

А.С.Водопьянов, В.В.Баташев, С.О.Водопьянов, С.В.Титова, Н.Л.Пичурина, И.П.Олейников,
А.В.Самородова, В.Д.Кругликов, Л.М.Веркина

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ
«ТЕРРИТОРИЙ РИСКА» ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВНЕШНИХ УГРОЗ
САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОМУ БЛАГОПОЛУЧИЮ**

*ФКУЗ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский противочумный институт», Ростов-на-Дону,
Российская Федерация*

Цель данного исследования состояла в разработке методики выявления административно-независимых потенциальных территорий риска при реализации внешних эпидемиологических угроз на примере холеры. **Материалы и методы.** Анализ проводили с использованием бесплатного программного обеспечения с открытым исходным кодом (QGIS 2.8 и GRASS GIS 7.0) на основе данных, полученных от Росграницы и Федеральной службы государственной статистики. Построение картограмм риска проводили на основе евклидовой дистанции и оценки плотности ядер. **Результаты и выводы.** Создана ГИС, содержащая информацию о пунктах пропуска через границу Российской Федерации, населенных пунктах, автомобильных дорогах и железнодорожных магистралях. Разработана методика выявления территорий риска завоза инфекционных болезней на модели холеры, при этом их суммарная площадь составила менее 1 % от всей площади страны. Установлено, что в ряде случаев территория риска располагается на некотором удалении от пункта пропуска, но наличие пункта пропуска не всегда приводит к формированию территории риска. Разработанная ГИС доступна на геоинформационном портале ФКУЗ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский противочумный институт».

Ключевые слова: внешние угрозы санитарно-эпидемиологическому благополучию, эпидемиологический риск, холера, географическая информационная система.

Корреспондирующий автор: Водопьянов Алексей Сергеевич, e-mail: vodopyanov_as@antiplague.ru.

A.S.Vodopianov, V.V.Batashev, S.O.Vodopianov, S.V.Titova, N.L.Pichurina, I.P.Oleinikov, A.V.Samorodova,
V.D.Kruglikov, L.M.Verkina

Development of Spatial Analysis Techniques for Identification of «Risk Areas» in Case of External Threats Realization as regards Sanitary and Epidemiological Welfare

Objective of the study was to develop the methodology for identification of administratively independent areas under potential risk of “external” epidemiological threat realization, by the example of cholera. **Materials and methods.** Analysis was conducted using free software package with open source code (QGIS 2.8 and GRASS GIS 7.0) on the basis of the data received from Rosgranita and the Federal State Statistics Service. The construction of risk cartogram was performed on the base of Euclidean distance and estimation of nuclear density. **Results and conclusions.** In accordance with the obtained results, the GIS containing information about the checkpoints on the Russian border, settlements, roads and railway lines was worked out. The method of identification of risk areas due to importation of infectious diseases based on the cholera model has been developed, and the total area of such territories was less than 1 % of the total area of the country. It was found that in some cases the risk area is located at a certain distance from the checkpoint, but the existence of checkpoint does not lead to the formation of risk areas. The developed GIS is available on the geo-information portal of FGHI Rostov-on-Don Research Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor.

Keywords: external threats to sanitary-epidemiological welfare, epidemiological risk, cholera, geographic information system.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Corresponding author: Alexey S. Vodopianov, e-mail: vodopyanov_as@antiplague.ru.

Citation: Vodopianov A.S., Batashev V.V., Vodopianov S.O., Titova S.V., Pichurina N.L., Oleinikov I.P., Samorodova A.V., Kruglikov V.D., Verkina L.M. Development of Spatial Analysis Techniques for Identification of “Risk Areas” in Case of External Threats Realization as regards Sanitary and Epidemiological Welfare. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2017; 3:12–15. (In Russ.). DOI: 10.21055/0370-1069-2017-3-12-15

Современные геоинформационные системы (ГИС) – это компьютерные технологии, которые обеспечивают комплексную автоматизацию процессов сбора, хранения, обработки и анализа информации с ее визуализацией на электронных картах.

