



Структурно-функциональный аппарат цифровой карты

Я.Г. Пошивайло¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия

yaroslava@ssga.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Пошивайло Я.Г. Структурно-функциональный аппарат цифровой карты // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69. № 2. С. 69–81. DOI:10.30533/GiA-2025-014.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА картографирование, роботизация, формализация, структура цифровой карты, инвариантность структурных элементов карты

АННОТАЦИЯ В статье рассматриваются подходы к формализации экспертных картографических знаний для дальнейшего развития технологий искусственного интеллекта. Отмечается, что среди прочих объектов формализации важную роль играет внутренняя структура цифровой карты, которая формируется при использовании цифрового представления картографической информации, при этом изменяется методика картографирования. Цифровые карты в настоящее время создаются в программных комплексах, которые относятся к разным классам (программы графического дизайна, системы автоматизированного проектирования, геоинформационные системы). В статье анализируются различия во внутренней структуре цифровой карты в зависимости от применяемого программного обеспечения и моделей представления данных (векторные, растровые). Автор предлагает рассматривать цифровую карту как совокупность структурных элементов и структурных моделей, которые через появление дополнительных функций приводят к возникновению таких технологических свойств цифровой карты, как адаптивность, интерактивность, мультимасштабность. Рассматривается также понятие инвариантности структурных элементов карты, которое позволяет оценить степень изменчивости формы и содержания карты при ее создании и использовании. Для формализации этапа проектирования цифровой карты предлагаются критерии выбора цифровой среды. Итогом исследования являются положения, раскрывающие структурно-функциональный аппарат цифровой карты в вербальном и формальном представлении.

1 Введение

Внедрение цифровых технологий в картографию, начавшись в середине XX века, с тех пор только набирает темпы. Целью дальнейшей цифровизации и интеллектуализации в картографии является удовлетворение таких актуальных потребностей пользователей картографической продукции, как персонализированный подход к потребителю пространственной информации, повышение оперативности создания и доступности картографических материалов, разработка новых видов картографической продукции. Достижение этой цели невозможно без роботизации (как более сложного вида автоматизации) картографических процессов на базе искусственного интеллекта. Многие авторы отмечают приоритетность реализации систем искусственного интеллекта в картографии для достижения практически полной автоматизации картографического производства и вызванную этим необходимость формализации процесса картографирования [1–5].

Для дальнейшего развития технологий искусственного интеллекта необходимо как можно более полно формализовать экспертные картографические знания. Среди прочих объектов формализации важную роль играет структура цифровой карты.

Классики отечественной картографии^{1,2} сходились во мнении, что элементами аналоговой карты являются картографическое изображение, легенда, вспомогательное оснащение, дополнительное содержание. Картографическое изображение строится на математической основе, которая, в свою очередь, состоит из географической сетки, масштаба, компоновки. Все элементы аналоговой карты одновременно представлены на твердом носителе, внутренняя структура у аналоговой карты отсутствует.

Карта, созданная на компьютере, является гораздо более сложной конструкцией по сравнению с аналоговой картой. В данном исследовании будем считать цифровой картой **всякую неаналоговую карту**, что, в общем, не противоречит государственному стандарту: цифровая электронная карта — цифровая картографическая модель, содержание которой соответствует содержанию карты определенного вида и масштаба; цифровая картографическая модель — логико-математическое представление в цифровом виде объектов картографирования и отношений между ними³.

ГОСТ Р 51605-2000⁴ устанавливает, что структурной единицей цифровой картографической информации является объект цифровой топографической карты. В состав объекта цифровой топографической карты также входит семантическая информация.

ГОСТ Р 70955-2023⁵ содержит следующие определения, относящиеся к структуре карты:

- объект цифровой [электронной] карты — структурная единица цифровой [электронной] картографической модели, описывающая объект местности или иную информацию в составе цифровой [электронной] карты;
- структурная единица цифровой карты — совокупность данных цифровой [электронной] карты, имеющая самостоятельное значение.

На наш взгляд, **внутренняя структура цифровой карты зависит от технических и программных средств, в среде которых цифровая карта создана и функционирует, а также от моделей представления данных**. Таким образом, при проведении

1 Салищев К.А. Картография: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 267 с.

