

УДК [004.9:528.92]+504.05

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-117-126

Характеристика результата экологического моделирования с использованием инструментария ГИС загрязнения компонентов окружающей среды

А. С. Флеенко¹✉

¹ Институт пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта (РУТ – МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

e-mail: fleenkospb@mail.ru

Аннотация. Закономерным развитием эколого-картографического моделирования, основным результатом которого выступает визуализация экологической информации, является расширение количества применяемых при этом инструментов и стремление к автоматизации. Для оптимизации процессов экологических исследований предполагается построение пространственных моделей загрязнения компонентов окружающей среды с использованием геоинформационных систем. В представленной работе с использованием системного подхода выполнена характеристика проектируемого инструмента, объединяющего в себе экологическое моделирование, достижения картографии и преимущества геоинформационных систем. Выделены ключевые входные и выходные параметры для двух типов моделей, представляющих депонирующие и подвижные среды, а также представлена графическая интерпретация результатов с использованием систем «черного ящика». Использование инструментов геоинформационных систем для решения экологических задач может существенно расширить возможности исследователей, в связи с чем обоснована возможность проектирования эколого-картографического инструмента ГИС.

Ключевые слова: системный подход, геоинформационные системы, эколого-картографическое моделирование, модель загрязнения окружающей среды

Для цитирования:

Флеенко А. С. Характеристика результата экологического моделирования с использованием инструментария ГИС загрязнения компонентов окружающей среды // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 117–126. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-117-126

Введение

Развитие экологии происходит в условиях интеграции знаний из различных научных областей с целью исследования сложной системы «человек – загрязняющие вещества – окружающая среда». Усиление мультидисциплинарности исследований способствует расширению знаний о функционировании природных и антропогенных систем и позволяет использовать эти знания для решения экологических проблем.

Одной из важных особенностей экологических исследований выступает интерпретация полученных данных для формирования рекомендаций и последующего принятия ре-

шений. Эта интерпретация во многом зависит от качества иллюстративных материалов, включающих графики, схемы и карты. Пространственное моделирование распространения загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды представляется актуальной задачей, поскольку позволяет повысить точность экологических исследований и прогнозов, а также эффективность мер по охране окружающей среды и ликвидации накопленного вреда [1, 2]. Создание цифровых карт на основе моделей позволяет систематизировать, структурировать и визуализировать данные, а также в целом способствует повышению информационного обеспечения приро-

доохранной деятельности [3]. Это подчеркивает актуальность развития эколого-географического картографирования как одного из направлений тематического картографирования и использования в экологических исследованиях геоинформационных систем. Разработка тематических инструментов в рамках геоинформационных систем может быть перспективным направлением как для геоинформатики, так и для экологии [4].

Первым шагом проектирования подобного инструмента работы с экологической информацией является описание поступающих и идентификация итоговых данных. В связи с этим сформулирована цель исследования – характеристика основного результата работы эколого-картографического инструмента ГИС – пространственной модели загрязнения компонентов окружающей среды и выделение необходимых для её построения наборов данных. Для достижения поставленной цели определён ряд задач: во-первых, составление перечня исходных сведений, отвечающих целям и задачам экологических исследований, и формата их представления; во-вторых, определение информации, полученной по результатам работы проектируемого эколого-картографического инструмента, и формата её представления; в-третьих, подготовка графической интерпретации результатов исследования.

Материалы и методы

Среди методов исследования в данной работе ведущая роль отведена методу построения систем «черного ящика» в рамках системного подхода [5, 6]. Благодаря его использованию

возможно определить значимые входные и выходные параметры, абстрагируясь от характеристики функционирования самого эколого-картографического инструмента. Это связано с тем, что при описании системы «черного ящика» важны не структура и элементный состав системы, а объемы поступающей информации, виды процессов и объектов, необходимые для получения конечного результата. Итогом исследования такой системы является определение значимых исходных параметров системы и требований к результатам ее работы.