С внедрением компьютерных технологий и географических информационных систем появилась возможность применять математический аппарат моделирования тематического содержания карт и создавать типологические, синтетические и систем-

ные медико-географические карты высокого уровня.

В эпидемиологии инфекционных болезней понятие «риск» рассматривается как возможность (вероятность) наступления какого-либо неблагоприятного события. При этом под термином «территория риска» рассматриваются не только территории с высокими показателями заболеваемости, но и вероятного заноса болезней, требующих проведения мероприятий по санитарной охране [5]. При этом эпидемиологические осложнения, связанные с заносом

возбудителя инфекции, определяются как «внешние» угрозы, а обусловленные активизацией местных зоологических форм как «внутренние» [7]. Однако риск заноса инфекций из-за рубежа, например, возбудителя холеры, в различных районах может быть неодинаковым [1, 4].

В последние годы помимо эндемичных территорий в Индии и Бангладеш выявлено формирование очагов в 12 странах Африки [3, 6]. На территории Российской Федерации случаи выделения возбудителя холеры всегда были связаны с заносами инфекции из других стран. Это позволило сделать вывод, что для нашей страны холера представляет собой внешнюю угрозу [6], при этом все заносы инфекции выявлены в глубине территории нашей страны [2].

На данный момент эпидемиологический надзор за холерой на территории Российской Федерации строится на дифференциации административных территорий по важнейшим критериям: удельный вес случаев заболеваний холерой, максимальные показатели заболеваемости на 100 тыс. населения, заносы инфекции, сезонность обнаружения холерных вибрионов в водных объектах и другие. Очевидно, что территория субъекта Российской Федерации является неоднородной по степени эпидемиологического риска. Так, даже небольшие поселения, расположенные поблизости от крупных городов и международных пунктов пропуска, подвергаются большому риску по сравнению с населенными пунктами, расположенными вдали от городов и крупных транспортных магистралей. Использование методов пространственной статистики позволяет анализировать взаимосвязи между различными факторами, характеризующими риск завоза инфекций без учета административного деления.

Например, аналогичный подход использован при выявлении зон риска при анализе распространения случаев холеры в Нигерии [9]. При этом авторы строили отдельные картограммы по таким факторам как плотность населения, зоны подвоза воды, удаленность от водопровода, плотность открытых водоемов, наличие скважин и количество осадков.

При анализе распространения малярии в Танзании [8] исследователи построили 20 слоев, каждый из которых отражал отдельный фактор, влияющий на распространение малярии, что позволило выявить несколько зон высокого риска.

В связи с этим, цель данного исследования состояла в разработке методики выявления административно-независимых потенциальных территорий риска при реализации внешних эпидемиологических угроз, например холеры.

Материалы и методы

Для пространственного анализа использовали бесплатную ГИС с открытым исходным кодом QGIS версий 2.2–2.6. Для отображения карт применяли сво-

бодно распространяемую JavaScript библиотеку leaflet (leaflet.org). Пространственные расчеты проводили с использованием модулей GRASS GIS 7.0 (grass.osgeo.org). Картографические данные получены из проекта OpenStreetsMap (openstreetmap.org). Данные о расположении пунктов пропуска через государственную границу получены с официального сайта Росграницы (rosgranitsa.ru). Для оценки численности населения крупных населенных пунктов использованы данные Федеральной службы государственной статистики (gks.ru). В работе использовали данные о выделении токсигенных штаммов холерного вибриона с 2006 по 2015 год на основе анализа паспортов из Музея живых культур ФКУЗ «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский противочумный институт». Картограммы, отражающие влияние отдельных факторов, строили на основе евклидовой дистанции (Euclidean distance) и оценки плотности на основе бивесовой функции ядра (QGIS 2.8).

