

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 1 / 2024, Vol. 11, Iss. 1 <https://resources.today/issue-1-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/15NZOR124.pdf>

DOI: 10.15862/15NZOR124 (<https://doi.org/10.15862/15NZOR124>)

1.6.20. Геоинформатика, картография (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Флеенко, А. С. Картографические модели в экологических исследованиях / А. С. Флеенко // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/15NZOR124.pdf> DOI: 10.15862/15NZOR124

For citation:

Fleenko A.S. Cartographic models in environmental studies. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024; 11(1): 15NZOR124. Available at: <https://resources.today/PDF/15NZOR124.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/15NZOR124

УДК 528.9:004.9

Флеенко Антон Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия

Аспирант третьего года обучения

E-mail: fleenkospb@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2829-9361>

Картографические модели в экологических исследованиях

Аннотация. В работе в рамках подготовки диссертационного исследования по созданию эколого-картографического инструмента в геоинформационных системах рассмотрено использование картографических моделей в экологических исследованиях на современном этапе развития и интеграции наук. Моделирование является одним из самых важных и распространенных методов исследования в различных областях науки. Этот метод характеризуется высокой универсальностью и может быть адаптирован для решения широкого круга различных задач. При этом в рамках конкретных наук он подвержен масштабным трансформациям, связанным с особенностями решаемых задач. Создание картографических материалов представляет собой особый вид моделирования, находящийся вне стандартных классификаций в связи со спецификой картографических моделей. Подобные модели обладают набором особых свойств, позволяющих изучать сложные природные и антропогенные системы с учетом пространственной компоненты и сохранением ключевых параметров. Тематические карты, как основное средство представления результатов исследований в науках о Земле, диктуют использование достижений картографии и геоинформатики при изучении объектов и явлений. В работе представлено обоснование значительной роли картографических моделей и инструментария геоинформационных систем в экологических исследованиях, рассмотренных в качестве сложной системы взаимосвязанных процессов. Для их описания автором проведена декомпозиция и представлена графическая визуализация с использованием метода моделирования и описания бизнес-процессов. Показано, что использование картографических материалов и геоинформационных систем на разных этапах экологических исследований позволяет более эффективно проводить подготовительную работу, изучать взаимосвязи между различными объектами и явлениями окружающей среды, а также разрабатывать рекомендации и стратегии по управлению рисками. Создание эколого-картографических материалов с использованием геоинформационных систем способствует развитию геоинформатики, картографии и экологии и обеспечивает рост наглядности материалов, иллюстрирующих экологические параметры.

Ключевые слова: системный анализ; метод моделирования; классификация моделей; тематическое картографирование; геоинформационные системы; эколого-картографические модели; экологические исследования

Введение

Моделирование — один из основополагающих методов исследования сложных объектов и процессов — используется в различных фундаментальных и прикладных областях науки для анализа, прогнозирования, а также оптимизации процессов и оценки рисков. Каждая модель имеет свои преимущества и недостатки, поэтому выбор использования метода зависит от поставленной цели и доступных ресурсов. При этом замена реального объекта моделью, сохраняющей важные для исследователя параметры, позволяет сократить экономические расходы и временные затраты.

Объединяющим для всех моделей свойством является отображение объектов и явлений действительности в том или ином виде. Отличием отображаемого от оригинального объекта при этом будут являться пространственно-временные масштабы, степень конкретности и сложности с сохранением наиболее важных для исследования особенностей изучаемого объекта или явления. Это обуславливает большое разнообразие моделей и их классификаций, в основе которых лежат особенности моделирования.

Одной из важных особенностей географических наук является пространственный аспект исследований [1]. Также для всех географических направлений характерно использование методов моделирования, в первую очередь — математического. Это связано с тем, что поиск и обоснование закономерностей, исследование свойств и строения географического пространства, структуры географических полей и динамики геосистем осложнено в пространственно-временных масштабах.

Значительная трансформация метода моделирования в науках о Земле произошла в рамках связанной с математическим описанием формы Земли геодезии, а картография выступила в качестве науки, формализовавшей и обосновавшей особый тип моделей — картографических изображений. Поставленная в данной работе цель по обзору основных направлений использования картографических моделей в рамках одной из самых молодых наук о Земле — экологии — представляется актуальной в связи с поиском новых методов и инструментов экологических исследований в условиях интеграции различных научных направлений.