2 Берлянт А.М. Картография: учебник для вузов. М.: Аспект-Пресс, 2002. 336 с.

3 ГОСТ Р 70955-2023. Картография цифровая. Термины и определения. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2023. 11 с.

4 ГОСТ Р 51605-2000. Карты цифровые топографические. Общие требования. М.: Госстандарт России, 2000. 8 с.

5 ГОСТ Р 70955-2023. Картография цифровая. Термины и определения. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2023. 11 с.

формализации необходимо учитывать эту внутреннюю структуру и ее влияние на технологические процессы.

Преобладающей технологией в картографическом производстве на сегодняшний день является геоинформационное картографирование. На ряде технологических этапов находят свое применение системы автоматизированного проектирования (САПР), программы графического дизайна и программы трехмерного моделирования.

В концепцию программного обеспечения геоинформационных систем (ГИС) идея поддержки географических координат была заложена изначально. САПР, напротив, были ориентированы на работу с декартовой системой координат и ведение проектных работ в крупных масштабах, однако сегодня для многих САПР, таких как Autodesk Civil 3D, Bentley PowerCivil, разработаны программные модули, реализующие поддержку географических систем координат и проекционные преобразования, поддерживающие структуры и форматы баз геоданных, послойную структуру цифровой карты и топологические инструменты. Конечно, такие программные модули во многом специфичны и направлены, например, на проектирование и анализ дорожной сети, инженерных коммуникаций, других инженерных сетей и объектов (узкая специализация).

Рассматривая различия между ГИС и САПР, можно сказать, что САПР больше ориентированы на объект проектирования (объект эксплуатации), а ГИС — на территорию в целом. Однако различия между этими инструментами постепенно стираются [6, 7]: ГИС и САПР взаимообогащаются функционалом, поэтому анализ различий между ними, проведенный, например, год назад, сегодня становится уже неактуальным.

Программы графического дизайна, такие как CorelDRAW, Adobe Illustrator, Macromedia FreeHand, внесли значительный вклад в цифровую революцию, произошедшую в картографическом производстве на рубеже XX–XXI веков, и до сих пор многие их возможности в оформлении картографической продукции не реализованы в ГИС или САПР.

Рассмотрим далее внутреннюю структуру цифровой карты в зависимости от используемых технических и программных средств и оценим степень инвариантности ее структурных элементов.

2 Материалы и методы

2.1 Внутренняя структура цифровой карты

С переходом картографического производства на цифровые технологии произошли трансформации, которые были вызваны новыми технологическими свойствами цифровой карты, обусловленными цифровым картографическим моделированием. Цифровую карту можно рассматривать как **совокупность структурных элементов, формирующих, в свою очередь, функциональные структурные модели**. Структура цифровой карты напрямую зависит от программного обеспечения, в среде которого создается и функционирует цифровая карта.

Чтобы нагляднее представить функциональные преимущества цифровой карты и рассмотреть ее структурные элементы, обратимся к понятию «инвариантность структурных элементов карты», предложенному автором в 2020 году [8]. Данный термин отражает неизменность элементов карты в технологическом аспекте.

У аналоговой карты **инвариантны (неизменны) все ее структурные элементы**. Аналоговое картографическое изображение не подлежит редактированию, поскольку оно сформировано из цифровой формы представления для каждой отдельной аналоговой карты единственный раз, и все структурные элементы

представлены одновременно, их невозможно отключить, сместить, удалить или провести с ними любые другие манипуляции [8].

Структурные элементы цифровой карты, созданной в графических редакторах (рис. 1), представлены:

