

Наглядность визуализации данных в геоинформационной системе при использовании свойств золотого сечения

А. В. Воронин^а, канд. техн. наук, доцент, orcid.org/0000-0002-0956-0413, aleksey.v.v@mail.ru

Г. Н. Мальцев^б, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0002-6755-5700

М. Ю. Сохен^в, канд. техн. наук, orcid.org/0000-0001-9080-4368

^аФедеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Вавилова ул., д. 44, кор. 2, Москва, 119333, РФ

^бВоенно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Ждановская наб., 13, Санкт-Петербург, 197198, РФ

^вЗакрытое акционерное общество «Эврика», Московский пр., 118, Санкт-Петербург, 196184, РФ

Постановка проблемы: наглядность визуализации данных имеет важное значение для работы оператора геоинформационной системы и определяет условия, в которых он принимает решения по отображаемым данным. Использование связанных со свойствами золотого сечения закономерностей зрительного восприятия изображений позволяет сформулировать критерий наглядности визуализации данных, характеризующий возможности комплексного восприятия оператором геоинформационной системы видеоданных, отображаемых на экране видеоконтрольного устройства в виде электронной карты. **Цель:** обоснование критерия наглядности визуализации данных в геоинформационных системах с использованием свойств золотого сечения и исследование условий обеспечения наглядности отображения геоданных и метаданных на экране видеоконтрольного устройства в соответствии с предложенным критерием. **Метод:** формальное определение и исследование свойств критерия наглядности визуализации данных в геоинформационных системах с использованием в качестве показателя коэффициента покрытия площади экрана информацией, оптимальное значение которого соответствует математическому определению золотого сечения. **Результаты:** на основе проведенного анализа особенностей зрительного восприятия видеоданных и свойств золотого сечения при визуализации информации предложен критерий наглядности визуализации данных, использующий свойства золотого сечения и характеризующий возможности комплексного восприятия оператором геоинформационной системы видеоданных, отображаемых в виде электронной карты. Разработаны итерационные алгоритмы выбора масштаба отображения видеоданных по критерию наглядности, связанные со свойствами золотого сечения: базовый алгоритм, который применяется для каждого слоя отображаемых на электронной карте геоданных, и алгоритм последовательного анализа различных слоев отображаемых геоданных. Выбор масштаба отображения видеоданных в соответствии с разработанными алгоритмами может осуществляться оператором геоинформационной системы предварительно на основе параметров типовых электронных карт и наборов геоданных и метаданных, характерных для решаемой прикладной задачи. Исследовано влияние масштаба отображаемых на электронной карте геоданных и метаданных на наглядность их визуализации на экранах различных размеров: для рассмотренных типовых объемов отображаемых геоданных и метаданных наилучшая наглядность имеет место при их отображении на экране стандартного компьютерного монитора в сравнении с портативным ноутбуком и визуализационным экраном. **Практическая значимость:** предложенный критерий и рекомендации по выбору размера экрана видеоконтрольного устройства и структуры отображаемых геообъектов и метаданных могут быть использованы при проектировании геоинформационных систем, а также для предварительного выбора оператором геоинформационной системы структуры отображаемых данных.

Ключевые слова – геоинформационная система, электронная карта, наглядность визуализации данных, золотое сечение.

Цитирование: Воронин А. В., Мальцев Г. Н., Сохен М. Ю. Наглядность визуализации данных в геоинформационной системе при использовании свойств золотого сечения. *Информационно-управляющие системы*, 2018, № 6, с. 46–57. doi:10.31799/1684-8853-2018-6-46-57

Citation: Voronin A. V., Maltsev G. N., Sokhen M. Yu. Data visualization quality in a geographic information system using golden ratio properties. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2018, no. 6, pp. 46–57 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2018-6-46-57

Введение

Визуализация данных играет важную роль в практике применения геоинформационных систем (ГИС) [1–4]. Качество и наглядность визуализации данных, прежде всего геопространственной информации, определяют удобство работы оператора ГИС и условия, в которых он принимает решения по отображаемым данным. В общем случае оператор ГИС, как правило, имеет дело с динамически изменяющейся отобража-

емой ситуацией, большим числом геообъектов и метаданных, которые при отображении на экране видеоконтрольного устройства формируют сложные представления, которые не должны затруднять зрительное восприятие информации, оценку ситуации и принятие решения. Поэтому визуализация данных в ГИС должна быть информативна и наглядна.