Для достижения цели определены следующие задачи: охарактеризовать метод моделирования и представить обобщенную классификацию моделей, выявить особенности картографических моделей в рамках указанной классификации, определить основные направления использования карт в экологических науках. Проведённая работа является частью диссертационного исследования по разработке инструмента трехмерного пространственного моделирования экологических параметров с применением геоинформационных систем.

Картографические изображения в обобщенной классификации моделей

Метод моделирования является частью комплекса системных исследований, как методологии решения обширного спектра разнообразных научных задач [2]. Системный анализ ориентирован на изучение абстрактных систем, представляющих собой подвергнутые целенаправленному упрощению реальных объектов [3]. Метод моделирования относится к средствам отображения систем и научно обосновывает создание подобных абстракций и их

исследование [4]. Наличие модели позволяет исследователю рассматривать различные сценарии поведения реальной системы и прогнозировать её развитие.

По результатам анализа термина «модель», проведенного Виктором Александровичем Штоффом [5], наиболее общим определением для него является «мысленно представляемая или материально реализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что её изучение дает новую информацию об этом объекте».

Единой общепринятой классификации моделей в настоящее время не существует. По цели создания выделены следующие виды моделей — функциональные, принципиальные, структурные и параметрические. Как следует из названия, функциональные модели направлены на анализ функционирования изучаемого объекта, принципиальные связаны с принципом его действия, структурные — с его структурой, а параметрические направлены на идентификацию и установление связей между параметрами.

Дополнение указанной классификации представляется возможным путем использования типологии моделей [6], обобщающей несколько различных направлений классификаций. В соответствии с ней все модели по форме представления можно разделить на материальные и идеальные. Первые имеют физическое воплощение, при этом по своей природе могут как совпадать с изучаемым объектом (в таком случае они относятся к физическим материальным моделям), так и иметь с ним только схожие закономерности развития (аналоговые материальные модели). В свою очередь, идеальные модели подразделяют на имеющие формализацию — информационные — в вербальном, математическом, графическом или табличном виде, и на интуитивные, не имеющие формализации.

Таким образом при анализе использования метода моделирования в научных исследованиях представляется возможным ориентироваться на сводную классификацию моделей, представленную на рисунке 1. Она учитывает одни из наиболее значимых при построении моделей параметров — цель создания, а также форму и средства представления результата моделирования.

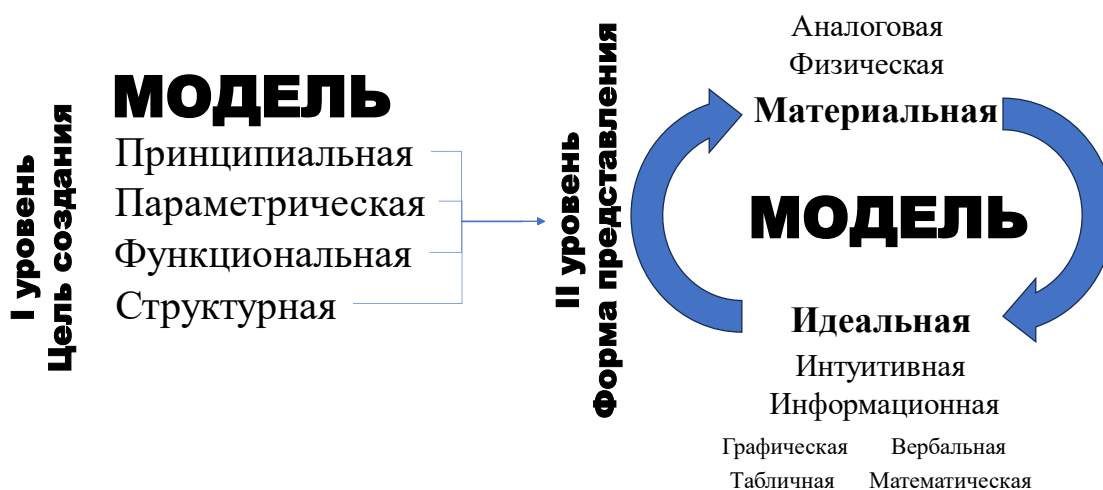


Рисунок 1. Сводная классификация моделей (разработано автором)

