

УДК 528.9

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-73-82

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Татьяна Сергеевна Молокина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: molokinat@inbox.ru

Алексей Александрович Колесников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (913)725-09-28, e-mail: alexeykw@mail.ru

Развитие информационных технологий привело к значительному расширению возможностей по хранению, обработке и представлению пространственных данных. Это дало новый виток развития такому направлению картографии и геоинформатики, как геовизуализация. Интерактивность и динамика стали главными отличительными чертами современных картографических произведений, а разработки в области картографического дизайна теперь распространяются на проблемы взаимодействия человека и компьютера для обеспечения более успешного проведения анализа геоданных и выработки пространственных решений. В статье рассматриваются существующие определения геовизуализации и предлагается собственный его вариант. Рассматривается схема и особенности отдельных этапов создания геовизуализации. Сформулированы типовые задачи, которые необходимо решить для создания качественной визуализации пространственных данных и выполнена их систематизация. На основе приведенных задач и их специфики определены наиболее перспективные направления исследований в области геовизуализации.

Ключевые слова: геовизуализация, геоаналитика, восприятие, большие данные, искусственный интеллект, определение геовизуализации, схема этапов геовизуализации, связи научных направлений

Введение

Развитие информационных технологий с точки зрения сбора и обработки информации (распределенные хранение и обработка, машинное обучение, системы интеграции разнородных данных) для непрофессиональных пользователей значительно расширяет возможности по визуализации пространственных (геовизуализация) и статистических данных [1]. Но нужно отметить, что имеющиеся сегодня возможности с точки зрения информационного обеспечения и технологического развития далеко не всегда используются в полной мере вследствие того, что отсутствует методологическое обеспечение ряда технологических процессов, недостаточное научное обоснование технических решений, обеспечивающих интеграцию когнитивных и технических наук, а также анализ, об-

работку и визуализацию разнородных данных (больших данных) для создания качественной геовизуализации.

А эти особенности нужно обязательно учитывать, поскольку открылись новые возможности создания и использования карт, расширились их свойства и функции [2–5], появились новые картографические произведения, которые выступают теперь не только в качестве графического представления геопространства, но и являются активными инструментами в процессе мышления пользователей в том числе при решении задач пространственного анализа. Если ранее на заранее поставленные вопросы при помощи картографических произведений можно было получить ограниченное число ответов, то сейчас появилась возможность интерактивного взаимодействия человека с картой при преобразовании «больших данных» в полезную информацию.

В связи с этим на стыке геоинформатики, визуальной аналитики и картографии активно начинает развиваться новое направление науки и техники – геоаналитика [6]. Под этим термином понимают как процесс исследования пространственно-временных и многомерных данных [7], так и науку об аналитическом мышлении с пространственной информацией, чему способствуют интерактивные визуальные интерфейсы [8].

Методы и материалы

Геоаналитика базируется на трех основных функциональных блоках, частично пересекающихся между собой:

- 1) блок технологий извлечения данных;
- 2) блок систем поддержки принятия решений и интеллектуальные системы (прикладные методы искусственного интеллекта);
- 3) блок геовизуализации.

Наиболее близко к картографии, для которой изначально графическое отображение является основой, относится блок геовизуализации, который базируется на получаемых данных и используется как дополнительная компонента при принятии решений.

К современным задачам геовизуализации картография, как наука с богатой тысячелетней историей развития теории и практики, имеет прямое отношение. На протяжении многих веков карты были ориентированы именно на передачу пространственной информации, однако с активным внедрением динамики и интерактивности появились новые возможности создания и использования карт.

Тема геовизуализации актуальна и очень полезна в различных областях жизни человека, поскольку, во-первых, к основным функциям любой системы и сервиса обработки данных относится представление данных в максимально понятной и удобной для дальнейшего использования форме, во-вторых, геопрограммная составляющая фигурирует во все большем числе наборов данных.