Построение системы «черного ящика» связано с определением границ исследуемого объекта относительно окружающей его среды, а также идентификацией входных и выходных параметров системы без конкретизации внутренних процессов, приводящих к их трансформации. Таким образом, задача сводится к описанию и графической интерпретации исследуемого объекта [7].

Для определения границ рассматриваемого «черного ящика» примем в качестве внешней среды систему организации, инициирующей процесс построения Модели, и окружающую среду, представленную природными компонентами и социо-экономическими образованиями. Целевой функцией указанной организации выступает принятие решений по снижению загрязнения окружающей среды. Из внешней среды поступают средства производства и информационные ресурсы. Правовые и технические условия производства работ определяют ограничения моделирования. Графическая интерпретация положения «черного ящика» относительно внешней среды представлена на рис. 1.



Рис. 1. Графическая интерпретация взаимодействия рассматриваемой системы «черного ящика» с внешней средой

На основе анализа ряда научных исследований определено, что среди экологических карт преобладают карты, отображающие пространственное распределение качественной и полуколичественной информации с использованием комплексных показателей оценки [8], для анализа и прогноза изменений состояния компонентов окружающей среды [9].

Необходимо отметить, что важной особенностью экологического картографирования является принципиальное отличие в интерпретации представленных на картах сведений о загрязнении депонирующих и подвижных сред. В случае исследования депонирующих сред полученные данные будут являться характеристикой некоторого периода накопления загрязняющих веществ, в то время как для подвижной среды в связи с высокой изменчивостью та же информация является фиксацией ситуации только на время опробования. В соответствии с этим базовыми подходами эколого-картографического моделирования выступают пространственная интерполяция и дисперсное моделирование [10].

Наибольшее развитие в рамках пространственного моделирования распространения загрязняющих веществ получило картографирование снежного покрова, биологических объектов и почвенного покрова [11] как сред, накапливающих в себе загрязняющие вещества, с целью дальнейшей косвенной характеристики подвижных сред. При этом картирование депонирующих сред сопряжено с возможностью ошибки при общей характеристике территории в условиях ограниченного числа фактически опробованных точек.

Дополнительную информацию о подвижной среде несут знания о характере и закономерностях её движения, лежащие в основе построения моделей процесса рассеивания загрязнений в динамике [10]. Существующие методики расчета рассеивания сбросов и выбросов, представляющие собой математические модели предполагаемого загрязнения подвижных сред, в большинстве своем учитывают пространственную компоненту, однако результаты сложного математико-статистического анализа не всегда пригодны для отображения на картах и планах и зачастую

не учитывают условия местности. Показано, что эффективность моделей зависит от набора показателей, используемых в математических формулах, составляющих основу той или иной модели [12].

Использование геоинформационных систем (или ГИС) может являться одним из вариантов повышения эффективности экологических исследований подвижных и депонирующих сред. Существующие классические ГИС, как правило, не содержат в себе экологические параметры, такие как значения нормативов концентраций загрязняющих веществ и формулы расчета интегральных показателей оценки современного состояния компонентов окружающей среды. Благодаря их включению в тематические инструменты появляется возможность использования эколого-картографических моделей для оценки соблюдения установленных норм хозяйствующими субъектами.

Для построения эффективных пространственных моделей загрязнения компонентов окружающей среды при использовании проектируемого эколого-картографического инструмента в рамках ГИС необходим учет особенностей картографирования того или иного компонента окружающей среды, а также нормативов качества и комплексных показателей оценки.