Существуют и другие классификации моделей, среди которых подразделение по используемым в процессе моделирования параметрам (детерминированные и стохастические), а также по направлениям использования моделей (экономические, физические, биологические и другие). Последняя классификация наиболее ярко отражает обширность сфер применения и

универсальность метода моделирования. При этом стоит отметить, что его использование в конкретных научных областях сопряжено с определенной трансформацией метода согласно предъявляемым требованиям построения и отображения моделей исследуемых объектов.

К примеру, одним из основных методов исследования в географических науках является картографический метод, напрямую связанный с методом моделирования. Карты выступают в качестве средства исследования объектов и процессов, а также представления результатов, что позволяет решать задачи, связанные с изучением и управлением территориями, выявлением пространственных закономерностей. Картографический метод исследования может выступать как общенаучный, так и частный (специальный) метод, являющийся центральным в тематическом картографировании [7]. С конца XX века в рамках геоинформационного и информационного подходов происходит сближение теоретических концепций картографии и развитие понятия «карта» как результата перевода географических сведений в картографическую форму с целью хранения, моделирования и дальнейшего анализа данных [8].

Картографические изображения выступают в качестве особого вида моделей, который находится на стыке идеальных и материальных моделей. В то время как цифровые и электронные карты не имеют физического воплощения, аналоговые картографические документы предстают в материальном виде. Кроме того, согласно П.П. Лебедеву, среди свойств картографических изображений выделяется ряд характеристик, присущих только моделям этого вида [9]. На рисунке 2 представлен анализ общих для всех моделей и дополнительных свойств, совокупность которых характерна только для картографических моделей.



Рисунок 2. Графическая интерпретация общих свойств моделей и дополнительных свойств картографических моделей согласно П.П. Лебедеву (разработано автором)

В качестве основы для классификации картографических моделей могут выступать такие особенности картографических изображений, как способ представления, масштаб, территориальный охват и тематика.¹ По тематике изображаемых явлений все карты можно

¹ Салищев, К.А. Картоведение / К.А. Салищев. — Москва: Издательство Московского университета, 1990. — 400 с. — Текст: непосредственный.

разделить на общегеографические, иллюстрирующие земную поверхность, и тематические, подробней раскрывающие те или иные её природные, социально-экономические и экологические особенности. Стоит отметить, что данная классификация условна — в настоящее время существуют примеры карт, описывающих разнообразные аспекты природных и социально-экономических особенностей территории и их взаимосвязи [10].

Метод моделирования в экологических науках

Большинство экологических моделей в своей основе имеет математическую составляющую, с помощью которой представляется возможным формализовать закономерности, отмеченные в исходных объектах исследования. Так, в популяционной и социальной экологии существует множество примеров использования математических моделей, сходных с моделями химических реакций, на базе простых дифференциальных уравнений для создания моделей изменения популяций во времени [11].

Рост числа учитывающих пространственную компоненту моделей с 70-х годов XX века связано с ростом доступности компьютеров, программного обеспечения и приборов фиксации местоположения. В настоящее время в популяционной экологии существует множество моделей, учитывающих разнообразные факторы [12]. Таким образом, два направления математического моделирования экологических процессов — пространственно-неявное и пространственно-явное — являются основными [13] в популяционной и социальной экологии до настоящего времени.

Ухудшение экологической ситуации в связи с интенсификацией производства и ростом городских агломераций все больше влияет на качество жизни и здоровье людей. Это диктует необходимость в поиске новых путей сбора, анализа, хранения и представления информации об уровне загрязнения компонентов окружающей среды [14]. Из определения геоэкологии, как раздела экологии, изучающего отношения между субъектами и объектами антропогенного воздействия, а также человеческим обществом, связанными в рамках геоэкологического пространства [15], следует особая роль в исследованиях пространственного распределения объектов. Пространственный (географический) подход предполагает изучение пространственной структуры и пространственных связей между элементами изучаемых систем. Согласно методике геоэкологических исследований [15] ведущую роль в цепочке «фиксация ситуации — оценка — анализ и использование результатов в рамках геоэкологического мониторинга — прогнозирование ситуации» принадлежит исследованию пространственной структуры объектов и субъектов, их взаимному расположению. В дальнейшем подобная информация используется для изучения закономерностей распространения загрязняющих веществ, оценки риска для здоровья человека и вероятности нарушения естественных и преобразованных экосистем [16].