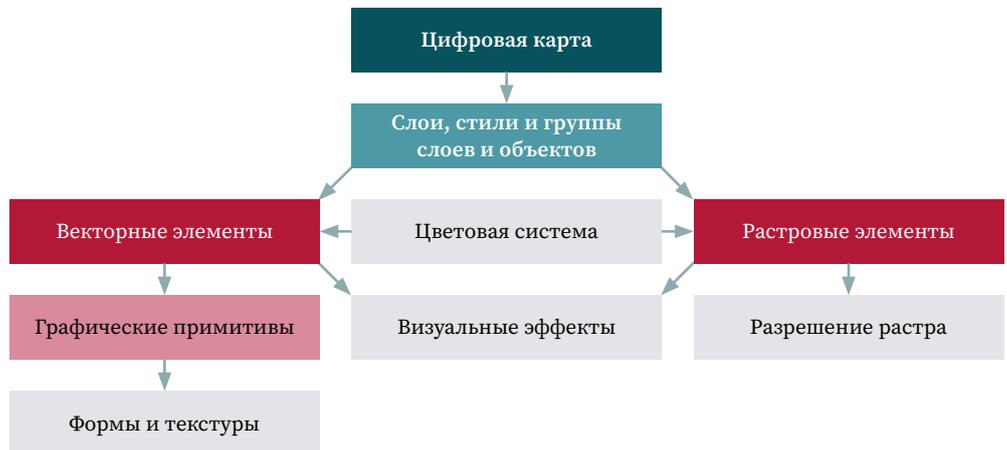
- графическими примитивами в векторной форме (линии, прямоугольники, эллипсы, многоугольники, текст и др.), описанными математическими формулами;
- растровыми изображениями (географическая основа, отмывка рельефа, обложка и др.).

Рис. 1 ➤

Структурные элементы цифровой карты в графических редакторах

Fig. 1

Structural elements of a digital map in graphic editors



Векторным элементам могут назначаться оформительские стили, такие элементы могут быть объединены в группы и в слои. Из данных структурных элементов формируется электронное картографическое изображение карты (например, тематической), которое, в свою очередь, включает географическую основу, тематическое содержание, легенду, вспомогательное оснащение и дополнительное содержание. Атрибуты, как и в аналоговой карте, передаются шрифтами, графикой (цвет, тип линий, штриховка и т. д.). Атрибутивную составляющую также возможно реализовать посредством гиперссылок, однако данный подход не позволяет в полной мере реализовывать возможности пространственно-атрибутивных запросов. Такая цифровая карта **инвариантна в части ее математической основы**, при необходимости изменения математической основы карты приходится составлять ее заново. Карта, составленная в графических редакторах, в подавляющем большинстве случаев предназначена для последующей печати (преобразования в аналоговую форму).

В цифровой карте, которая создается в среде геоинформационной системы, структурные элементы формируются из «каркаса» — геоинформационной модели (ГИМ). Из одной ГИМ можно получить неограниченное число цифровых карт. Функции таких цифровых карт гораздо шире, чем у созданных с помощью графических редакторов. Цифровая карта, созданная в среде ГИС, включает следующие структурные элементы (рис. 2):

- геометрические примитивы (точки, линии, полигоны), входящие в структуру иерархической организации информационных слоев с учетом правил цифрового описания картографической информации;
- математическую основу, содержащую описание проекций, датумов, эллипсоидов, систем координат, а также формулы для выполнения пространственной привязки и преобразований геометрии объектов цифровой карты;
- атрибутивное (семантическое) описание объектов цифровой карты — количественные и качественные характеристики объектов, выраженные в алфавитно-цифровой форме.

Такая цифровая карта используется в качестве основы для визуализации ГИМ, создаваемых в процессе компьютерной геоинформационной обработки и в качестве особого интерфейса между человеком и компьютером [9].

Рис. 2 
Структурные элементы
цифровой карты в ГИС

Fig. 2
Structural elements of a digital
map in GIS



Структурные элементы цифровой карты, созданной в ГИС, формируют визуально-графическую, послойную, топологическую структурные модели и модель базы геоданных.

Касательно инвариантности цифровой карты, созданной в среде ГИС, в части ее математической основы можно отметить следующее: картографическая проекция, координатная сетка, геодезическая основа пересчитываются и перестраиваются в автоматическом режиме, разработан и успешно реализуется механизм изменения масштаба за счет такой функции цифровой карты, как мультимасштабность [10–14]. Проводятся также научные исследования и экспериментальные работы по части решения проблемы автоматической генерализации при изменении масштаба цифровой карты [15–19]. Таким образом, ограничения в плане инвариантности математической основы карты, созданной в среде ГИС, в скором времени с большой долей вероятности будут сняты.