Непрерывно изменяющаяся во времени и пространстве окружающая среда может быть представлена на картах не только в двумерном виде – возможна трехмерная визуализация экологических параметров на основе сведений о сети точек опробования на разных глубинах и (или) высотах. Таким образом происходит рост эффективности поддержки принятых решений, связанный с комплексным восприятием представляемой в модели информации [13]. Включение в пространственное моделирование дополнительной размерности позволяет приблизить эколого-картографическую модель к реальному объекту исследования. Трехмерные визуализации являются основой для создания информационных моделей, что расширяет возможности использования проектируемого эколого-географического инструмента и позволяет рассматривать его в качестве промежуточ-

ного шага при переходе от традиционных форматов представления экологических исследований к информационному моделированию [14, 15]. В связи с этим подобный инструмент должен опираться на традиционные требования к представлению экологической информации и быть применим при внедрении новых технологий.

По результатам представленного описания задач, решению которых должен способствовать проектируемый эколого-географический инструмент ГИС, определен перечень общих требований к результатам его работы, не зависящих от специфики исследуемых компонентов окружающей среды. Так, в качестве основного итога выступает трехмерная пространственная модель загрязнения среды (или Модель), характеристики которой соответствуют целям и задачам её создания, а также ряд сопутствующих её построению двумерных материалов.

Среди возможных спецификаций Модели: представление материалов регулярных наблюдений и их анализа в ГИС в рамках геоэкологического мониторинга; визуализация данных производственного экологического контроля и научных исследований по идентификации объектов накопленного вреда, определению предельного уровня нагрузки на территории и отдельные объекты окружающей среды; экологическое обеспечение информационных моделей строительства и реконструкции зданий и сооружений. Каждое из выделенных направлений оперирует собственными наборами данных и комплексными характеристиками, опирающимися на фундаментальные экологические знания и нормативно-техническую документацию.

По составу исходных данных определены два основных типа Моделей – первый тип при моделировании опирается на сведения об источниках загрязнения и закономерностях движения загрязняющих веществ в пространстве (для подвижных компонентов окружающей среды), а второй связан с результатами фактического опробования компонентов природной среды (для подвижных и депонирующих компонентов окружающей среды).

Описание моделей загрязнения атмосферного воздуха и почвенного покрова при наличии исходных данных о фактическом загрязнении

Количественная оценка загрязнения компонентов окружающей среды чаще всего основана на результатах непосредственных измерений контролируемых параметров в заранее определенных точках в границах территории исследования, отвечающих целям и задачам. В данном случае алгоритм построения Модели для подвижных и депонирующих сред аналогичен и основан на применении комплекса математических и статистических методов с целью создания поверхностей распределения исследуемых величин [16].

В соответствии с анализом используемых в классических ГИС методов интерполяции [17] для достижения наибольшей достоверности итоговых результатов необходимо облако точек с атрибутивной информацией о содержании загрязняющих веществ, а также границы территории исследования, которые будут выступать в качестве границ расчёта. Выбор того или иного метода интерполяции зависит от особенностей ситуации загрязнения, а также количества и качества исходных данных. На основе информации о нормативных значениях предельно допустимых концентраций веществ в компонентах окружающей среды представляется возможным использование расчетных комплексных параметров оценки экологического состояния [18]. Для атмосферного воздуха таковым является индекс загрязнения атмосферы (или ИЗА), а для почвенного покрова – комплексный показатель загрязнения почв (Zc).

Дополнительной информацией для анализа, корректировки и уточнения Модели, могут выступать сведения о современном экологическом состоянии территории, среди которых данные об известных зонах загрязнения, о расположении нормируемых объектов, цифровые модели рельефа и (или) местности.

Исходя из вышесказанного, определено, что на вход в систему эколого-географического моделирования в ГИС поступают:

– числовые значения пространственных координат точек измерения содержания за-

грязняющих веществ, характеризующие местоположение точек опробования (с учетом глубины и (или) высоты);

– числовые значения фактически измеренных по результатам опробования концентраций загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды;

– числовые значения нормативных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ;

– данные о границах территории исследования, которые могут быть представлены в качестве числовых значений пространственных координат угловых точек поворота или векторных пространственных объектов ГИС.