Принимая во внимание утверждение об отнесении карт к особому виду моделей, результат пространственного экологического моделирования, находящегося на стыке экологии, картографии и геоинформатики, также следует рассматривать в данном контексте. Использование картографических моделей в экологических науках раскрывает перед исследователями набор дополнительных методов исследования. Геоинформационные системы способствуют разработке сложных инструментов экологического анализа [17] и преодолению ограничений традиционных способов хранения информации [18].

Из определения термина «экологическое картографирование» Г.А. Исаченко [19] следует, что целью построения эколого-картографических моделей выступают изучение, оценка и прогнозирование состояния природных систем и использования ресурсов, воздействия опасных природных и антропогенных процессов и явлений на окружающую среду

и живые организмы, а также определение мер обеспечения экологической безопасности, охраны среды и здоровья людей.

В наиболее общем виде систему экологических исследований можно представить в виде схемы с использованием метода построения BPMN, или Business Process Model and Notation (моделирование и описание бизнес-процессов). Указанный метод позволяет выделить и графически представить ключевые этапы и события сложного исследовательского процесса [20; 21]. После инициирования работ определяются цели, которые предполагается достичь, и набор задач, которые необходимо при этом решить. На основании этого составляется план работ и проводится его оценка на соответствие определенным целям и задачам. Подобный подход в целом характерен для исследовательских работ, а Инициатор и Исполнитель могут являться одним и тем же лицом или группой исследователей. Согласно подготовленному и утвержденному плану проводится первичный сбор и анализ данных об объекте исследования, затем — в рамках полевых работ — рекогносцировка и сбор материалов в соответствии с целями и задачами. Итоговый результат — экологическая оценка, перечень прогнозов и рекомендаций на основе обработки полученных данных. В рамках представленной на рисунке 3 схемы процесса учтена необходимость дополнительного контроля на всех этапах исследования для минимизации рисков представления некорректных материалов и повышения достоверности.

