможно выявление областей пространственной кластеризации случаев заболевания на основе предварительно обезличенных сведений об адресах проживания

заразившихся. Визуальное исследование пространственного распределения случаев COVID-19 при наложении информации о случаях на расположение учреждений здравоохранения позволило установить, что зоны с повышенной заболеваемостью совпадают с местами расположения медицинских организаций, как специализированных для обслуживания пациентов с COVID-19, так и неспециализированных, а также с общими маршрутами следования к ближайшей остановке общественного транспорта или торговой точке [2]. Однако визуальный анализ по плотности Епанечникова ядра (непараметрический способ оценки плотности случайной величины) не позволяет делать выводы о наличии причинно-следственных связей, поскольку является в большей степени описательной техникой, нежели аналитической. ГИС предоставляют возможность динамического отслеживания изменения плотности ядер, что позволяет устанавливать эпидемиологически значимые связи, учитывать миграционные потоки, отслеживать скорость распространения инфекции в зависимости от географического района с учетом привязанных к этим районам эпидемиологически важных данных. Метод позволяет значительно глубже анализировать связи между факторами и параметрами эпидемического процесса, анализируя точное географическое положение случаев инфекции. Существенным ограничением метода является доступ к необходимым данным и процедура предварительного внесения широкого спектра объяснительных факторов, которые задаются теоретической моделью. Отмечается и субъективность метода оценки плотности ядра, поскольку на сегодняшний день достоверных данных об обычном радиусе перемещения жителей в географических пространствах регионов не имеется. Статистически значимая кластеризация случаев инфекции позволяет рационально перераспределять ограниченные материальные и человеческие ресурсы в те районы города, где отмечается наиболее неблагоприятная ситуация с распространением заболевания.

8. Анализ антибиотикорезистентности

Описаны случаи эффективного применения ГИС российской разработки (AMRmap) для анализа антибиотикорезистентности холерных вибрионов, посредством которого осуществляется мониторинг клинически значимых микроорганизмов, содержащий набор инструментов для визуализации данных о чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам и распространенности основных генетических детерминант антибиотикорезистентности [9]. Информация, представленная в ГИС, включает: род и вид микроорганизма (*V. cholerae* O1 El Tor), наличие либо отсутствие генов *stx* и *tcr*, год выделения, источник выделения, наименование территории, на которой были изолированы культуры, номера штаммов, присвоенные в Музее живых культур Ростовского-на-Дону противочумного института Роспотребнадзора, чувствительность либо устойчивость к антибактериальным препаратам.

Работая с ГИС, можно анализировать АБР в динамике по годам либо в конкретные временные промежутки. Детальный анализ годовой динамики АБР культур, выделенных в 2012–2016 гг., показал, что на фоне постоянного выделения штаммов, устойчивых к фуразолидону (100%) и триметоприму/сульфаметоксазолу (35–93,7%), в указанный период наблюдалась изменчивость резистентности к другим антибактериальным препаратам.

Она позволяет наглядно проследить пространственную и временную динамику АБР штаммов на всех административных территориях страны, учитывая время, объект выделения, территорию, а также устойчивость к тому или иному антибактериальному препарату; определять сходства и различия штаммов по заданным параметрам. Информация, представленная в ГИС, может быть полезна при прогнозировании эффективности этиотропной терапии, а также в эпиднадзоре за холерой в России. Кроме того, имеется возможность ее пополнения за счет включения новых охарактеризованных штаммов *V. Cholera*.

9. Применение ГИС в паразитологии

Описана практическая значимость программы HealthMapper (версии 4.3) с интегрированными актуальными цифровыми картами России и созданной базы данных по трансмиссивным паразитозам и новым инвазивным переносчикам с географической привязкой [8]. Показана возможность пространственно визуализировать результаты мониторинга и прогнозировать развитие эпидемической ситуации по паразитозам на территории России. Математическое прогнозирование осуществляется с помощью специально разработанной базы данных, позволяющей определять территории повышенного риска по распространению трансмиссивных паразитозов и арбовирусных инфекций.

ГИС позволяет анализировать географические и природно-климатические параметры, определяющие возможности возникновения местной передачи трансмиссивных паразитозов и распространения инвазивных переносчиков арбовирусных инфекций. Визуализация результатов мониторинга служит основой рационального планирования комплексов профилактических мероприятий на территориях потенциального риска.

Отмечается, что ГИС существенно сокращает время на реагирование изменения эпидситуации [1]. Выделение участков с разным уровнем риска инфицирования населения чумой способствовало более эффективному использованию наличных сил и средств для обеспечения эпидемиологического благополучия.

10. Опыт использования ГИС в анализе эпидситуации с вирусными гепатитами

Интересен опыт применения ГИС для эпидемиологического анализа ситуации с вирусными гепатитами [5]. Обработка и представление традиционных эпидемиологических данных с помощью нового методологического подхода позволили получить значительно более

наглядную и, что самое главное, дополнительную информацию. Наглядное представление материалов по уровню носительства HBsAg и заболеваемостью острым вирусным гепатитом В позволило уже на том этапе сделать обоснованный вывод о явных недостатках в диагностике заболевания в ряде районов области.