Вторым препятствием к снижению степени инвариантности цифровой карты является то, что обзор объектов такой карты ограничен размерами устройства, которое в большинстве случаев меньше, чем линейные размеры карты соответствующего масштаба (*инвариантность полей визуализации*), а ограничения полей визуализации лишь частично компенсируются механизмом мультимасштабности. Однако можно говорить о значительном прогрессе в этом направлении. Речь идет о поддерживающих иммерсивные технологии носимых устройствах, в которых поля визуализации не ограничены. Тем не менее до настоящего времени не удается достичь *нулевой* инвариантности цифровой карты.

2.2 Функциональные структурные модели цифровой карты в среде ГИС и САПР

Анализ внутренней структуры цифровой карты показал, что существующие технологии цифрового картографирования в среде ГИС и САПР основаны на функциональных структурных моделях цифровой карты: структуре базы геоданных, послойной структуре, визуально-графической структуре и топологической структуре. Графические редакторы наделяют цифровую карту визуально-графической и послойной структурами, но не обладают базой геоданных и не поддерживают топологию (рис. 3).

Рис. 3

Функциональные структурные модели цифровой карты в разных программных средах

Fig. 3

Functional structural models of a digital map in different software



Структура базы геоданных представляет собой способ организации массива метрических и атрибутивных данных, что увеличивает объем хранимой и выдаваемой по запросу информации и предоставляет расширенные возможности запросов (пространственных и непространственных).

Послойная структура — это способ группировки элементов цифровой карты для обеспечения удобства оперирования группами графических объектов. Такая структура обеспечивает возможность выдачи информации по требованию путем запросов и динамического масштабирования (мультимасштабности), основанных на установке свойств и правил отображения слоя. Следует отметить, что посредством атрибутивных запросов к базе данных и установки правил можно формировать внутри слоя отдельные группы, для которых затем настраивается отображение и устанавливаются масштабы видимости.

Визуально-графическая структура цифровой карты — это способ представления содержания карты, которое основывается на растровой и векторной графических моделях, имеющих свои особенности, достоинства и недостатки. Такая структура обеспечивает возможности редактирования и манипуляций с графическими представлениями объектов без потери качества составительского оригинала карты и визуальные эффекты, недостижимые для аналоговой формы карты.

Топологическая структура — это способ моделирования геометрических и (или) семантических отношений между векторными объектами. Использование правил топологии является одной из необходимых составляющих для автоматизации процессов генерализации и контроля качества цифровой карты.

В совокупности данные структурные модели позволяют реализовать такие функции карты, как (рис. 4):

- отбор объектов по атрибутам, пространственному положению;
- динамическое масштабирование;
- задание порога отображения;
- автоматизация процессов генерализации;
- возможности редактирования и манипуляций с графическими представлениями объектов без потери качества составительского оригинала карты;
- расширенные визуальные эффекты (анимация, мультимедийные элементы, изменение положения наблюдателя);
- автоматизация контроля качества карты.

Рис. 4

Взаимосвязь структурных моделей цифровой карты с функциями, реализуемыми в ГИС и САПР

Fig. 4

Relationship between structural models of a digital map and functions implemented in GIS and CAD



Это, в свою очередь, приводит к возникновению следующих технологических свойств цифровой карты: адаптивности, интерактивности, мультимасштабности.

Адаптивность цифровой карты дает возможность визуализировать только необходимую информацию. Интерактивность цифровой карты означает возможность манипуляций с картографическим изображением. Мультимасштабность цифровой карты делает ее динамической и способной отображать данные по-разному в разных диапазонах масштабов.

3 Результаты и обсуждение

Отмеченные особенности функциональной структуры цифровой карты в различных программных средах необходимо учитывать при проектировании технологических процессов производства картографической продукции. В зависимости от перечисленных ниже критериев можно формализовать этап проектирования.

Критерии для выбора цифровой среды картографирования:

- назначение и функционал картографического произведения;
- масштаб создаваемого цифрового картографического произведения;
- содержание (общегеографическое, тематическое);
- требования к конечному виду картографического продукта (аналоговый, цифровой);
- уровень художественного оформления;
- необходимость последующего редактирования;
- необходимость динамического обновления.

На основе представленных выше рассуждений можно сформулировать следующие методологические положения.