Результаты и обсуждение

Для выявления территорий риска мы использовали данные о расположении пунктов пропуска граждан из других стран на территорию Российской Федерации, крупных населенных пунктов, в которые могут направляться больные, наличия интенсивных автомобильных и железнодорожных транспортных магистралей и узлов.

Для оценки риска сформированы четыре отдельные картограммы, каждая из которых отражает пространственное распределение одного анализируемого фактора.

Так, на основе расположения пунктов пропуска через государственную границу РФ составлена картограмма, на которой риск в каждой конкретной точке определялся, исходя из удаленности от пункта пропуска, включая международные аэропорты. В качестве примера приведен фрагмент карты территории Краснодарского края, на котором отражена картограмма территорий риска, рассчитанных с учетом расположения пунктов пропуска через государственную границу РФ.

Аналогичные картограммы построены для крупных федеральных и региональных автомобильных дорог и основных железнодорожных магистралей.

Одним из факторов, учитываемых предлагаемой методикой, является наличие крупных населенных пунктов вблизи пунктов пропуска через государственную границу. В связи с этим построена картограмма уровней риска близлежащих населенных пунктов, свидетельствующая о взаимосвязи населенных пунктов, имеющих транспортные связи с пунктами пропуска, и численностью населения, проживающего в каждом из них. Значимость каждого населенного пункта для оценки риска определяли как натуральный логарифм от числа жителей.

Для оценки интегративного риска построена результирующая картограмма, при этом значение каж-

дой точки рассчитывалось по формуле:

$$\text{РИСК} = (\text{Кавто} \times \text{Равто} + \text{Кжд} \times \text{Ржд} + \text{Кнас} \times \text{Рнас}) \times \text{Кпп} \times \text{Рпп},$$

где РИСК – интегративное выражение риска заноса в каждой точке результирующей картограммы; Равто, Ржд, Рнас, Рпп – уровень риска в каждой точке картограмм, рассчитанных на основе расположения автодорог, железнодорожных магистралей, населенных пунктов и пунктов пропуска; Кавто, Кжд, Кнас, Крпп – коэффициенты для каждой из картограмм.

Для определения коэффициентов на карту нанесены места заноса токсигенных штаммов холерного вибриона на территорию нашей страны за последние 10 лет. При этом подбор коэффициентов проведен таким образом, чтобы все места заноса холерных вибрионов имели максимальное значение РИСКА при минимальной сумме РИСКА всех точек карты. В результате значение $\text{Кавто} = 0,45$, $\text{Ржд} = 0,55$, $\text{Рнас} = 1,0$, $\text{Рпп} = 1,2$.

На основании этого построена итоговая картограмма, каждая точка которой отражала интегративный риск по угрозе завоза болезней в числовом эквиваленте, колеблющемся от 0 до 14000. При этом граница условных зон (территорий) риска была определена на основе изолинии со значением 5000 (минимальное значение, при котором все места заноса токсигенных холерных вибрионов попадают в зону риска). Последним этапом анализа является наложение на результирующую картограмму территорий риска административных границ.

Рассчитанные территории риска легли в основу ГИС, расположенной на геоинформационном портале Ростовского-на-Дону противочумного института по адресу: http://gis.antiplague.ru/risk_inf.php.

При детальном анализе картограммы удалось установить, что ряд выявленных территорий риска располагается вокруг пунктов пропуска. В качестве примера можно привести города Ростов-на-Дону (областной центр), Таганрог, Азов (рис. 1). При этом размер территории риска напрямую зависит от числа жителей в населенном пункте и интенсивности ав-