В качестве предполагаемого результата работы рассматриваемой системы по представленной на вход информации будет выступать набор данных:

– расчетное числовое значение комплексного параметра экологической оценки компо-

нента окружающей среды (ИЗА или Z_c) и атрибутивная характеристика категории загрязнения для каждой точки измерения на основе применяемых нормативов качества;

– ряд двумерных растровых поверхностей и векторные изолинии концентраций загрязняющих веществ на различных глубинах или высотах в качестве данных, сопутствующих построению итоговой Модели;

– ряд двумерных растровых поверхностей и векторные изолинии комплексного показателя экологической оценки в качестве данных, сопутствующих построению итоговой Модели;

– ряд трехмерных изополей комплексного показателя экологической оценки.

Графическая интерпретация рассмотренной выше системы эколого-картографического моделирования применительно к построению Модели по фактическим данным измерений представлена на рис. 2.

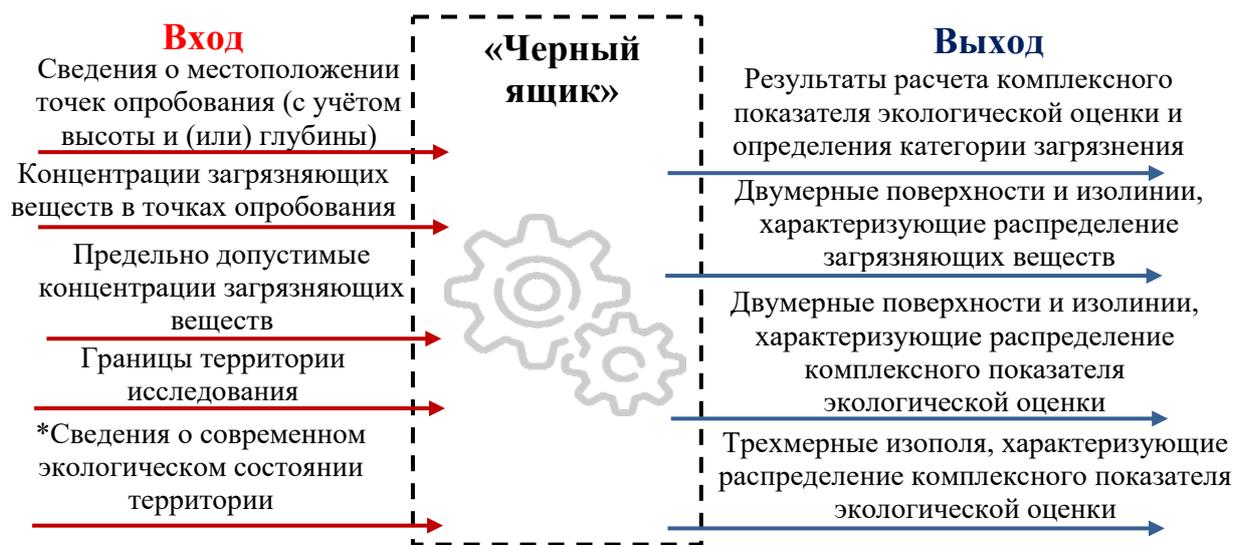


Рис. 2. Система «черного ящика» построения модели загрязнения, построенной по фактическим данным опробования

Описание модели загрязнения атмосферного воздуха при наличии исходных данных об источнике загрязнения

Моделирование подвижных сред в ГИС требует больше информации, чем подход пространственной интерполяции. Помимо точек с измеренными значениями концентраций загрязняющих веществ около источников загрязнения, необходимы данные о метеоро-

логических и топографических условиях, коэффициентах выбросов и коэффициентах рассеивания [19]. Выбросы загрязняющих веществ стационарных и подвижных источников в виде аэрозолей и газов включаются в процессы, происходящие в атмосфере, и подчиняются законам её движения [20]. В связи с этим модели распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе основаны на системах, описывающих движение воздушных масс.