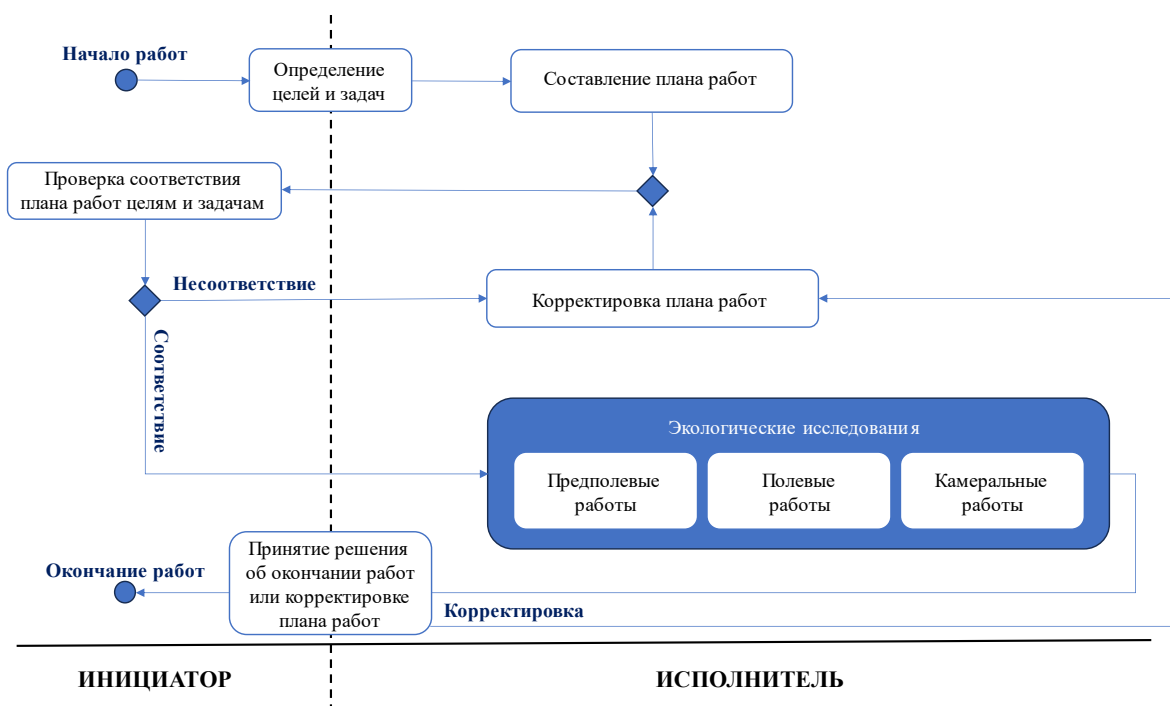


Рисунок 3. Обобщенная схема процесса проведения экологических исследований по методу BPMN (разработано автором)

На каждом из выделенных подпроцессов в том или ином виде используются картографические материалы, а также имеется возможность обработки данных в геоинформационных системах (ГИС). Предполевой этап предполагает дешифрирование аэро- и космических снимков, работу с пространственными данными официально уполномоченных органов и иных документов территориального планирования. При этом использование ГИС значительно упрощает анализ и обработку, позволяя объединять разрозненную информацию и выделять значимые для проводимого исследования части в единой среде анализа и

представления данных. В рамках полевого этапа используются схемы точек опробования и участков, на которые необходимо обратить внимание во время рекогносцировочных исследований. Благодаря ГИС на камеральном этапе возможна разработка и дополнение аналитических, синтетических и комплексных карт — от покомпонентного описания ландшафтов и экосистем до характеристики современного и прогнозируемого экологического состояния территории.

Инструментарий геоинформационных систем позволяет визуализировать и эффективно представлять результаты экологических исследований, дополняя характеристику территории пространственной компонентой, а также получать новые данные благодаря дополнительной обработке информации. При этом универсальных программных комплексов, отвечающих всем экологическим задачам, не существует, выбор программного обеспечения и применяемых инструментов зависит от целей моделирования.² На рисунке 4 представлены основные возможности использования картографических материалов на различных этапах экологических исследований.

