

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

С. А. Лаптёнок¹⁾, О. И. Родькин¹⁾, А. А. Кологривко²⁾,
Е. В. Федоренчик¹⁾, Ю. В. Кляусова²⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

Описан метод динамического пространственного моделирования с использованием технологий географических информационных систем отдельных геоэкологических факторов в целях повышения эффективности анализа эпидемиологических рисков. Представлены пространственные модели взаимодействия природных и антропогенных геоэкологических факторов на основе пространственной категоризации населенных пунктов и объектов на территории Республики Беларусь, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: пространственное моделирование; геоэкологические факторы; пространственная категоризация; эпидемиологические риски.

DYNAMIC SPATIAL MODELING OF THE INFLUENCE OF INDIVIDUAL GEOECOLOGICAL FACTORS ON THE FORMATION OF CONSEQUENCES OF MAN-MADE EMERGENCIES

S. A. Lapyonok¹⁾, O. I. Rodzkin¹⁾, A. A. Kologrivko²⁾,
E. M. Fedorenchik¹⁾, Y. V. Kliausava²⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1, 220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru

²⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus,

The paper describes the method of dynamic spatial modeling using geographic information systems technologies of selected geo-ecological factors in order to increase the efficiency of epidemiological risk analysis. Spatial models of interaction between natural and anthropogenic geoecological factors are presented based on spatial categorization of settlements and facilities in the territory of the Republic of Belarus located in territories contaminated with radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant.

Keywords: spatial modeling; geoecological factors; spatial categorization; epidemiological risks.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-327-331>

Заболееваемость злокачественными новообразованиями является одной из наиболее острых проблем, возникающих в результате загрязнения территории радионуклидами. Исследования в данной области уже длительное время остаются актуальными во всем мире.

В частности, в ходе наблюдения за состоянием здоровья лиц, подвергшихся воздействию поражающих факторов ядерной бомбардировки в Японии, было установлено, что в данной группе имел место достоверный рост заболеваемости злокачественными новообразованиями различной локализации: лейкозов – через 5 лет после бомбардировки, новообразований щитовидной железы – через 10, молочной железы и легких – через 20, желудка, ободочной кишки и миелом – через 30 лет [1].

Очевидно, что эффекты облучения ионизирующими излучениями являются только одним из ряда факторов, вызывающих рост заболеваемости злокачественными новообразованиями. В литературных источниках имеется информация о влиянии на данный процесс комплекса геофизических факторов, действующих в зонах расположения линеаментов – разломов земной коры [2; 3; 7; 8].

Материалы исследований последних десятилетий свидетельствуют о том, что в земной коре континентального типа повсеместно наблюдается густая, построенная по решетчатому типу сеть субвертикальных разломов, дробящих земную кору на многочисленные блоки, размеры которых измеряются километрами или десятками километров. Наиболее отчетливо на космических снимках выражены линеаменты, сопоставляемые с разломами, образованные в условиях растяжения земной коры шириной от 10 до 50 километров [2; 8]. Повышенной трещиноватостью и проницаемостью коры, мобильностью проявления геодинамических процессов отличаются участки пересечения линеаментов.

Установлено, что зоны разломов земной коры оказывают большое влияние на жизнедеятельность человека. Количество аварий на автодорогах выше в тех местах, где трассу пересекают системы разломов (геопатогенные зоны), а процент онкологических заболеваний оказался большим у людей, проживающих в населенных пунктах, расположенных вблизи суперрегиональных разрывных нарушений. Ураганы и смерчи прошлых лет были направлены преимущественно вдоль новейших геодинамических зон земной коры и аномалий магнитного и гравитационного полей Земли [3].

На основе информации, представленной, в частности, источниками [1-3], была сформулирована цель настоящего исследования: оценить влияния природных и связанных с ними антропогенных факторов, действующих в зонах разломов земной коры, на различные аспекты жизнедеятельности человека.

Поскольку такое влияние априори является многофакторным, а информация о действии ряда факторов часто носит не точный количественный, а категориально-качественный характер («есть – нет», «нет – мало – много», «слабый – умеренный – выраженный» и т.п.), для его оценки требуется использование соответствующих методов, позволяющих получить количественную оценку значимости влияния факторов, действие которых оценивается в качественном виде. К такого рода методам можно отнести методы оценки корреляции сопряженных признаков, используемые для обработки категоризованных данных: метод логарифмов преобладания [4; 6] и метод приращения информации [5; 6]. Очевидно, что для эффективной работы с подобными методами безусловно необходимо адекватное разделение исследуемых объектов на соответствующие категории (категоризация данных). Т.к. информация в данном случае носит пространственный характер, то и деление объектов на категории должно производиться в соответствии с их пространственными свойствами – атрибутами. Для такого процесса целесообразным представляется применение технологии географических информационных систем, реализующей широкий спектр функций обработки пространственно распределенных данных.