Понятие географической визуализации (сокращенно – геовизуализация) появилось с переходом картографии в цифровую эпоху и описывается во многих научных трудах. По мнению авторов статьи [9], «геовизуализация – это процесс использования ресурсов данных для удовлетворения научных и общественных потреб-

ностей, а также область исследований, разрабатывающая визуальные методы и инструменты для поддержки широкого спектра приложений геопространственных данных». При этом карта создается для индивидуального использования, и ее основная цель – предоставить новые знания из данных посредством интенсивного взаимодействия между картой и пользователем, с возможностью непосредственного манипулирования пространственными данными, нанесенными на карту. Впоследствии картографами всего мира было уточнено и дополнено предыдущее определение и под геовизуализацией, в первую очередь, стали понимать процесс интерактивной визуализации географической информации на любом из этапов пространственного анализа [10, 11], способствующей исследованию геопространственных данных (информации) посредством новых технологий [9, 12], в том числе используя когнитивный подход [9, 13]. Геовизуализация представляет собой метод анализа данных, включающий три составляющих: обработку данных большого объема из различных источников, обнаружение закономерностей, программный интерфейс [9, 14, 15].

По мнению ряда авторов, геовизуализация – это интерфейс к геопространственной базе данных или средство отображения результатов моделирования, с возможностью панорамирования, масштабирования и перемещения по карте, включения и отключения доступных слоев, проведения анализа для создания и включения дополнительных преимуществ, запрашивания данных через интерфейс карты, добавления своих собственных данных и разработки сценариев [16].

Таким образом, можно предложить следующее определение геовизуализации – это междисциплинарная область исследования, разрабатывающая методы и технические решения визуального отображения пространственно-временных многомерных данных большого объема (с помощью карт, диаграмм, графиков, трехмерных моделей, анимаций и т. д. и их комбинации) с возможностью интерактивного взаимодействия с целью обнаружения закономерностей, интерпретации результатов и принятия наиболее рациональных решений.

Процесс геовизуализации можно представить в виде схемы (рис. 1).



Рис. 1. Схема процесса геоинформационной визуализации

Геоинформационная визуализация взаимодействует с рядом областей науки и техники, включая картографию, визуальную аналитику, психологию, социологию, статистику, искусство, дизайн и когнитивные науки.

В настоящий момент возникает необходимость скоординированного подхода к исследованиям геоинформационной визуализации с целью объединения технологических достижений создания современных интерактивных карт, геоаналитики с достижениями в области социальных и когнитивных наук для создания мощных и полезных инструментов визуализации геоинформации. Во многих зарубежных статьях говорится о нехватке системного подхода, который бы позволил интегрировать знания данных дисциплин, а также визуальные и вычислительные средства, позволяющие человеку и машине сотрудничать в процессе формирования знаний [17].

Существует множество нерешенных вопросов и задач, связанных с геоинформационной визуализацией, для решения которых необходимо интегрировать знания различных научных направлений. Условно все задачи можно разделить на три группы.

1. Группа задач, связанная с анализом и обработкой данных.
2. Группа задач, связанная с отображением данных.
3. Группа задач, связанная с восприятием картографической информации пользователем.

Результаты и обсуждение

Таким образом, исходя из анализа и обобщения существующей теории, методических

материалов и практической реализации современных картографических и геоинформационных произведений, а также изложенного выше, можно сформулировать следующие задачи в области геоинформационной визуализации.

1. Преобразование многомерных данных в формат, понятный человеку, обладающий возможностью размещения на карте.

Сегодняшние данные часто являются многомерными, особенно если речь идет о пространственных данных. Кроме базовых значений плановых и высотных координат, для отдельной точки это может быть ряд значений оптических сенсоров аэрокосмических съемочных систем, набор значений метеорологических датчиков, характеристики объекта недрожимости и т. д. Все эти характеристики, как правило, связаны друг с другом и требуется показать их в комплексе, что возможно реализовать только через набор карт на одну и ту же территорию, поскольку человек способен воспринимать только небольшое число измерений (на анимационной карте за счет условных знаков можно показать две-три семантические характеристики, кроме базовых четырех измерений). Но вариант в виде набора карт (даже реализованный в геоинформационной системе с различными возможностями сочетания слоев) плохо подходит, когда нужно комплексно оценить десятки показателей. В этом случае можно использовать алгоритмы и методы снижения размерности для отбора либо синтетического создания, необходимого для визуализации на карте количества характеристик. Сложность задачи состоит в том, что пространственные данные, как правило, достаточно разнообразны по со-

вокупности характеристик и не всегда понятно какой именно алгоритм или метод нужно использовать в конкретном случае. Кроме этого нужно учитывать не только мерность данных, но и их количество, в случае так называемых «больших данных» необходимо использовать специализированные алгоритмы (которые тоже зависят от типа и характера данных) для анализа очень больших объемов информации.