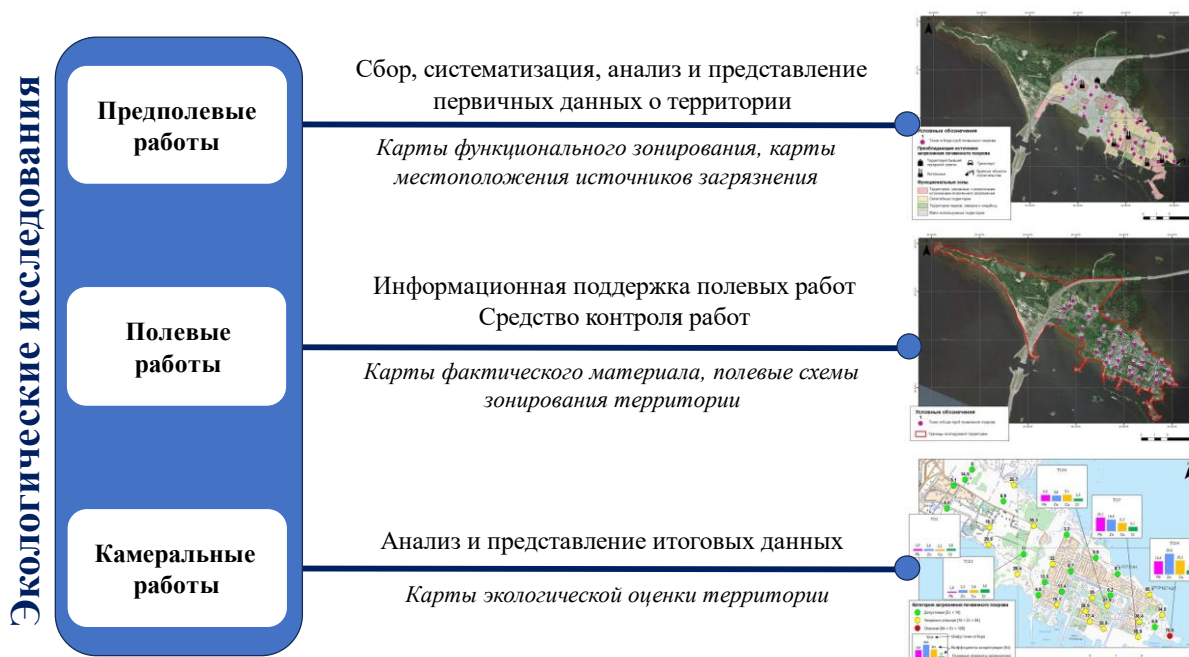


Рисунок 4. Использование картографических материалов в рамках экологических исследований (разработано автором)

Заключение

По результатам выполнения поставленных задач установлено, что создание картографических материалов можно отнести к особому, находящемуся на стыке идеального и материального, виду моделирования. Существенная трансформация метода при этом связана с включением в процесс дополнительных требований, ориентированных на достижение специфических свойств картографических моделей.

² Appleton, K. GIS-Based Landscape Visualization for Environmental Management: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора философских наук / К. Appleton; University of East Anglia. — 2003. — 168 с. — Текст: непосредственный.

Посредством декомпозиции процесса экологических исследований на отдельные задачи и подпроцессы раскрыто использование на различных стадиях картографических моделей. Применение эколого-картографических моделей расширяет возможности исследователя, а дополнение инструментария геоинформационными системами приводит к росту как экологических наук, так и геоинформатики и картографии.

Таким образом, создание программно-информационных модулей, адаптированных для нужд экологических исследований, на базе достижений картографии и геоинформатики, позволяет сократить путь к получению достоверных и достаточных экологических данных и представлению их в наиболее эффективном виде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарыгин, М.Д. Современное состояние и место теоретической географии в системе научных знаний / М.Д. Шарыгин, Л.Б. Чупина. — Текст: непосредственный // Географический вестник. — 2010. — № 3. — С. 4–10.
2. Никаноров, С.П. Системный анализ и системный подход / С.П. Никаноров. — Текст: непосредственный // Системные исследования. Сборник Института истории естествознания и техники. — Москва: Наука, 1972. — С. 55–71.
3. Росновский, И.Н. Системный анализ и математическое моделирование процессов в почвах / И.Н. Росновский. — Томск: Томский государственный университет, 2007. — 312 с. — Текст: непосредственный.
4. Использование системного анализа для определения свойств, связей и метода моделирования технических систем / В.В. Овчинников, С.П. Чумак, Е.А. Вдовиченко, А.В. Якутов. — Текст: непосредственный // Технологии гражданской безопасности. — 2012. — № 9(3). — С. 58–65.
5. Штофф, В.А. Моделирование и философия / В.А. Штофф. — Москва-Ленинград: Наука, 1966. — 302 с. — Текст: непосредственный.
6. Пономарева, А.И. Моделирование как метод научного познания: содержание и типология / А.И. Пономарева, А.В. Суворова. — Текст: непосредственный // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2020. — № 12-2(70). — С. 233–237.
7. Карпенко, А.С. О понятии «картографический метод исследования» / А.С. Карпенко. — Текст: непосредственный // Геоботаническое картографирование. — 1972. — № 1972. — С. 50–53.
8. Бешенцев, А.Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования / А.Н. Бешенцев. — Текст: непосредственный // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2018. — № 1. — С. 85–110.
9. Лебедев, П.П. Картографический метод исследования в условиях цифровых технологий / П.П. Лебедев. — Текст: непосредственный // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. — 2018. — № 3.
10. Каретина, И.П. Место ретроспективных карт почвенного покрова земель населенных пунктов в классификации картографических произведений / И.П. Каретина. — Текст: непосредственный // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2013. — № 3(23). — С. 138–146.