В качестве основного математического обеспечения модели выступают уравнения турбулентной диффузии. Среди отечественных методик наиболее распространенными являются метод расчета рассеивания выбросов (МРР-2017) и Гауссовская модель атмосферной диффузии [20]. Кроме того, применяются камерные модели, отображающие динамику распространения поллютантов в ряде ячеек, для которых все атмосферные переменные приведены к усредненным значениям [21], а также модель Берлянда для расчета локального загрязнения атмосферы промышленными выбросами согласно Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86).

Таким образом, в перечень необходимых для эколого-картографического моделирования данных следует включить уравнение турбулентной диффузии и его параметры, изменяющиеся в зависимости от принятой в рассмотрение модели движения атмосферного воздуха [22], среди основных – скорость ветра, скорость гравитационного осаждения, коэффициенты турбулентной диффузии и временная компонента.

Кроме перечисленных параметров для построения модели загрязнения атмосферного воздуха необходимы также сведения об источнике (или источниках выбросов): данные о местоположении источника выброса, измеренные числовые значения содержания загрязняющих веществ в точке выброса, а также нормативные

числовые значения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ.

В качестве дополнительных данных могут выступать границы исследуемой территории. При этом данный параметр для рассматриваемой Модели не является обязательным, так как объектом исследования может являться источник выбросов и вся территория, на которую он влияет.

Результатом построения модели будут являться:

- расчетные значения содержания загрязняющих веществ и ИЗА в конкретных точках на определенном удалении от источника выбросов;

- ряд двумерных растровых поверхностей и векторные изолинии концентраций загрязняющих веществ на различных высотах в качестве данных, сопутствующих построению итоговой Модели;

- ряд двумерных растровых поверхностей и векторные изолинии комплексного показателя – индекса загрязнения атмосферы – в качестве данных, сопутствующих построению итоговой Модели;

- ряд трехмерных изополей комплексного показателя экологической оценки.

Графическая интерпретация модели «черного ящика» применительно к модели загрязнения атмосферного воздуха, построенной по данным об источниках выбросов, представлена на рис. 3.