2. Выбор и разработка способов отображения с точки зрения технических возможностей аппаратно-программного обеспечения.

Поскольку пользователи геоинформационных систем могут работать не только на персональных компьютерах, но и на планшетах, смартфонах, используя лишь возможности web-сервисов, то нужно учитывать как метрические характеристики отображаемых объектов, типы и значения данных, решаемую задачу, так и то, какими характеристиками будет обладать устройство просмотра геовизуализации. Например, для ряда способов визуализации потребуются не только подобрать размер или цвета условных знаков, но выполнить генерализацию (или наоборот загрузить более подробные данные), использовать другие условные знаки, учитывать значения датчиков самого устройства.

3. Выбор и разработка способов отображения с точки зрения типов данных.

Сейчас существует очень большое число диаграмм, графиков, возможностей и стилей настройки векторных и растровых пространственных данных, способов их сочетания, что зачастую приводит к трудностям выбора наиболее оптимального варианта. Для возможных вариантов решения задачи требуется оценить типы данных, их значения, взаимовлияние и т. д., чтобы построить систему критериев, на основе которых может быть создана рекомендательная система выбора способов отображения.

4. Разработка алгоритмов и правил автоматического поиска и добавления данных, которые являются логически или контекстно связанными с текущим картографическим содержанием.

Кроме непосредственно отображаемых на карте данных, часто бывает полезным уви-

деть и ту информацию, которая с ними логически (контекстно) связана. Например, при отображении лесных пожаров показать ближайшие прогнозные значения атмосферного давления, влажности, температуры. Таким образом, можно построить графы семантических связей между данными и, при наличии открытых источников, интегрировать их информацию в текущую карту.

5. Разработка алгоритмов и правил интеграции различных типов данных.

Ряд современных сервисов поставки пространственных и статистических данных позволяет не скачивать сами данные, а обращаться к ним по мере необходимости и получать только нужный фрагмент, ограниченный пространственным охватом, временным интервалом и т. д. Но разнообразие форматов, систем координат, единиц измерений приводит к тому, что интеграция не всегда происходит автоматически. Кроме того, данные часто требуют предварительной обработки и отображения базовой статистики – количества пропусков, выбросов, приведения к единой шкале, единицам измерения, фильтрации для того, чтобы их можно было использовать для наглядной геовизуализации. Таким образом, нужно рассмотреть наиболее распространенные варианты сервисов открытых данных, позволяющих интегрировать их в геоинформационную систему и сформировать набор правил и алгоритмов по преобразованиям, позволяющим сформировать единое геопространство.

6. Разработка алгоритмов и правил интеграции данных, относящихся к разным предметным областям и международным стандартам.

Одни и те же данные, отображаемые на карте, могут иметь разные условные знаки в зависимости от международных стандартов, предметной области, личных предпочтений составителей тематических карт. Это так же, как и в случае поиска контекстно зависимых данных, приводит к важности метаданных, позволяющих определить семантическое значение имеющейся информации. На основе этого можно построить систему правил отображения одних и тех же объектов в зависимости от места проживания, профессиональной сферы, психологических особенностей пользователя.

7. Разработка дизайна интерфейса (юзабилити).

Главной задачей, которую необходимо решить при разработке дизайна картографического интерфейса, является улучшение взаимодействия человека с картографическим продуктом, корректная расстановка визуальных акцентов, что, в свою очередь, положительно сказывается на удобстве восприятия информации. Очень важно учитывать, как выглядят страницы на разных устройствах и разрешениях экрана. Для решения данной задачи должны применяться законы типографики, основы композиции и колористики. Дизайн помогает сделать интерфейс интуитивным и легким для понимания при решении проблем, связанных с комфортным взаимодействием пользователя с картографическим приложением.

8. Разработка дизайна картографического содержания.