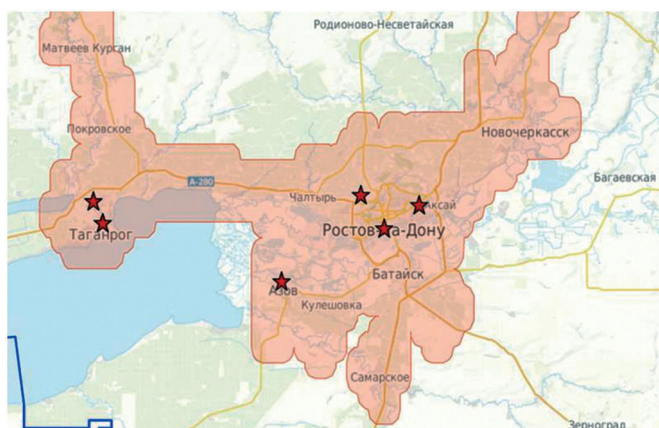


Рис. 1. Взаимное расположение территории риска и пунктов пропуска через границу. Территория риска отображена красным цветом, пункты пропуска – красной звездочкой

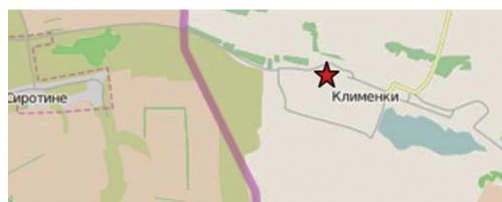


Рис. 2. Фрагмент границы между Украиной и Белгородской областью. В районе пункта пропуска «Клименки» зоны риска нет

томобильных и железнодорожных путей сообщения. Как видно из рис. 2, в Новочеркасске пункта пропуска нет, однако включение данного населенного пункта в территорию риска объясняется близостью к пунктам пропуска в Ростове-на-Дону и наличием интенсивного транспортного сообщения с областным центром.

Некоторые пункты пропуска не привели к формированию территорий риска, что, скорее всего, объясняется отсутствием поблизости крупных населенных пунктов и транспортных узлов (рис. 2).

Значение взаимного влияния расположения крупных населенных пунктов и транспортных магистралей показано на примере пунктов пропуска на автомобильном транспорте «Бугаевка» и пункта пропуска на железнодорожном транспорте «Гартмашевка», расположенных в Воронежской области (рис. 3). При этом сами пункты пропуска не формируют территории риска в связи с тем, что находятся вне пределов населенных пунктов, однако, по данным многофакторного пространственного анализа, установлено наличие значительной территории риска в селе Кантемировка, находящемся на расстоянии около 10 км от указанных пунктов пропуска.

Таким образом, предложенная методика, как новый элемент дополнительного подхода к эпидемиологическому надзору, позволяет выявлять территории риска с учетом пунктов пропуска через государственную границу и характеризовать территории как:

- территории риска, которые формируются вокруг пункта пропуска через государственную границу;
- территории риска, которые формируются на некотором удалении от пункта пропуска (в ближайшем крупном населенном пункте с транспортным

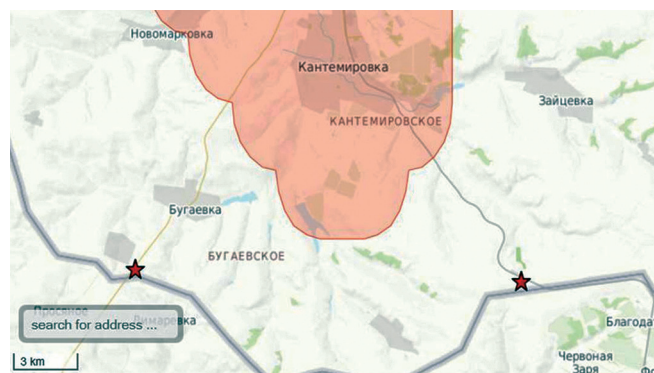


Рис. 3. Фрагмент границы между Украиной и Воронежской областью. Взаимное расположение территории риска и автомобильного пропускного пункта «Бугаевка» (слева) и железнодорожного «Гартмашевка» (справа)

узлом);

- отсутствие территорий риска, несмотря на наличие пункта пропуска.