Положение 1

Цифровая карта обладает разными наборами технологических свойств, обусловленными ее аппаратно-программной реализацией и используемыми моделями представления пространственных данных.

Обозначим цифровую карту k_c , набор технических свойств s_t , модель представления данных m_d , а программно-аппаратный комплекс n_{pa} , в таком случае

$$1 \quad \forall k_c \exists! s_t | (m_d, n_{pa}) \rightarrow s_t$$

или

$$2 \quad \forall k_c \exists! s_t | P(m_d, n_{pa}, s_t),$$

где $|P(m_d, n_{pa}, s_t)$ — трехместный предикат типа « s_t зависит от m_d и n_{pa} ».

Положение 2

Цифровую карту k_c , созданную в среде ГИС, можно представить как совокупность E_s функциональных структурных элементов s_c : структуры базы геоданных b_{ds} , послойной структуры s_s , визуально-графической структуры s_{vg} , топологической структуры s_{tl} , которые приводят к появлению новых функций и изменяют технологические свойства цифровой карты:

$$3 \quad \forall k_c \exists (E_s, S | b_{ds} \vee s_s \vee s_{tl}).$$

Положение 3

Аналоговая k_a и цифровая k_c карты обладают свойством инвариантности их структурных элементов i_s , которая характеризует степень изменчивости содержания карты s_k при ее создании:

$$4 \quad \forall k_c \wedge k_a \exists i_s | \rightarrow s_k.$$

Положение 4

По мере развития цифровых технологий в картографии уменьшается степень инвариантности структурных элементов цифровой карты.

Если процесс развития цифровых технологий обозначить как r_{ct} , показатель инвариантности элементов i_{kc} цифровой карты k_c , то

5 

$$\forall k_c \exists i_{kc} | (r_{ct} \rightarrow \max) \longrightarrow (i_{kc} \rightarrow \min).$$

Приведенные положения составляют одну из базовых частей общей методологии формализации процессов картографирования для их последующей цифровой трансформации, автоматизации и роботизации.

4 Выводы

В связи с переходом к цифровой форме представления картографической информации стало возможным обсуждать внутреннюю (цифровую) структуру карт, создаваемых при помощи компьютеров. Цифровую карту предлагается рассматривать как совокупность структурных элементов и структурных моделей, которые через появление дополнительных функций приводят к возникновению таких технологических свойств цифровой карты, как адаптивность, интерактивность, мультимасштабность.

Очевидно, что аналоговая карта и созданные инструментами графических редакторов или в ГИС цифровые карты обладают разной степенью изменчивости формы и содержания. Введенный термин «инвариантность структурных элементов карты» позволяет оценить эту степень изменчивости и указывает направление развития картографии по пути к достижению нулевой инвариантности.

Расширение перечня источников пространственных данных и форматов представления картографической информации, новые способы использования карт в цифровой среде — все это приводит к тому, что специалист в области картографии должен обладать целым рядом компетенций для построения технологической цепочки создания карты с учетом многообразия исходных данных и видов картографической продукции. Повысились также требования к скорости обработки и визуализации пространственной информации, что предполагает использование современных информационных технологий с элементами искусственного интеллекта, а для развития концепции цифровых двойников, очень востребованной сегодня экономикой и обществом, необходимо обеспечить картографирование в режиме, приближенном к реальному времени [20]. В связи с этим в статье предложены критерии для выбора цифровой среды картографирования и сформулированы положения, раскрывающие структурно-функциональный аппарат цифровой карты в вербальном и формальном представлении.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит доктора технических наук, профессора Д.В. Лисицкого за ценные рекомендации при проведении исследования и подготовке статьи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Лисицкий Д.В. Картография в эпоху информатизации: новые задачи и возможности // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 22–28. DOI:10.1134/S187537281604003X.
2. Карпик А.П., Лисицкий Д.В. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопрограммной деятельности // Вестник СГУГиТ. 2020. Т. 25. № 2. С. 19–29. DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-2-19-29.
3. Андрюхина Ю.Н., Бугаков П.Ю., Касьянова Е.Л. и др. Цифровая картография: монография / под науч. ред. Д.В. Лисицкого. Новосибирск: СГУГиТ, 2023. 442 с.
4. Yuhao K., Gao S., Roth R.E. Artificial Intelligence Studies in Cartography: A Review and Synthesis of Methods, Applications, and Ethics // Cartography and Geographic Information Science. 2024. Vol. 51. No. 4. P. 599–630. DOI:10.1080/15230406.2023.2295943.