Главной задачей, которую необходимо решить при разработке дизайна картографического содержания, является разработка библиотеки картографических визуальных инструментов, которые позволят создавать неограниченное количество тематических карт и графиков, строящихся на основе результатов геоаналитики. При этом очень важно учитывать, как именно визуализировать «большие данные» и данные, объединенные из различных источников, которые выводятся в виде графических объектов, адаптирующихся (с точки зрения масштаба, элементов условного знака, назначения карты, свойств окружающей среды где находится устройство просмотра) для любых типов устройства и размеров экранов с целью максимально простого считывания информации с дисплеев. В геоинформационных системах сейчас широко используется возможность создания карт из готовых шаблонов с правильно подобранными способами отображения определенной тематики, а также возможность создавать визуализацию самостоятельно, редактируя легенду, подписи, толщины линий, цвет, размер шрифта и элементов карты.

9. Выбор и разработка способов отображения, учитывающих индивидуальность пользователя.

При отображении данных для более правильного и быстрого восприятия информации важно знать, какие стереотипы влияют на восприятие пользователя, уделяя при этом особое внимание психологическим, интеллектуальным, национальным и другим персональным особенностям. В зависимости от поставленных задач необходимо учитывать особенности потенциальных пользователей на этапе проектирования профилей, что позволит выявить требуемую функциональность создаваемого приложения. Данные сведения можно получить при помощи опроса аудитории, заранее подразделив их на группы по главным критериям. На главные критерии, характеризующие пользователя, влияют предметная область и контекст решаемых им задач. Поэтому сбор информации и последующую формулировку целей и задач, учитывающих индивидуальность конечных пользователей, логично выполнять параллельно с определением особенностей конкретной предметной области.

10. Выбор и разработка способов отображения, учитывающих особенности предметной области.

Помимо индивидуальных особенностей пользователей, очень важно учитывать профессиональные стереотипы, формирующие восприятие. Поэтому при отображении данных важно выявить, какие стереотипы, связанные с предметной областью, могут повлиять на адекватное и быстрое восприятие информации.

11. Разработка алгоритмов и правил изменения внешнего вида данных в зависимости от действий пользователя.

На улучшение взаимодействия человека с картографическим продуктом может повлиять и возможность изменения содержимого представления в зависимости от типа пользователя, при которой он может осуществлять чтение, запись или редактирование карт. Например, у роли администратора имеются полные права, в том числе на редактирование способов отображения, легенды карты, толщины линий и многое другое, а также доступ к настройкам программного обеспечения, отвечающим за управление пользователями системы и их правами. У картографа имеется право редактирования метрики и семантики

объектов карты, их отображения, но нет доступа к изменению параметров других пользователей. Обычные пользователи имеют право только просматривать текущий вариант карты и разрешенные характеристики объектов, т. е. у них нет доступа к инструментам редактирования объектов карты.

12. Разработка системы критериев оценки геовизуализаций.

Оценка геовизуализации – очень важная задача, для решения которой важно опираться на систему критериев, которые должны учитывать удобство использования картографического приложения (быстрота, функциональность), а также адекватность и правильность восприятия отображаемой информации. Одним из важнейших критериев качества и эффективности картографического приложения

является скорость, с которой будет успешно решена поставленная пользователем задача. Этот критерий можно подразделить на оценки длительности и качества восприятия необходимой пространственной информации, времени интеллектуальной работы (затраты времени на формулировку и выполнение последующих действий и запросов), скорости отклика программного приложения на действия пользователя. На поиск ключевых функций продукта, понимание основных принципов работы картографического приложения должно затрачиваться минимально необходимое для этого время при наименьшем количестве усилий.

Связи между научными направлениями и решаемыми задачами графически представлены на рис. 2.