При анализе территорий риска установлена неравномерность их распределения на территории Российской Федерации. Так, в Республике Крым площадь территорий риска составляет 47,21 % от всей площади региона, в Ростовской области – 8, в то время как в ряде регионов, например в Вологодской области, этот показатель составляет 0,24.

Учитывая динамичность этого распределения во времени важно, что использование компьютерных геоинформационных систем дает возможность коррекции информационных слоев (например, добавление новых пунктов пропуска, открытие или закрытие транспортных магистралей). При этом итоговая картограмма риска, быстро перестроенная с учетом изменившейся обстановки, может быть использована в оперативной работе эпидемиолога.

Таким образом, разработана методика, позволяющая выявлять территории риска по угрозе заноса инфекционных болезней, требующих проведения мероприятий по санитарной охране территорий, из зарубежных стран. Проведена апробация разработанной методики на модели холеры. Разработанная методика и созданная ГИС могут быть использованы для совершенствования противоэпидемических мероприятий, направленных на недопущение завоза опасных инфекционных болезней.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишняков В.А., Носков А.К., Чеснокова М.В., Лапа С.Э., Дампилова И.Г. Транспортная инфраструктура как внешний риск формирования чрезвычайных ситуаций эпидемиологического характера в Забайкальском крае. *Дальневосточный журн. инф. патол.* 2014; 24(24):124–6.
2. Кутырев В.В. Актуальные проблемы особо опасных инфекционных болезней и санитарная охрана территорий в современных условиях. *Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол.* 2008; 1:17–23.
3. Москвитина Э.А., Мазрухо А.Б., Адаменко О.Л., Арешина О.А., Назаретян А.А., Кругликов В.Д., Иванова С.М., Козина Д.А. Характеристика эпидемиологической обстановки по холере в мире (2003–2012 гг.) и прогноз на 2013 г. *Пробл. особо опасных инф.* 2013; 1:11–7.
4. Носков А.К., Вишняков В.А., Лапа С.Э., Зайцева Т.А., Дампилова И.Г., Попова А.В. Санитарная охрана территории субъекта Российской Федерации. Сообщение 2. Дифференциация территории субъекта РФ по риску возникновения болезней, представляющих опасность для населения. *Бюлл. Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАМН.* 2013; 1(89):140–4.
5. Онищенко Г.Г., Пятяшина М.А., Удовиченко С.К., Топорков А.В., Топорков В.П., Кутырев В.В. О двухуровневой структуре потенциальной эпидемической опасности массовых мероприятий с международным участием. *Пробл. особо опасных*

инф. 2015; 1:5–9.

6. Титова С.В., Москвитина Э.А., Кругликов В.Д., Самородова А.В., Тюленева Е.Г., Монохова Е.В., Писанов Р.В., Водопьянов А.С., Архангельская И.В., Иванова С.М., Ковалева Т.В., Водопьянов С.О. Холера: оценка эпидемиологической обстановки в мире и России в 2006–2015 гг. Прогноз на 2016 г. *Пробл. особо опасных инф.* 2016; 1:20–7. DOI: 10.21055/0370-1069-2016-1-20-27.

7. Удовиченко С.К., Топорков А.В., Карнаухов И.Г., Сафронов В.А., Кедрова О.В., Топорков В.П., Кутырев В.В. Оценка внешних и внутренних угроз санитарно-эпидемиологическому благополучию населения в условиях проведения массовых спортивных мероприятий. *Пробл. особо опасных инф.* 2013; 2:26–32.

8. Hagenlocher M., Castro M.C. Mapping malaria risk and vulnerability in the United Republic of Tanzania: a spatial explicit model. *Popul. Health Metr.* 2015; 13(1):2. DOI: 10.1186/s12963-015-0036-2.

9. Nkeki F.N., Osirike A.B. GIS-Based Local Spatial Statistical Model of Cholera Occurrence: Using Geographically Weighted Regression. *Journal of Geographic Information System.* 2013; 5:531–42. DOI: 10.4236/jgis.2013.56050.