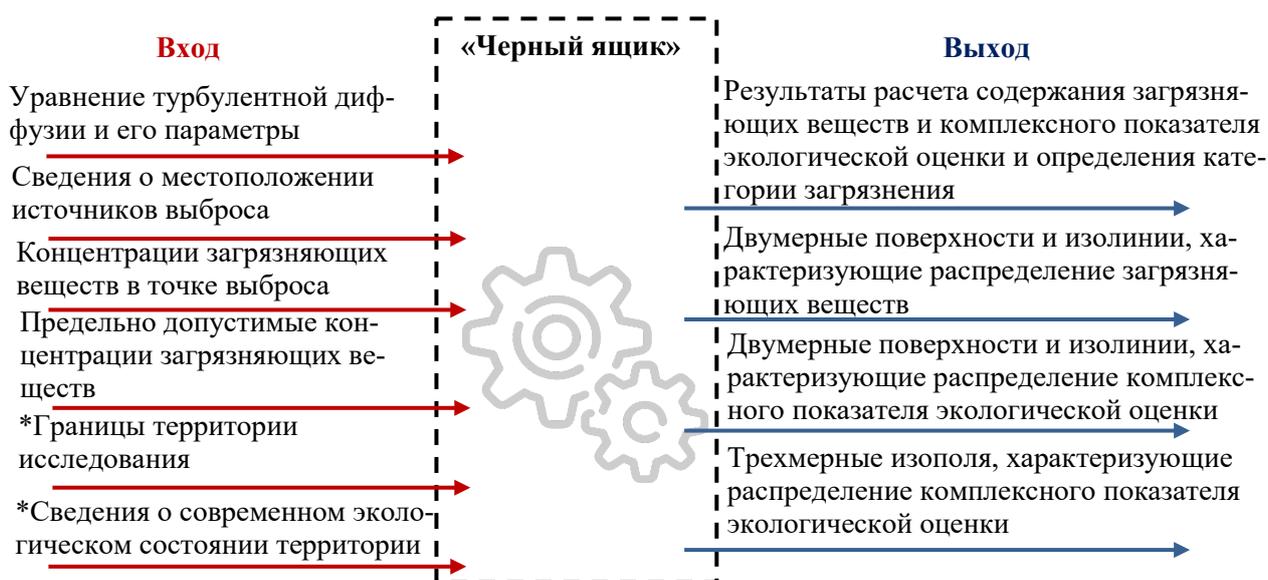


Рис. 3. Система «черного ящика» применительно к модели загрязнения, построенной по данным об источниках выбросов

Заключение

По результатам исследования установлено, что входы и выходы систем «черного ящика» трехмерного пространственного моделирования загрязнения компонентов окружающей среды существенно отличаются в зависимости от имеющихся данных. На основании этого выделено два типа построения Моделей. Первый ориентируется при моделировании на данные о фактическом опробовании компонентов окружающей среды, а второй – на характеристики источников загрязнения и параметры движения среды.

Проектируемый эколого-картографический инструмент ГИС должен обеспечивать возможность визуализации результатов исследований в виде двумерных поверхностей и трехмерных изополей, на основе атрибутивной информации о комплексной оценке загрязнения территории исследования. При этом Модель, использую-

щая данные о фактически измеренных значениях концентраций загрязняющих веществ, может выступать в качестве характеристики как депонирующей, так и подвижной среды. Модель, оперирующая исходными сведениями о закономерностях движения среды и источниках загрязнения, помимо перечисленных итоговых параметров включает в себя также данные о расчетных значениях содержания загрязняющих веществ в определенных точках исследуемой территории. Построение такой Модели возможно только для подвижной среды.

Проектируемый эколого-картографический инструмент ГИС должен учитывать ситуационные условия и иметь возможность модификации в зависимости от поставленных целей и задач. Для достижения этого необходимо предусмотреть возможность корректировки этапов построения Моделей при проектировании инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исаченко Г. А. Отечественное экологическое картографирование: первые итоги // Известия Всероссийского географического общества. – 1992. – Т. 124, Вып. 5. – С. 418–427.
2. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха : сборник научных трудов / Главная Геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова; под ред. М. Е. Берлянда. — Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 154 с.
3. Шарыгин М. Д. и др. Современное состояние и место теоретической географии в системе научных знаний // Географический вестник. – 2010. – № 3. – С. 1–9.
4. Флеенко А. С. Периодизация развития геоинформационных технологий как части информационных технологий // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 18–28.
5. Антонова Г. М. Эволюция терминов «Черный ящик» и «Серый ящик» // Вестник Московского финансово-юридического университета. – 2012. – № 1. – С. 16–19.
6. Новосельцев В. И. Системный анализ: современные концепции – 2-е изд., испр. и доп. – Воронеж : Кварта, 2003. – 360 с.
7. Зяблова А. А. Особенности построения модели «черного ящика» // Современные наукоемкие инновационные технологии : сборник статей Международной научно-практической конференции 25 мая 2018 г. — Самара : Научно-издательский центр «АЭТЕРНА», 2018. – С. 71–74.
8. Ротанова И. Н. Экологическое картографирование: современное картографическое познание действительности // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – № 4 (11). – С. 20–24.
9. Наместникова О. В. и др. Картографирование результатов эколого-геохимических исследований городских территорий // Технология техносферной безопасности. – 2016. – № 3 (67). – С. 250–258.
10. Briggs D. The Role of GIS: Coping with space (and time) in air pollution exposure assessment // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. – 2005. – № 68. – P. 1243–1261.
11. Олигер Т. А. и др. Применение эколого-геохимического картографирования в области гигиены окружающей среды // Гигиена и санитария. – 1994. – № 1. – С. 25–27.