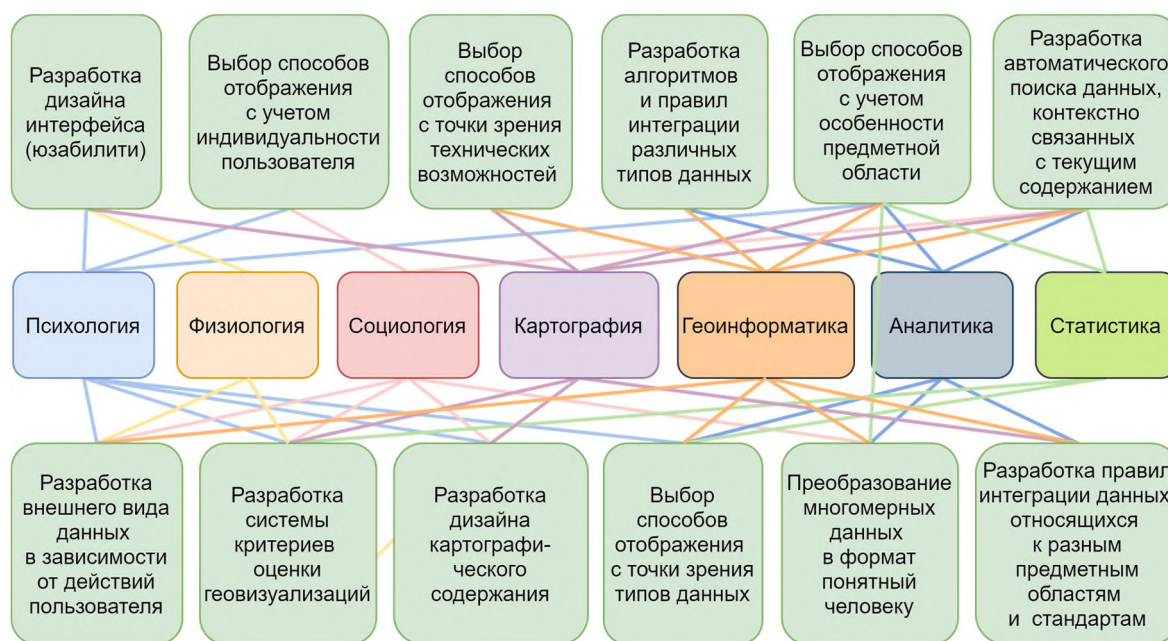


Рис. 2. Схема связей задач геовизуализации и научных направлений

Большинство перечисленных задач необходимо рассматривать с точек зрения различных научных направлений и дисциплин, в том числе с учетом принципов восприятия, поскольку очень важно не только знание о том, как визуализировать геоинформацию, но и о том, как она будет прочитана и понята пользователем.

«Интерес к исследованиям человеческого фактора для геовизуализации в последние годы беспрецедентен» [18], поскольку на эффективность правильного и быстрого воспри-

ятия картографической информации, на ее адекватное понимание и способность, тем самым, к более оперативному принятию решений, влияют различные психологические и физиологические факторы, когнитивные и ментальные стереотипы, а также предпочтения и требования пользователей [18–22].

Отсутствие единой теории геовизуализации, учитывающей принципы восприятия, существенно затрудняет использование геоинформации.

Особенности восприятия картографического изображения описывались картографами на протяжении многих лет [23–28]. Например, в учебнике «Изображение рельефа на картах» Т. В. Верещака и О. В. Ковалева проводят исследование психофизиологических факторов, влияющих на восприятие картографического изображения, рассматривают основные законы зрительного восприятия (Бугера – Вебера, Вебера – Фехнера, апперцепции, гештальта и др.), которые находят свое отражение в методах и способах изображения рельефа на картах.

С появлением и распространением цифрового картографирования возникают новые проблемы, обусловленные поиском новых решений, соответствующих современным техническим требованиям, для построения геовизуализации.

Заключение

Учитывая определенные ранее в статье задачи, по мнению авторов, наиболее перспек-

тивными будут следующие направления исследования в области геовизуализации, в том числе учитывающие принципы восприятия:

- разработать единую теорию и методы использования принципов восприятия при геовизуализации для получения рекомендаций по составлению визуального оформления новых карт и планов (картографических произведений);

- исследовать достижения в области технологий отображения и интерфейса для картографического представления;

- выполнить экспериментальные исследования для выявления закономерностей влияния восприятия на продуктивное использование визуализированной геоинформации;

- разработать новый подход к отображению картографической информации;

- разработать новый картографический инструментарий для визуализации геоинформации;