5. Harrie L., Touya G., Oucheikh R., et al. Machine learning in cartography // *Cartography and Geographic Information Science*. 2024. Vol. 51. No. 1. P. 1–19. DOI:10.1080/15230406.2023.2295948.
6. Talipova L., Grebenyuk E., Ogurtsov G., et al. Perspectives of Interactions CAD and GIS Systems // *Proceedings of International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering – 2022*. Cham: Springer, 2022. Vol. 291. P. 449–464. DOI:10.1007/978-3-031-14623-7_39.
7. Saganiak K., Buketov V. Integrating mining software, CAD, and GIS technologies for enhanced 3D geological mapping and visualization // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 567. 01021. DOI:10.1051/e3sconf/202456701021.
8. Пошивайло Я.Г. Анализ структурных элементов цифровой тематической карты // *Сборник материалов XVI Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»*: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2020. Т. 1. № 2. С. 62–67. DOI:10.33764/2618-981X-2020-1-2-62-67.
9. Кацко С.Ю. Неогеография и картография // *Сборник материалов IX Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»*: в 8 т. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2. С. 102–106.
10. Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование — новое направление картографии // *Современная географическая картография: сборник статей / под ред. И.К. Лурье, В.И. Кравцовой*. М.: ДАТА+, 2012. С. 21–35.
11. Крылов С.А. Автоматизация отбора общегеографических объектов при создании мультимасштабных карт // *Сборник материалов XVII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»*: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2021. Т. 1. С. 178–183. DOI:10.33764/2618-981X-2021-1-178-183.
12. Фещенко А.П., Крылов С.А. Принципы создания и размещения подписей населенных пунктов на мультимасштабной карте // *Сборник материалов XIX Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»*: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2023. Т. 1. № 2. С. 86–93. DOI:10.33764/2618-981X-2023-1-2-86-93.
13. Viaña R., Magillo P., Puppo E. Multi-Scale Geographic Maps // *Advances in Multiresolution for Geometric Modelling*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. P. 101–115. DOI:10.1007/3-540-26808-1_6.
14. Демиденко А.Г., Кириченко А.С., Кружков А.Е. Технология автоматизированной генерализации для создания мультимасштабных карт // *Геопрофи*. 2019. № 6. С. 16–19.
15. Самсонов Т.Е. Автоматизированное совмещение цифровой модели рельефа и векторных данных о гидрографической сети // *Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции*. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2020. С. 294–301.
16. Шурыгина А.А., Самсонов Т.Е. Автоматизированное распознавание регулярных, радиальных и кольцевых структур в конфигурации улично-дорожной сети населенных пунктов // *Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС»*. М.: Изд-во Московского университета, 2020. Т. 26. № 1. С. 410–420. DOI:10.35595/2414-9179-2020-1-26-410-420.
17. Самсонов Т.Е., Прохорова Е.А. Генерализация транспортных сетей при мультимасштабном картографировании // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2019. № 1. С. 107–117. DOI:10.31857/S2587-556620191107-117.
18. Бровка Е.А., Софинов Р.Э. Прогрессивные методы автоматизированной генерализации цифрового картографического изображения в процессе государственного топографического мониторинга // *Международный год карт в России: объединяя пространство и время: сборник тезисов Всероссийской научной конференции*. М.: МГУ, 2016. С. 40–41.
19. Ajdacka I., Karsznia I. Verifying and improving map specifications of river network selection for automatic generalization of small-scale maps // *Polish Cartographical Review*. 2022. Vol. 54. P. 75–91. DOI:10.2478/pcr-2022-0006.
20. Лисицкий Д.В., Осипов А.Г., Савиных В.Н. Цифровой двойник территории и методы геокогнитивного моделирования // *Сборник материалов XVIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»*: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2022. Т. 1. С. 206–212. DOI:10.33764/2618-981X-2022-1-206-212.