12. Gulliver J. Comparative assessment of GIS-based methods and metrics for estimating long-term exposures to air pollution // *Atmospheric Environment*. – 2011. – № 45(39). – P. 7072–7080.
13. Копылова Н. С. Разработка 3D-карты г. Куинён провинции Биньдинь Республики Вьетнам // *Вестник СГУГиТ*. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 104–112.
14. Hao Wang, Yisha Pan, Xiaochun Luo. Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis // *Automation in Construction*. – 2019. – № 103. – P. 41–52.
15. Флеенко А. С. и др. Разработка методики перехода к технологиям информационного моделирования в инженерных изысканиях (на примере инженерно-экологических изысканий) // *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. – 2021. – № 3. – С. 70–82.
16. Постнова И. С. Картографирование воздушной среды промышленных городов [Электронный ресурс] // Сайт межрегиональной общественной организации содействия развитию рынка геоинформационных технологий и услуг. – URL: <http://www.gisa.ru/987.html>.
17. Мыслыва Т. Н. и др. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2017. – № 4. – С. 146–152.
18. Минигазимов Н. С. Методология комплексной оценки экологического состояния территории при инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба // *Уральский экологический вестник*. – 2016. – № 1. – С. 24–30.
19. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды – М. : Наука, 1982. – 319 с.
20. Антонова А. М. и др. Моделирование распространения в атмосфере загрязняющих веществ выбросов электростанций на базе программного комплекса «СКАТ» // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – № 6. – С. 174–186.
21. Батурин В. А. Оценка и моделирование загрязнения атмосферного воздуха в г. Улан-Батор // *Программные системы: теория и приложения*. – 2012. – № 5 (14). – С. 81–91.
22. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л. : Гидрометеопиздат, 1985. – 272 с.

Об авторах

Антон Сергеевич Флеенко – аспирант кафедры геодезии, геоинформатики и навигации.

Получено 07.03.2024

© А. С. Флеенко, 2024

Characteristics of the result of environmental modeling using GIS tools for pollution of environmental components

*A. S. Fleenko*¹✉

¹ Institute of Railway Track, Construction and Structures of the Russian University of Transport (МИИТ), Moscow, Russian Federation

e-mail: fleenskospb@mail.ru.

Abstract. The natural development of environmental cartographic modeling, the main result of which is the visualization of environmental information, is the expansion of the number of tools used in this process and the tendency to automation. To optimize the processes of environmental research, it is planned to build spatial models of environmental components pollution using geographic information systems. The presented work, using a systematic approach, carries out a characterization of the designed tool, combining environmental modeling, the achievements of cartography and the advantages of geographic information systems. It identifies key input and output parameters for two types of

models representing depositing and moving media, and presents a graphical interpretation of the results using black box systems. The use of geographic information systems tools to solve environmental problems can significantly expand the capabilities of researchers, and therefore the possibility of designing an environmental cartographic GIS tool is justified.

Keywords: systems approach, geographic information systems, environmental cartographic modeling, environmental pollution model