11. Neuhauser, C.M. Mathematical Challenges in Spatial Ecology / C.M. Neuhauser. — Текст: непосредственный // Notices of the American Mathematical Society. — 2001. — № 48(11). — p. 1304–1314.
12. Абрамова, Е.П. Динамические режимы стохастической модели «хищник-жертва» с учетом конкуренции и насыщения / Е.П. Абрамова, Т.В. Рязанова. — Текст: непосредственный // Компьютерные исследования и моделирование. — 2019. — Т. 11 № 3. — С. 515–531.
13. DeAngelis, D. Spatially Explicit Modeling in Ecology: A Review / D. DeAngelis, S. Yurek. — Текст: непосредственный // Ecosystems. — 2017. — № 20. — p. 284–300.
14. Briggs, D.J. Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach / D.J. Briggs, S. Collins, P. Elliott, S. Kingham, E. Lebret & other. — Текст: непосредственный // International Journal of Geographical Information Science. — 1997. — 7(11) — p. 699–718.
15. Жиров, А.И. Теоретические основы геоэкологии: монография / А.И. Жиров. — СПб.: СПбГУ, 2001. — 377 с.
16. Briggs, D.J. The Role of GIS: Coping with space (and time) in air pollution exposure assessment / D.J. Briggs. — Текст: непосредственный // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. — 2005. — № 68. — p. 1243–1261.
17. Gulliver, J. Comparative assessment of GIS-based methods and metrics for estimating long-term exposures to air pollution / J. Gulliver, K. de Hoogh, D. Fecht & other. — Текст: непосредственный // Atmospheric Environment. — 2011. — 39(45). — p. 7072–7080.
18. Vogiatzakis, I.N. GIS-based modelling and ecology: A review of tools and methods / I.N. Vogiatzakis. — Текст: непосредственный // Geographical Paper. — 2003. — № 170. — p. 1–34.
19. Исаченко, Г.А. Отечественное экологическое картографирование: первые итоги / Г.А. Исаченко. — Текст: непосредственный // Известия Всероссийского географического общества. — 1992. — Т. 124, Вып. 5. — С. 418–427.
20. Вичугова, А.А. Методы моделирования концептуального проектирования информационных систем: сравнительный анализ структурного и объектно-ориентированного подходов / А.А. Вичугова. — Текст: непосредственный // Прикладная информатика. — № 1(49). — С. 56–65.
21. Власов, А.И. Анализ средств разработки визуальных BPMN моделей сложных систем / А.И. Власов, Л.В. Журавлева, В.В. Казаков. — Текст: непосредственный // Динамика сложных систем. — 2020. — Т. 14, № 1. — С. 5–22.

Fleenko Anton Sergeevich

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

E-mail: fleenkospb@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2829-9361>

Cartographic models in environmental studies

Abstract. In this paper, as part of the preparation for a dissertation study on the creation of an eco-cartographic tool of geographic information systems, we consider the use of cartographic models in environmental research. Modeling is a widely used research method in various scientific fields, characterized by its versatility. It can be adapted to solve a variety of tasks, but within specific scientific fields it may undergo large-scale changes due to the nature of the tasks at hand. Cartographic materials are a special kind of modeling, which is not included in standard classifications because of its unique properties. Cartographic models have specific properties that allow them to study complex natural and human-made systems while taking into account spatial components and preserving key parameters. Thematic maps, which are the main means of presenting research findings in the field of Earth sciences, require the use of cartography and geoinformatics in the study of objects and phenomena. This paper provides justification for the significant role that cartographic models and the tools of geoinformation systems play in environmental research. Environmental research is considered a complex system of interconnected processes, and this paper demonstrates how cartographic materials and geographic information systems can be used at different stages to make it more effective. The paper breaks down and presents graphical visualizations using the Business-Process Modeling Notation method to model and describe business-processes. The results show that using cartographic materials and geographic information systems in environmental research allows for more effective preparation of work, studying the relationships between various objects and environmental phenomena, and developing recommendations and strategies for managing risk. The creation of eco-cartographic materials using geographic information systems helps to develop geoinformatics and cartography, as well as contributing to the field of ecology. These materials provide increased visibility for materials that illustrate environmental parameters.

Keywords: system analysis; modeling method; model classification; thematic mapping; geoinformation systems; eco-cartographic models; environmental studies