АВТОР Пошивайло Ярослава Георгиевна

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ), Новосибирск, Россия

кафедра картографии и геоинформатики, Институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент

 0000-0002-1945-442X

Поступила 22.01.2025. Принята к публикации 23.04.2025. Опубликовано 30.04.2025.



Structural and functional composition of a digital map

Yaroslava G. Poshivaylo¹✉

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
✉ yaroslava@ssga.ru

CITATION Poshivaylo YaG. Structural and functional composition of a digital map. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(2): 69–81. DOI:10.30533/GiA-2025-014.

KEYWORDS mapping, robotization, formalization, digital map structure, invariance of structural elements of the map

ABSTRACT Approaches to formalization of expert cartographic knowledge for further development of artificial intelligence technologies are discussed. It is noted that among other objects of formalization, an important role is played by the internal structure of the digital map, which is formed using the digital form of presentation of cartographic information, while the methodology of mapping changes. Digital maps are currently created in software packages belonging to different classes: graphic design programs, computer-aided design systems, geographic information systems. The article analyzes the differences in the internal structure of a digital map depending on the software used (graphic editors, computer-aided design systems, geographic information systems) and data presentation models (vector, raster). The author proposes to consider a digital map as a set of structural elements and structural models, which through the emergence of new functions leads to the emergence of new technological properties of the digital map: adaptability, interactivity, multi-scale. Also the concept of invariance of structural elements of the map, which allows estimating the degree of variability of the form and content of the map during its creation and use. To formalize the stage of designing a digital map, criteria for choosing a digital environment are proposed. The result of the study are provisions that reveal the structural and functional apparatus of the digital map in verbal and formal representations.

ACKNOWLEDGEMENTS The author thanks Doctor of Technical Sciences, Professor D.V. Lisitsky for valuable recommendations when conducting the research and writing this article.

REFERENCES 1. Lisitskii DV. Kartografiya v epokhu informatizatsii: novyye zadachi i vozmozhnosti [Cartography in the era of informatization: new problems and possibilities]. *Geography and Natural Resources*. 2016;4: 22–29 (In Russian). DOI:10.1134/S187537281604003X.