REFERENCES

1. Isachenko, G. A. (1992). Domestic environmental mapping: first results. *Izvestiya Vserossijskogo geograficheskogo obshchestva [Proceedings of the Russian Geographical Society]*. 5(124). 418–427 [in Russian].
2. Berlyand, M. E. (1977). Atmospheric diffusion and air pollution: a collection of scientific papers Voeikov Main Geophysical Observatory. Leningrad: Gidrometeoizdat, 154 p. [in Russian].
3. Sharygin, M. D. (2010). The current state and place of theoretical geography in the system of scientific knowledge. *Geograficheskij vestnik [Geographical bulletin]*. 3. 1–9. [in Russian].
4. Fleenko, A.S. (2023). Development of Geografic Information Systems as an Information Technology. *Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii [Vestnik NSU. Series: Information Technologies]*. 2(21). 18–28 [in Russian].
5. Antonova, G. M. (2012). Evolution of the terms «Black box model» and «Grey box model». *Vestnik Moskovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta [Herald of the Moscow university of finances and law MFUA]*. 1. 16–19 [in Russian].
6. Novoseltsev, V. I. (2003). Systems Analysis: Modern Concepts. Voronez: Kvarta. 360 p. [in Russian].
7. Zyablova, A. A. (2018). Features of constructing a «black box» model. *Sovremennye naukoymkie innovacionnye tekhnologii : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 25.05.2018 [Modern high-tech innovative technologies: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference May 25, 2018]*. Samara: AETERNA. 71–74. [in Russian].
8. Rotanova, I. N. (2008). *Ecological mapping: modern cartographic knowledge of reality. Mir nauki, kultury, obrazovaniya [World of science, culture, education]*. 4(11). 20–24. [in Russian].
9. Namestnikova, O. V. & et al. (2016). Mapping the results of environmental and geochemical studies of urban areas. *Tekhnologiya tekhnosfernoj bezopasnosti [Technosphere safety technology]*. 3(67). 250–258. [in Russian].
10. Briggs, D. (2005). The Role of GIS: Coping with space (and time) in air pollution exposure assessment *Zhurnal Toksikologii i Gigiyeny Okruzhayushchey Sredy [Journal of Toxicology and Environmental Health], Part A*. 68. 1243–1261.
11. Oliger, T. A. & et al. (1994). Application of ecological-geochemical mapping in the field of environmental health. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]*. 1. 25–27. [in Russian].
12. Gulliver, J. (2011). Comparative assessment of GIS-based methods and metrics for estimating long-term exposures to air pollution. *Atmospheric Environment*. 45(39). 7072–7080.
13. Kopylova, N. S. (2023). Development of a 3D map of city of Quy nho`n Bindin province, R. Vietnam. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 2(28). 104–112 [in Russian].
14. Hao Wang, Yisha Pan, Xiaochun Luo. (2019). Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. *Avtomatizatsiya v stroitel'stve [Automation in Construction]*. 103. 41–52.
15. Fleenko, A.S. & et al (2021). Development of a Methodology for the Transition to Information Modeling Technologies in Engineering Surveys (On the Example of Engineering and Environmental Surveys). *Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii [Vestnik NSU. Series: Information Technologies]*. 3. 70–82. [in Russian].

16. Postnova, I. S. (2000). Mapping the air environment of industrial cities. *Mezhregionalnaya obshchestvennaya organizaciya sodejstviya razvitiyu rynka geoinformacionnyh tekhnologij i uslug [Interregional public organization to promote the development of the market for geoinformation technologies and services]*. Retrieved from: <http://www.gisa.ru/987.html>. [in Russian].
17. Myslyva, T. N. and other (2017). Comparison of the effectiveness of GIS-based interpolation methods for assessing the spatial distribution of humus in soil. *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj selskohozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]*. 4. 146–152. [in Russian].
18. Minigazimov, N. S. (2016). Methodology for a comprehensive assessment of the ecological state of a territory during an inventory of objects of accumulated environmental damage. *Uralskij ekologičeskij vestnik [Ural Environmental Bulletin]*. 1. 24–30.
19. Marchuk, G. I. (1982). *Mathematical modeling in environmental problems*. Moscow: Nauka. 319 p.
20. Antonova, A. M. (2019). Modeling the distribution of pollutants in the atmosphere from power plant emissions based on the SKAT software package. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*. 6. 174–186.
21. Baturin, V. A. (2012). Assessment and modeling of air pollution in Ulaanbaatar. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya [Software systems: theory and applications]*. 5(14). 81–91.
22. Berlyand, M. E. (1985). *Forecast and regulation of air pollution*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 272 p. [in Russian].

Authors details

Anton S. Fleenko – Ph. D. Student, Department of Geodesy, Geoinformatics and Navigation.

Received 07.03.2024

© *A. S. Fleenko*, 2024