В широком смысле под наглядностью понимается свойство психических образов объектов познания, выражающее степень доступности и по-

нятности этих образов для познающего субъекта [5, 6]. Применительно к отображаемым в ГИС видеоданным под наглядностью следует понимать возможность легкого их зрительного восприятия оператором ГИС. Поскольку видеоданные в ГИС представляют собой изображения, формируемые расположением и размерами геообъектов, блоков сопроводительной и другой информации, которые отображаются на экране видеоконтрольного устройства в виде электронной карты (ЭК) соответствующего масштаба, наглядность визуализации данных в ГИС может быть формализована в рамках моделей зрительного восприятия и распознавания объектов по изображениям [7, 8].

В литературе по вопросам построения ГИС основное внимание уделяется архитектуре ГИС при решении различных прикладных задач, хранению и логическому выводу данных для отображения, программным решениям обработки и доступа к информации, а вопросы визуализации данных рассматриваются, в основном, применительно к отдельным видам отображаемой информации [9–12]. В настоящей работе, исходя из анализа закономерностей зрительного восприятия и распознавания объектов по изображениям, сформулирован общий подход к повышению наглядности визуализации данных в ГИС на основе выбора параметров и структуры отображаемых видеоданных с использованием свойств золотого сечения. Предложен критерий наглядности визуализации данных в ГИС и представлены рекомендации по выбору структуры геоданных и метаданных при отображении ЭК с разнородной информацией о большом числе геообъектов.

Анализ особенностей зрительного восприятия видеоданных и свойств золотого сечения при визуализации информации

Визуализация данных в ГИС на современном этапе их развития предполагает отображение геопространственной информации преимущественно в виде ЭК совместно с метаданными — сопроводительной текстовой информацией и графическими объектами. При этом сопроводительная информация выводится на экран с затемнением (закрытием) элементов ЭК. Большинство имеющихся решений предполагают использование прозрачных или «всплывающих» форм на ЭК. При большом числе отображаемых геообъектов и метаданных на экране формируются сложные представления разнородных данных, что затрудняет восприятие оператором ГИС отображаемой информации в целом.

Видеоданные в ГИС представляют собой изображения, формируемые расположением и размерами геообъектов и разнообразных метадан-

ных, которые отображаются в виде ЭК. Поэтому для повышения наглядности отображения видеоданных в ГИС необходимо при выборе форм, размеров и взаимного расположения отображаемых графических и неграфических объектов учитывать объективные и субъективные закономерности зрительного восприятия и распознавания объектов по изображениям.

При зрительном восприятии изображений оператор ГИС реализует структурное распознавание отображаемых на экране объектов [6, 7]. Основными структурными признаками при визуальном распознавании объектов являются их топологические (размеры и форма) и яркостные (тон, цвет) признаки. При структурном распознавании наблюдаемые объекты характеризуются описанием их структуры (образа) совокупностью нескольких структурных признаков. При этом любой сложный по структуре наблюдаемый объект можно представить в виде структурированной в пространстве совокупности более простых объектов (объектов с простой геометрической формой, характеризующихся однородной яркостной структурой).

К числу основных закономерностей зрительного восприятия изображений человеком-оператором можно отнести следующие [13–15]:

- достоверность визуального распознавания человеком-оператором простых объектов на изображениях зависит от линейного разрешения на объекте, формы объекта и максимального линейного размера объекта на изображении, для классификации объекта на его линейный размер должно приходиться 5–8 элементов разрешения;

- при одинаковом числе приходящихся на объект элементов разрешения объекты, отличающиеся по контрасту и по форме контура, распознаются человеком-оператором с различной вероятностью;

- вероятность распознавания человеком-оператором простого объекта на изображении повышается, если этот объект находится в упорядоченном окружении других простых объектов, и при этом имеют место определенные пропорции линейных размеров простых объектов, совместно образующих объект более сложной формы;

- пропускная способность человека-оператора по запоминанию и совместному анализу нескольких изображений ограничена, практически объем оперативной памяти человека позволяет сохранять в памяти одновременно не более 5–8 изображений.

Зависимость вероятности визуального распознавания объекта на изображении от свойств изображения имеет вид [14, 16]

$$P_{\text{расп}} = \exp \left[-K_{\Phi} \left(\frac{\Delta l}{L} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где K_{ϕ} — коэффициент формы наблюдаемого объекта; Δl — линейное разрешение на объекте в изображении; L — линейный размер объекта в изображении. Величина $N = (\Delta l/L)^2$, входящая в выражение (1), есть число элементов разрешения, приходящихся в изображении на наблюдаемый объект. Коэффициент формы K_{ϕ} для различных объектов определяется эмпирически. Вероятность визуального распознавания объекта на изображении увеличивается с увеличением числа элементов разрешения в изображении объекта N и коэффициента его формы K_{ϕ} .