References

1. Vishnyakova V.A., Noskov A.K., Chesnokova M.V., Lapa S.E., Dampilova I.G. [Transport infrastructure as an external risk of occurrence of emergency situations of epidemiological character in the Trans-Baikal Territory]. *Dal'nevost. Zh. Infek. Patol.* 2014; 24(24):124–6.
2. Kutyrev V.V. [Topical issues of particularly dangerous infectious diseases and sanitary protection of the territories under current conditions]. *Zh. Mikrobiol. Epidemiol. Immunobiol.* 2008; 1:17–23.
3. Moskvitina E.A., Mazrukho A.B., Adamenko O.L., Areshina O.A., Nazaretyan A.A., Kruglikov V.D., Ivanova S.M., Kozina D.A. [Characteristics of the epidemiological situation on cholera the world over in 2003–2012 and Prognosis for 2013]. *Probl. Osobo Opasn. Infek.* 2013; 1:11–7.
4. Noskov A.K., Vishnyakov V.A., Lapa S.E., Zaitseva T.A., Dampilova I.G., Popova A.V. [Sanitary protection of the territory of RF constituent entity. Communication 2. Differentiation of the territory of RF constituent entity in accordance with the level of risk of disease emergence, which pose a threat to the population]. *Bulletin of the East-Siberian Scientific Center of RAMS Siberian Branch.* 2013; 1(89):140–4.
5. Onishchenko G.G., Patyashina M.A., Udovichenko S.K., Toporkov A.V., Toporkov V.P., Kutyrev V.V. [Concerning two-level structure of potential epidemic hazard of the mass events with international participation]. *Probl. Osobo Opasn. Infek.* 2015; 1:5–9.
6. Titova S.V., Moskvitina E.A., Kruglikov V.D., Samorodova A.V., Tyuleneva E.G., Monakhova E.V., Pisanov R.V., Vodop'yanov A.S., Arkhangel'skaya I.V., Ivanova S.M., Kovaleva T.V., Vodop'yanov S.O. [Cholera: analysis of epidemiological situation across the world and in Russia within a period of 2006–2015]. *Probl. Osobo Opasn. Infek.* 2016; 1:20–7. DOI: 10.21055/0370-1069-2016-1-20-27.
7. Udovichenko S.K., Toporkov A.V., Karnaukhov I.G., Safronov V.A., Kedrova O.V., Toporkov V.P., Kutyrev V.V. [Evaluation of external and internal threats to sanitary-epidemiological welfare of the population in the context of mass sporting events]. *Probl. Osobo Opasn. Infek.* 2013; 2:26–32.
8. Hagenlocher M., Castro M.C. Mapping malaria risk and vulnerability in the United Republic of Tanzania: a spatial explicit model. *Popul. Health Metr.* 2015; 13(1):2. DOI: 10.1186/s12963-015-0036-2.
9. Nkeki F.N., Osirike A.B. GIS-Based Local Spatial Statistical Model of Cholera Occurrence: Using Geographically Weighted Regression. *Journal of Geographic Information System.* 2013; 5:531–42. DOI: 10.4236/jgis.2013.56050.

Authors:

Vodopianov A.S., Batashev V.V., Vodopianov S.O., Titova S.V., Pichurina N.L., Oleinikov I.P., Samorodova A.V., Kruglikov V.D., Verkina L.M. Rostov-on-Don Research Anti-Plague Institute. 117/40, M.Gor'kogo St., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation. E-mail: plague@aanet.ru.

Об авторах:

Водопьянов А.С., Баташев В.В., Водопьянов С.О., Титова С.В., Пичурина Н.Л., Олейников И.П., Самородова А.В., Кругликов В.Д., Веркина Л.М. Ростовский-на-Дону научно-исследовательский противочумный институт. Российская Федерация, 344002, Ростов-на-Дону, ул. М.Горького, 117/40. E-mail: plague@aanet.ru.

Поступила 14.04.17.