2. Karpik AP, Lisitskii DV. Perspektivy razvitiya geodezicheskogo i kartograficheskogo proizvodstva i novaya paradigma geoprostranstvennoy deyatelnosti [Prospects for the development of geodetic and cartographic production and a new paradigm of geospatial activity]. *Vestnik SSUGT*. 2020;25(2): 19–29. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-2-19-29.
3. Andriuhina JuN, Bugakov PJu, Kas'janova EL, et al. *Cifrovaja kartografija* [Digital cartography]. Lisickij DV. (ed.). Novosibirsk: SSUGT, 2023. 442 p. (In Russian).
4. Yuhao K, Gao S, Roth RE. Artificial Intelligence Studies in Cartography: A Review and Synthesis of Methods, Applications, and Ethics. *Cartography and Geographic Information Science*. 2024;51(4): 599–630. DOI:10.1080/15230406.2023.2295943.
5. Harrie L, Touya G, Oucheikh R, et al. Machine learning in cartography. *Cartography and Geographic Information Science*. 2024;51(1): 1–19. DOI:10.1080/15230406.2023.2295948.
6. Talipova L, Grebenyuk E, Ogurtsov G, et al. Perspectives of Interactions CAD and GIS Systems. *Proceedings of International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering – 2022*. Cham: Springer; 2022;291: 449–464. DOI:10.1007/978-3-031-14623-7_39.
7. Saganiak K, Buketov V. Integrating mining software, CAD, and GIS technologies for enhanced 3D geological mapping and visualization. *E3S Web of Conferences*. 2024;567: 01021. DOI:10.1051/e3sconf/202456701021.
8. Poshivaylo YG. Analiz strukturnykh elementov tsifrovoy tematicheskoy karty [Analysis of structural elements of a digital thematic map]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XVI International scientific congress*. In 8 vols. Vol. 1(2). Novosibirsk: SSUGT; 2020: 62–67. (In Russian). DOI: 10.33764/2618-981X-2020-1-2-62-67.
9. Katsko SYu. Neogeografiya i kartografiya [Neogeography and cartography]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of IX International scientific congress*. In 8 vols. Vol. 2. Novosibirsk: SSGA, 2013: 102–106. (In Russian).
10. Samsonov TE. Mul'timasshtabnoye kartografirovaniye — novoye napravleniye kartografii [Multiscale mapping — a new direction in cartography]. *Collection of articles "Modern Geographic Cartography"*. Lurie IK, Kravtsova VI. (eds.). Moscow: DATA+; 2012: 21–35 (In Russian).
11. Krylov SA. Avtomatizatsiya otbora obshchegeograficheskikh ob'yektov pri sozdanii mul'timasshtabnykh kart [Automation of selection of general geographic objects when creating multiscale maps]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XVII International scientific congress*. In 8 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSUGT; 2021: 178–183. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2021-1-178-183.
12. Feshchenko AP, Krylov SA. Printsipy sozdaniya i razmeshcheniya podpisov naselennykh punktov na mul'timasshtabnoy karte [Principles of creating and placing signatures of settlements on a multi-scale map]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XIX International scientific congress*. In 8 vols. Vol. 1(2). Novosibirsk: SSUGT; 2023: 86–93. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2023-1-2-86-93.
13. Viaña R, Magillo P, Puppo E. Multi-Scale Geographic Maps. *Advances in Multiresolution for Geometric Modelling*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2005: 101–115. DOI:10.1007/3-540-26808-1_6.
14. Demidenko AG, Kirichenko AS, Kruzhkov AE. Tekhnologiya avtomatizirovannoy generalizatsii dlya sozdaniya mul'timasshtabnykh kart [Automated Generalization Technology for Multiscale Mapping]. *Geoprofi*. 2019;6: 16–19. (In Russian).
15. Samsonov TE. Avtomatizirovannoye sovmeshcheniye tsifrovoy modeli rel'yefa i vektornykh dannykh o gidrograficheskoy seti [Automated combination of digital elevation model and vector data on hydrographic network]. *Proceedings of the XI All-Russian scientific and practical conference Geoinformation mapping in the regions of Russia*. Voronezh: Cifrovaja poligrafija; 2020: 294–301. (In Russian).
16. Shurygina AA, Samsonov TE. Avtomatizirovannoye raspoznavaniye regul'yarnykh, radial'nykh i kol'tsevykh struktur v konfiguratsii ulichno-dorozhnoy seti naselennykh punktov [Automated recognition of regular, radial and ring structures in the configuration of the street and road network of populated areas]. *Proceedings of the International conference "InterCarto. InterGIS"*. Moscow: Moscow University Press, 2020. Vol. 26(1): 410–420. (In Russian). DOI:10.35595/2414-9179-2020-1-26-410-420.

17. Samsonov TE, Prokhorova EA. Generalizatsiya transportnykh setey pri multimasshtabnom kartografirovanii [Generalization of Transport Networks for Multiscale Mapping]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2019;1: 107–117. (In Russian). DOI:10.31857/S2587-556620191107-117.
18. Brovko EA, Sofinov PE. Progressivnyye metody avtomatizirovannoy generalizatsii tsifrovogo kartograficheskogo izobrazheniya v protsesse gosudarstvennogo topograficheskogo monitoringa [Progressive methods of automated generalization of digital cartographic images in the process of state topographic monitoring]. *Collection of abstracts of the All-Russian scientific conference: International Year of Maps in Russia: Uniting Space and Time*. Moscow: MSU; 2016: 40–41. (In Russian).
19. Ajdacka I, Karsznia I. Verifying and improving map specifications of river network selection for automatic generalization of small-scale maps. *Polish Cartographical Review*. 2022;54: 75–91. DOI:10.2478/pcr-2022-0006.
20. Lisitskii DV, Osipov AG, Savinykh VN. Tsifrovoy dvoynik territorii i metody geokognitivnogo modelirovaniya [Digital twin of the territory and methods of geocognitive modeling]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XVIII International scientific congress*. In 8 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSUGT; 2022: 206–212. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2022-1-206-212.

AUTHOR Yaroslava G. Poshivaylo

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Cartography and Geoinformatics, Institute of Geodesy and Management
PhD in Engineering, Associate Professor

 0000-0002-1945-442X

Submitted: January 22, 2025. Accepted: April 23, 2025. Published: April 30, 2025.