На электронных картах атласа было наглядно отображено распределение заболеваемости той или иной формой ВГ по годам, а также по районам каждой территории. Было показано, как меняется возрастная структура лиц среди заболевших вирусными гепатитами, проиллюстрирована смена путей передачи гепатитов В и С в регионах округа.

Картографическая обработка информации позволила впервые выявить несоответствие в заболеваемости острыми, хроническими гепатитами В и С и носительством вирусов этих инфекций. Было показано, что на одного больного с острым гепатитом В или С приходится 3 - 4 и более больных хроническим гепатитом В или С и в десятки раз большее количество носителей вируса гепатитов В и С. Был сделан вывод о бессимптомном формировании хронических форм гепатитов и носительства возбудителей заболевания у лиц, не имеющих в анамнезе соответствующей острой формы инфекции.

11. Современная модернизация ГИС

До недавнего времени аналитико-прогностическая информация в ГИС эпидемиологической направленности основывалась на ретроспективных данных о числе заболевших и не учитывала динамику факторов среды. По результатам применения ГИС были сделаны выводы о необходимости модернизации разработанной модели. В качестве решений предлагается следующее:

– расширение информационной базы. использование новых форм федерального статистического наблюдения за инфекционными и паразитарными болезнями, а также детализированной эпидемиологической информации по отдельным нозологиям;

- исследование возможностей использования данных о серологическом мониторинге состояния коллективного иммунитета против управляемых инфекций;
- исследование возможностей использования данных о микробиологическом мониторинге;
- повышение информативности картографической основы в части дорожной сети, водных и лесных объектов, границ промышленных и урбанизированных территорий;
- исследование возможностей использования тематических данных внешних баз данных;
- исследование возможностей использования пространственного анализа заболеваемости на сопредельных территориях;
- исследование возможностей совершенствования пространственного анализа заболеваемости с учетом естественных границ, природных ареалов и транспортных коммуникаций;
- использование многофакторных вариантов анализа;
- разработка и исследование методов прогнозирования заболеваемости с учетом медико-биологических факторов;
- разработка и исследование методов прогнозирования заболеваемости с учетом климатических факторов;
- разработка и исследование методов прогнозирования заболеваемости с учетом географических факторов;
- разработка количественных критериев эпидемиологической активности для каждого инфекционного и паразитарного заболевания для своевременного выявления изменений эпидемиологической обстановки;
- анализ существующих систем условных обозначений и подготовка предложений по унификации обозначений на медико-географических картах;
- исследование возможностей применения специальных видов картографических проекций, трехмерных и динамических картографических отображений.

12. Возможности применения ГИС в эпиднадзоре за ВИЧ-инфекцией

Для центров по профилактике и борьбе со СПИДом ГИС дают возможность отображать особенности эпидпроцесса на каждой конкретной территории (статистическая обработка, картографические материалы, графики, диаграммы и т. д.) [4]. Этот метод требует унифицированной схемы сбора и первичной обработки информации с территориями округа на основе данных статистической отчетности. Система позволяет совместить статистические данные о различных параметрах эпидпроцесса, включая данные о сопутствующих инфекциях, с противоэпидемическими и профилактическими мероприятиями на конкретных географических участках, организационно-штатной структуре территориальных административных органов, вовлеченных в процесс предупреждения развития эпидпроцесса. Электронный эпидемиологический атлас позволяет максимально визуализировать традиционную эпидемиологическую информацию в скрининговом и мониторинговом режиме с использованием современных информационных технологий. На электронных картах атласа легко оценить особенности и тенденции развития эпидемического процесса. Атлас позволяет использовать данные многолетнего эпидемиологического мониторинга за инфекционной заболеваемостью на территориях округа, выбрать заинтересовавший объект на электронной карте и сразу же получить о нем все его эпидемиологические характеристики, варьировать объектным составом и способами их отображения на электронной карте. И наоборот, выбрав в таблицах информацию об объектах, удовлетворяющих некоторому условию, пользователь может сразу же увидеть на электронной карте местоположение этих объектов.

Отмечается, что в условиях российской системы эпиднадзора активное использование ГИС оправдано тем, что сложившаяся система эпидемиологического надзора за ВИЧ-инфекцией в РФ имеет мультифакторный и разноплановый характер, отличающийся от других стран

мира в плане большей информативности и объективности (СП 3.1.5.2826-10, 2011) [6]. Вместе с тем современные условия развития эпидемического процесса ВИЧ-инфекции требуют оперативного получения ответов на все чаще возникающие важнейшие вопросы эпидемиологии: определение источника инфекции, предполагаемые сроки инфицирования, установление границ эпидемического очага, особенности циркуляции резистентных штаммов и генетических вариантов ВИЧ, выяснение причин неэффективности применяемой АРВТ, развитие побочных эффектов терапии, непереносимость АРВП.