Объектом исследования являлся фрагмент поверхности Земли, ограниченный территорией Воложинского и Столбцовского районов Минской области Республики Беларусь. Для создания и анализа растровых и векторных пространственных моделей использовались стандартные средства вычислительной техники и программный комплекс ArcView GIS 3.2a с Модулями расширения ImageWarp и РАСТР Профи. Топографической основой для моделирования служили карты местности масштаба 1 : 100 000 1986 г. издания (листы N-35-65, N-35-66, N-35-67, N-35-77, N-35-78, N-35-79, N-35-89, N-35-90, N-35-91), карта загрязнения территории РБ ^{137}Cs по состоянию на 1995 год масштаба 1 : 1 000 000 и карта-схема линеаментов и кольцевых структур Беларуси по данным космических съемок [2].

Ранее в ходе исследований был установлен ряд населенных пунктов, находящихся в зоне энергетической активности литосферы, расположенной на территории Воложинского

и Столбцовского районов Минской области (так называемой Ивенецко-Першайской зоны) [3]. В частности, установлено, что непосредственно в зонах над разломами земной коры расположены 22 населенных пункта, в зоне между разломами – 30 населенных пунктов, в том числе 21 – на территории, загрязненной радионуклидами ^{137}Cs , в качестве контрольных были отобраны 15 населенных пунктов, расположенных вне зон, находящихся над разломами и между ними. Учитывая, что на территории Воложинского района расположены свыше 400 населенных пунктов, а Столбцовского – свыше 250, точность оценки можно значительно повысить путем расширения списка исследуемых населенных пунктов в целях получения дополнительной информации.

Данная задача решалась с использованием инструментальных средств среды ArcView GIS и модулей РАСТР Профи и ImageWarp. Средствами ArcView GIS было проведено геокодирование административных границ Воложинского и Столбцовского районов и населенных пунктов, расположенных на территории этих районов, на топографической основе карты масштаба 1 : 100 000. Затем инструментальными средствами модулей РАСТР Профи и ImageWarp были осуществлены преобразование масштабов и привязка растровых и векторных тематических слоёв (векторные слои административных границ и населенных пунктов, растровые изображения карты-схемы линеаментов РБ и карты загрязнения территории РБ ^{137}Cs) для построения комбинированной пространственной модели, в ходе которой установлены следующие факты.

1. Расположение и направление разломов, над которыми расположены установленные ранее населенные пункты практически полностью соответствуют расположению и направлению фрагмента Балтийско-Украинского супперрегионального линеамента [2].

2. Территория, загрязненная радионуклидами ^{137}Cs , соответствует территории, ограниченной разломами.

3. Атрибутивная пространственная информация о населенных пунктах, расположенных как внутри изучаемой зоны (загрязненной радионуклидами ^{137}Cs и «чистой»), так и вне ее, соответствует ранее полученным данным.

4. Территория Воложинского и Столбцовского районов, загрязненная радионуклидами ^{137}Cs , расположена точно над фрагментом Балтийско-Украинского супперрегионального линеамента.

С учетом полученной информации средствами ArcView GIS была проведена экстраполяция уже имеющихся данных на всю территорию Воложинского и Столбцовского районов с целью формирования тематических слоев данных, включающих все населенные пункты в этих районах, относящихся к определенным ранее категориям.

Результаты данного исследования послужили основой для дальнейшей работы по оценке воздействия геофизических факторов, действующих в зонах линеаментов и кольцевых структур литосферы, на формирование геоэкологической обстановки.

С использованием описанной методики, материалов (карты масштаба 1 : 100 000, карта-схема линеаментов и кольцевых структур) и программного обеспечения (ArcView 3.2a, ImageWarp, РАСТР Профи) было осуществлено геокодирование с последующим совмещением масштабов населенных пунктов, входящих в «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь №132 от 01.02.2010 г. При этом для Витебской, Гродненской и Минской областей осуществлялось геокодирование всех населенных пунктов, входящих в перечень (все расположены в зоне проживания с периодическим радиационным контролем, кроме деревни Тихоновщина Воложинского района Минской области), для Брестской, Гомельской и Могилевской – всех населенных пунктов, расположенных в зоне последующего отселения, зоне с правом на отселение и части населенных пунктов, расположенных в зоне проживания с периодическим радиационным контролем.

При анализе полученной комбинированной пространственной модели очевидно прослеживается тенденция к концентрации населенных пунктов, включенных в «Перечень...», вблизи ряда линейных элементов и кольцевых структур. В Витебской, Гродненской и Минской областях это характерно для всех населенных пунктов. При этом единственный населенный пункт в Витебской области, включенный в «Перечень...», расположен в непосредственной близости от пересечения двух линейных элементов.