- разработать систему критериев оценки качества геовизуализированной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gunnink J. L., Burrough P. A. Interactive spatial analysis of soil attribute patterns using exploratory data analysis (EDA) and GIS // *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. – 2019. doi:10.1201/9780203739051-6.
2. Robinson A. C., Demšar U., Moore A. B., Buckley A., Jiang B., Field K., Kraak M.-J., Camboim S. P., Sluter C. R. Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter // *International Journal of Cartography*. – 2017. – Vol. 3 (1). – P. 32–60. doi: 10.1080/23729333.2016.1278151.
3. Янкелевич С. С., Радченко Л. К., Антонов Е. С. От многоцелевого картографического ресурса к «Умной карте» // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 142–155.
4. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективы развития геодезического и перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопространственной деятельности // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 19–29.
5. Лисицкий Д. В. Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая Земля» к системе виртуальной реальности // *Вестник СГГА*. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 8–16.
6. Ghosh S., Neha K. Sales Analysis and Performance of Super Store Using Qlik GeoAnalytics // *Advances in Computational Intelligence and Informatics*. – Singapore : Springer, 2020. – P. 151–157. doi: 10.1007/978-981-15-3338-9_19.
7. Jern M., Franzen J. GeoAnalytics - Exploring spatio-temporal and multivariate data // *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)*. – London, England, 2006. – P. 25–31. doi: 10.1109/IV.2006.1.
8. Andrienko G., Andrienko N., Jankowski P., Keim D., Kraak M. J., MacEachren A. M., Wrobel S. Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda // *International Journal of Geographic Information Science*. – 2007. – Vol. 21(8). – P. 839–857. doi: 10.1080/13658810701349011.
9. Rhyne T. M., MacEachren A. M., Gahegan M., Pike W., Brewer I., Cai G., Lengerich E., Hardisty F. Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support // *IEEE Computer Graphics and Applications*. – 2004. – Vol. 24(1). – P. 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.

10. Coltekin A., Janetzko H., Fabrikant S. I. Geovisualization. Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2018 Edition). – University of Zurich, 2018. doi: 10.22224/gistbok/2018.2.6.
11. Mohan M. Geospatial information from satellite imagery for geovisualisation of smart cities in India // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2016. – Vol. XLI-B8. – P. 979–985. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-979-2016.
12. Balla D., Zichar M., Tóth R., Kiss E., Karancsi G., Mester T. Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools // Applied Sciences. – MDPI, 2020. – Vol. 10 (19). doi: 10.3390/app10196701.
13. Jiang B., Huang B., Vasek V. Geovisualisation for Planning Support Systems // Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – P. 177–191. doi: 10.1007/978-3-540-24795-1_10.
14. Valêncio C., Kawabata T., Medeiros C., Souza R., Machado J. 3D Geovisualisation Techniques Applied in Spatial Data Mining // 9th international conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. – 2013. – P. 57–68. doi: 10.1007/978-3-642-39712-7_5.
15. Hepburn J., Fairbairn D. Testing geovisualisations for effective environmental engineering decision-making // Abstracts of the ICA. – 2019. – Vol. 1. – P. 111–112. doi: 10.5194/ica-abs-1-111-2019.
16. Çay D., Nagel T., Yantac E. What is happening in the city? A case study for user-centred geovisualisation design // Journal of Location Based Services. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–23. doi: 10.1080/17489725.2019.1630680.
17. Rhyne T. M., MacEachren A. M., Gahegan M., Pike W., Brewer I., Cai G., Lengerich E., Hardisty F. Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2004. – Vol. 24 (1). – P. 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.
18. Çöltekin A., Bleisch S., Andrienko G., Dykes J. Persistent challenges in geovisualization – a community perspective // International Journal of Cartography. – 2017. Vol. 3 (1). – P. 115–139. doi: 10.1080/23729333.2017.1302910.
19. Вицентий А. В., Шишаев М. Г., Порядин Т. А. К вопросу о когнитивном картографировании // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сб. науч. тр. Международной научно-практ. конф. (г. Тамбов, 31 января 2015 г.) – Тамбов : ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. Ч. 12. – С. 45–46.
20. Вицентий А. В. Разработка технологии динамической когнитивной геовизуализации // Труды Кольского научного центра РАН. – 2015. – Вып. 3 (29). – С. 87–93.
21. Шишаев М. Г., Порядин Т. А. Проблема формирования эффективных картографических интерфейсов информационных систем для задач управления территориями // Труды Кольского научного центра РАН. – 2013. – Вып. 5 (18). – С. 69–76.
22. Бешенцев А. Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 85–110.
23. Brewer C. A., Hermann D., Maceachren A. M., Pickle L. W. Mapping Mortality: Evaluating Color Schemes for Choropleth Maps // Annals of the Association of American Geographers. – 1997. – Vol. 87 (3). – P. 411–438.
24. Верещака Т. В., Ковалева О. В. Изображение рельефа на картах: теория и методы (оформительский аспект). – М. : Науч. мир, 2016. – 178 с.
25. Востокова А. В., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн : учеб. / Под ред. А. В. Востоковой. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 288 с.
26. Гармиз И. В. Качество карт: Современные проблемы и методы. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1989. – 209 с.
27. Устинов А. Г. К вопросу о семантике цвета в эргономике и дизайне. Дизайн знаковых систем: психолого-семиотические проблемы // Труды ВНИИТЭ. – 1984. – № 27. – С. 32–46.
28. Гаврилов Ю. В. Картографический дизайн. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 145 с.