Современные особенности эпидемического процесса ВИЧ-инфекции в РФ (продолжительное развитие эпидемии во времени, широкомасштабное применение АРВТ, рост случаев инфицирования ВИЧ при оказании медицинской помощи, значительная миграционная нагрузка и рост международного туризма, активные научные разработки для создания вакцины, новых диагностикумов и лечебных препаратов и др.) диктуют необходимость расширения классической системы эпидемиологического надзора. Использование ГИС дает возможность создания единого информационного пространства в масштабе федеральных округов для проведения всестороннего эпидемиологического анализа. В качестве целевых пользователей ГИС выступают: население для информирования о санэпидситуации; специалисты для обмена информацией, научных исследований; административные органы для мониторинга, оперативной оценки ситуации и принятия управленческих решений. Включение оперативной оценки пространственного распределения при наличии отлаженных механизмов обмена данными между заинтересованными министерствами и ведомствами имеет огромный потенциал в планировании противоэпидемических мероприятий.

Заключение

Географические информационные системы (ГИС) - новый инструмент для здравоохранения. С ростом и увеличением доступности вычислительных мощностей и соответствующего программного обеспечения, ГИС находят более широкую аудиторию и новые точки приложения. В частности, ГИС могут быть мощными инструментами для понимания и предотвращения заболеваний. Например, в качестве средства визуализации программное обеспечение ГИС можно использовать для составления карты географического распределения болезней, связанных с ними факторов риска и услуг, доступных для профилактики и лечения. Более того, пространственный анализ этих данных позволяет анализировать риски заболеваний, тенденции эпидемий в пространстве и времени, а также очаги заболеваний. Эти инструменты могут способствовать планированию и распределению ресурсов здравоохранения для услуг по профилактике и лечению, а также помочь в оценке эффективности проводимых мероприятий. ВИЧ-инфекция продолжает оставаться серьезной угрозой для здоровья во всем мире, что подчеркивает необходимость дополнительных подходов к пониманию и смягчению последствий эпидемии. Быстрое развитие и разнообразие приложений ГИС в области эпиднадзора за ВИЧ-инфекцией дает большой потенциал для будущего мониторинга.

Литература

1. Балахонов, С. В., Щучинов, Л. В., Мищенко, и др. Организация профилактических, противоэпидемических мероприятий в целях снижения риска осложнения эпидемиологической ситуации по чуме на территории Республики Алтай // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2018; 6: 85–94
2. Блох, А. И., Пенъевская, Н. А., Рудаков, Н. В., Михайлова, О. А., Федоров, А. С., Санников А. В., Никитин С. В. 2020. Геоинформационные системы как инструмент эпидемиологического надзора за COVID-19 в городских условиях. COVID19-PREPRINTS.MICROBE.RU. <https://doi.org/10.21055/preprints-3111885>
3. Боев, Б. В., Макаров, В. В. Эпидемии гриппа и геоинформационные системы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Сельскохозяйственные науки. Животноводство. 2005. № 12. С. 6-15.
4. Ефимов, Е. И., Никитин, П. Н., Ершов, В. И., Рябикова, Т. Ф. Развитие и использование геоинформационных технологий в противоэпидемической практике. Цели, задачи, методы, результаты // Медицинский альманах. № 2 (7) июнь 2009. С. 43-47.
5. Ефимов, Е. И., Побединский, Г. Г. Опыт разработки ГИС «Электронный эпидемиологический атлас» // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 1. № 2. С. 3-18.
6. Зайцева, Н. Н. Комплексный подход к совершенствованию системы эпидемиологического надзора за ВИЧ-инфекцией на основе молекулярно-генетических методов и геоинформационных технологий. Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Казанский государственный медицинский университет. Казань, 2018
7. Криворотько, О. И., Кабанихин, С. И., Турарбек, А. Т., Бектемесов, М. А., Маринин, И. В., Садыкова, А. Б.. Геоинформационная система Казахстана. Математические модели геоинформационной системы Казахстана // Марчуковские научные чтения - 2017. Труды Международной научной конференции. 2017. С. 455-462.
8. Морозова, Л. Ф. Географические информационные системы в эпидемиологическом надзоре за паразитарными болезнями. Диссертация... к.мед.н. / Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М Сеченова Минздрава РФ. М., 2015.
9. Селянская, Н. А., Березняк, Е. А., Тришина, А. В., Симонова, И. Р., Егизарян, Л. А., Водопьянов, А. С. Пространственная визуализация данных по антибиотикорезистентности штаммов холерных вибрионов, изолированных на территории России // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2020; 97(1): 47–54. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-97-1-47-54>
10. Середович, В. А. Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация). Новосибирск: СГГА, 2008.

11. Ципилева, Т. А. Геоинформационные системы: Учебное пособие. Томск: Томский гос.ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010.

12. Часовской, А. А., Алференко, Е. В. Использование геоинформационных технологий в сфере здравоохранения и медицины // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 4 (19). С. 79-81.

13. Wei, L. L. Y., Ibrahim, A. A. A ... Welch, I. Survey on geographic visual display techniques in epidemiology: Taxonomy and characterization // Journal of Industrial Information Integration. 2020. Volume 18. Article 100139 <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100139>