В Брестской, Гомельской и Могилевской областях данная тенденция для населенных пунктов, расположенных в зоне проживания с периодическим радиационным контролем менее очевидна, так как загрязнению подверглись значительно большие площади. Тем не менее, она проявляется для населенных пунктов, расположенных в зоне с правом на отселение и зоне последующего отселения.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 9 от 11.01.2016 г. утвержден новый «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения». В 2021 году в данный документ внесены изменения, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 75 от 8.02.2021 г. В таблице представлены данные, отражающие динамику изменения количества населенных пунктов Республики Беларусь, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения в соответствии с официальной информацией.

**Динамика количества населенных пунктов Республики Беларусь,
находящихся в зонах радиоактивного загрязнения**

Область	Год	Зона с периодическим радиационным контролем	Зона с правом на отселение	Зона последующего отселения
Брестская	2010	114	5	-
	2016	99	5	-
	2021	92	-	-
Витебская	2010	1	-	-
	2016	-	-	-
	2021	-	-	-
Гомельская	2010	950	352	13
	2016	951	254	11
	2021	945	200	3
Гродненская	2010	106	-	-
	2016	84	-	-
	2021	66	-	-
Минская	2010	117	1	-
	2016	90	1	-
	2021	69	-	-
Могилевская	2010	616	122	5
	2016	603	92	3
	2021	599	70	2

С использованием описанной выше методики на основании данных «Перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 9 от 10.01.2016 г. и «Перечня населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 75 от 08.02.2021 г., построены

комбинированные пространственные модели, в которых для Витебской, Гродненской и Минской областей осуществлялось геокодирование всех населенных пунктов, входящих в перечень (все расположены в зоне проживания с периодическим радиационным контролем, кроме деревни Тихоновщина Воложинского района Минской области), для Брестской, Гомельской и Могилевской – всех населенных пунктов, расположенных в зоне последующего отселения и зоне с правом на отселение (населенные пункты, расположенные в зоне проживания с периодическим радиационным контролем, были исключены из модели в целях определенного повышения качества восприятия).

Анализ данной динамической пространственной модели позволяет заключить, что при незначительном сокращении количества населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами ^{137}Cs , тенденция их концентрации вблизи линейных и кольцевых структур литосферы сохраняется.

Следует заметить, что не все линейные и кольцевые структуры отмечены зонами загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs . Причины данного явления могут быть установлены в ходе дополнительных исследований состояния и геофизических характеристик разломов.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что использование метода пространственно-атрибутивной категоризации данных с использованием средств программного обеспечения, реализующего технологии географических информационных систем, позволяет получить новую информацию об объекте исследования. Полученная дополнительная информация обеспечит повышение адекватности и эффективности моделирования и достоверности оценок при анализе моделей.

Библиографические ссылки

1. Антипова С. И., Шебеко Н. Г. Заболеваемость злокачественными новообразованиями в регионах Беларуси через 22 года после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 2009. № 1-2. С. 3–10.
2. Михайлов В. И. Разломы земной коры и их влияние на строительство и эксплуатацию инженерных сооружений // Вестник БНТУ. 2009. № 1. С. 43–48.
3. Тяшкевич И. А. 40 лет развития метода дистанционного зондирования природных ресурсов в Республике Беларусь // Дистанционное зондирование природной среды: теория, практика, образование. / Минск. 2006. С. 6–10.
4. Лаптенюк С. А., Аринчин А. Н., Арсюткин Н. В. Оценка влияния некоторых стрессовых факторов на развитие зоба у детей методом логарифмов преобладания // Здоровоохранение. 1998. №7. С. 43–46.
5. Лаптенюк С. А., Арсюткин Н. В. Оценка влияния некоторых стрессовых факторов на развитие зоба у детей методом приращения информации // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 1998. №3. С. 22–26.
6. Бубнов В. П., Дорожко С. В., Лаптенюк С. А. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа. Минск : БНТУ. 2009.
7. Морзак Г. И., Лаптенюк С. А. Пространственное моделирование в промышленной и социальной экологии. Минск : БГАТУ. 2011.
8. Лаптенюк С. А. Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций. Минск : БНТУ. 2013.
9. Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И. Эколого-тектоническая среда Беларуси. Минск : Беларуская навука. 2015.
10. Лаптенюк С. А., Бойчук Л. А. Пространственно-атрибутивная категоризация геоэкологических данных при анализе эпидемиологических рисков // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. 2016. №4. С. 93–98.
11. Лаптенюк С. А. Пространственное моделирование экологических процессов средствами географических информационных систем : учебно-методическое пособие. Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. 2020.