Получено 26.04.2021

© Т. С. Молокина, А. А. Колесников, 2021

ANALYSIS OF THE STATE AND TRENDS OF SPATIAL DATA VISUALIZATION

Tatyana S. Molokina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Lecturer, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: molokinat@inbox.ru

Aleksey A. Kolesnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (913)725-09-28, e-mail: alexeykw@mail.ru

The growth of information technology has led to a significant expansion of the possibilities for storing, processing and presenting spatial data. This gave a new round of development to such a direction of cartography and geoinformatics as geovisualization. Interactivity and dynamics have become the main distinguishing features of modern maps, especially in the field of cartographic design, which now extend to the problems of human-computer interaction to ensure more successful analysis of geodata and the development of spatial solutions. The article examines the existing definitions of geovisualization and proposes its own version. The scheme and features of individual stages of geovisualization creation are considered. Typical tasks that need to be solved to create high-quality visualization of spatial data are formulated and their systematization is performed. On the basis of the mentioned above tasks and their specificity, the most promising areas of research in the field of geovisualization were identified.

Keywords: geovisualization, geoanalytics, perception, big data, artificial intelligence, geovisualization definition, geovisualization stages diagram, scientific directions

REFERENCES

1. Gunnink, J. L., & Burrough, P. A. (2019). Interactive spatial analysis of soil attribute patterns using exploratory data analysis (EDA) and GIS. *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. doi: 10.1201/9780203739051-6.
2. Robinson, A. C., Demšar, U., Moore, A. B., Buckley, A., Jiang, B., Field, K., Kraak, M.-J., Camboim, S. P., & Sluter, C. R. (2017). Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter. *International Journal of Cartography*, 3(1), 32–60. doi: 10.1080/23729333.2016.1278151.
3. Yankelevich, S. S., Radchenko, L. K., & Antonov, E. S. (2018). From multi-purpose cartographic resource to "Smart map". *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 142–155 [in Russian].
4. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2020). Prospects for the development of geodesic and cartographic production and the new paradigm of geospatial activity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 19–29 [in Russian].
5. Lisitsky, D. V. (2013). Prospects for cartography development: from digital land to virtual georeality. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 2(22), 8–16 [in Russian].
6. Ghosh, S., & Neha, K. (2020). Sales Analysis and Performance of Super Store Using Qlik GeoAnalytics. *Advances in Computational Intelligence and Informatics*, (pp. 151–157). Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-15-3338-9_19.
7. Jern, M., & Franzen, J. (2006). GeoAnalytics - Exploring spatio-temporal and multivariate data. *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)* (pp. 25–31). London, England. doi: 10.1109/IV.2006.1.
8. Andrienko, G., Andrienko, N., Jankowski, P., Keim, D., Kraak, M. J., MacEachren, A. M., & Wrobel, S. (2007). Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographic Information Science*, 21(8), 839–857. doi: 10.1080/13658810701349011.
9. Rhyne, T. M., MacEachren, A. M., Gahegan, M., Pike, W., Brewer, I., Cai, G., Lengerich, E., & Hardisty, F. (2004). Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(1), 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.

10. Coltekin, A., Janetzko, H., & Fabrikant, S. I. (2018). *Geovisualization. Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (2nd Quarter 2018 Ed.). University of Zurich, UCGIS, 9 p. doi: 10.22224/gistbok/2018.2.6.
11. Mohan, M. (2016). Geospatial information from satellite imagery for geovisualisation of smart cities in India. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8*, 979–985. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-979-2016.
12. Balla, D., Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., & Mester, T. (2020). Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools. *Applied Sciences*, 10(19). doi: 10.3390/app10196701.
13. Jiang, B., Huang, B., & Vasek, V. (2003) Geovisualisation for Planning Support Systems. *Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science*, (pp. 177–191). Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-540-24795-1_10.
14. Valêncio, C., Kawabata, T., Medeiros, C., Souza, R., & Machado, J. (2013). 3D Geovisualisation Techniques Applied in Spatial Data Mining. *9th international conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*, (pp. 57–68). doi: 10.1007/978-3-642-39712-7_5.
15. Hepburn, J., & Fairbairn, D. (2019). Testing geovisualisations for effective environmental engineering decision-making. *Abstracts of the ICA*, 1, 111–112. doi: 10.5194/ica-abs-1-111-2019.
16. Çay, D., Nagel, T., & Yantac, (2019). E. What is happening in the city? A case study for user-centred geovisualisation design. *Journal of Location Based Services*, 13, 1–23. doi: 10.1080/17489725.2019.1630680.
17. Rhyne, T. M., MacEachren, A. M., Gahegan, M., Pike, W., Brewer, I., Cai, G., Lengerich, E., & Hardisty, F. (2004). Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(1), 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.
18. Çöltekin, A., Bleisch, S., Andrienko, G., & Dykes, J. (2017). Persistent challenges in geovisualization – a community perspective. *International Journal of Cartography*, 3(1), 115–139. doi: 10.1080/23729333.2017.1302910.
19. Vitsentiy, A. V., Shishaev, M. G., & Poryadin, T. A. (2015). On the question of cognitive mapping. In *Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Ch. 12. Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya [Proceeding of International Scientific Conference: Part 12. Theoretical and Applied Questions of Science and Education]* (pp. 45–46). Tambov: LLC "Consulting company Ucom" Publ. [in Russian].
20. Vitsentiy, A. V. (2015). The dynamic cognitive geovisualization technology development. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 3(29), 87–93 [in Russian].
21. Shishaev, M. G., & Poryadin, T. A. (2013). Problem of effective map-based information system's interface formation for territories management tasks. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 5(18), 69–76 [in Russian].
22. Beshentsev, A. N. (2018). Scientific basis of the information concept cartographic research method. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 85–110 [in Russian].
23. Brewer, C. A., Hermann, D., Maceachren, A. M., & Pickle, L. W. (1997). Mapping Mortality: Evaluating Color Schemes for Choropleth Maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 87(3), 411–438.
24. Vereshchaka, T. V., & Kovaleva, O. V. (2016). *Depiction of relief on maps: theory and methods (design aspect)*. Moscow: Nauchnyy mir Publ., 178 p. [in Russian].
25. Vostokova, A. V., Koshel, S. M., & Ushakova, L. A. (2002). *Oformlenie kart. Komp'yuternyy dizayn [Map design. Computer design]*. A. V. Vostokova (Ed.). Moscow: Aspect Press Publ., 288 p. [in Russian].
26. Garmiz, I. V. (1989). *Kachestvo kart: Sovremennyye problemy i metody [Quality of maps: Modern problems and methods]*. Leningrad: LGU Publ., 209 p. [in Russian].
27. Ustinov, A. G. (1984). On the Semantics of Color in Ergonomics and Design. Design of iconic systems: psychological and semiotic problems. *Trudy VNIITE [VNIITE Proceedings]*, 27, 32–46 [in Russian].
28. Gavrilov, Yu. V. (2013). *Kartograficheskiy dizayn [Map design]*. Novosibirsk: SGGA Publ., 145 p. [in Russian].

Received 26.04.2021

© T. S. Molokina, A. A. Kolesnikov, 2021