Линейное разрешение Δl на объекте в изображении определяется в результате решения частотно-контрастного уравнения

$$CT(\kappa) = K_{\text{пор}}(\kappa), \quad (2)$$

где C — яркостной контраст объекта; $T(\kappa)$ — частотно-контрастная характеристика изображения; $K_{\text{пор}}(\kappa)$ — пороговая характеристика системы регистрации, учитывающая влияние всех значимых источников зашумления изображения и пороговое отношение сигнал/шум зрительного анализатора. Разрешающей способности Δl соответствует пространственная частота κ_0 , являющаяся наименьшим корнем уравнения (2): $\Delta l = 1/\kappa_0$.

Выражения (1) и (2) составляют основу большинства моделей визуального распознавания объектов по изображениям. Разрешающая способность рассчитывается для частотно-контрастных характеристик изображений тест-объектов, пороговой характеристики их зрительного восприятия и технических характеристик видео-контрольного устройства. При отображении видеоданных в ГИС линейное разрешение на объекте определяется размером элемента изображения, соответствующего элементу разрешения на экране при предъявлении изображения оператору ГИС, нижний предел линейного разрешения ограничивается размером пикселя экрана видео-контрольного устройства. Контраст объекта C рассчитывается по отношению к окружающему его на изображении фону. Пространственная частота κ_0 , соответствующая разрешающей способности Δl , тем выше, чем выше граничная частота частотно-контрастной характеристики изображения $T(\kappa)$, чем меньше в области этой граничной частоты пороговая характеристика системы регистрации $K_{\text{пор}}(\kappa)$ и чем выше контраст объекта на изображении C .

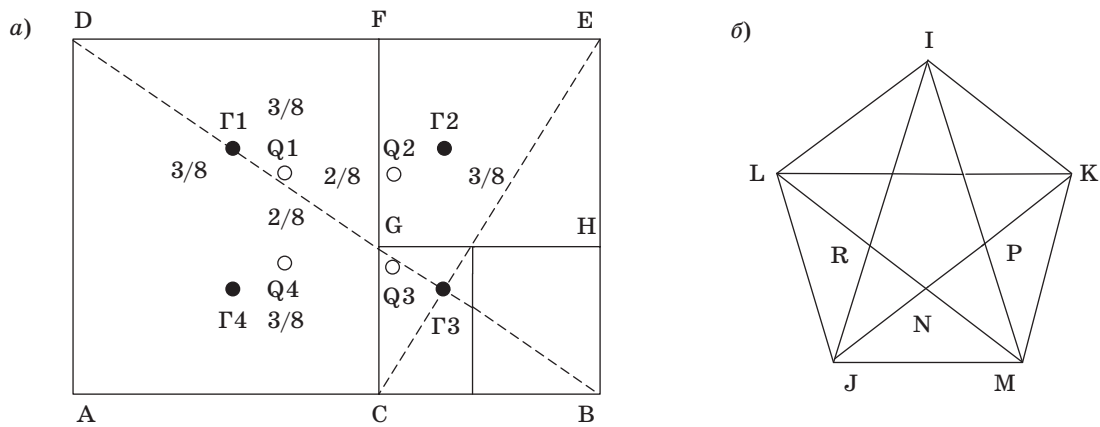
Отображаемые в ГИС видеоданные в виде ЭЖ с геообъектами и метаданными представляют собой совокупность большого числа простых и сложных объектов на одном изображении. При выполнении условий хорошего их зрительного восприятия в отдельности (линейное разрешение и контраст), определяемых моделью визуального

распознавания объектов по изображениям, для повышения качества восприятия изображения в целом (его наглядности) должны быть учтены особенности совместного зрительного восприятия простых объектов в составе сложных объектов. К числу таких особенностей относится наличие золотого сечения, определяющего пропорции между размерами элементов сложных объектов, при котором их изображения наилучшим образом воспринимаются человеком.

Золотое сечение с математической точки зрения — это иррациональное бесконечное число $\Phi = (1 + \sqrt{5})/2 \approx 1,618$, которое определяется из отношения $1/x = x/(1 - x)$, где x — длина большего отрезка в геометрической трактовке золотого сечения [17]. Геометрическая трактовка золотого сечения состоит в делении отрезка АВ единичной длины ($|AB| = 1$) точкой С на две части, при этом длина большего отрезка составляет $|BC| = x$, длина меньшего отрезка составляет $|AC| = (1 - x)$ и выполняется соотношение $|AB|/|BC| = |BC|/|AC|$. В процентном значении величина золотого сечения Φ есть отношение величин 61,8/38,2. Золотое сечение присутствует в большинстве шедевров изобразительного искусства и архитектуры и гармонизирует восприятие изображений сложных объектов, чему посвящен ряд специальных исследований [18, 19]. Поэтому связанные с золотым сечением закономерности зрительного восприятия изображений, являясь субъективными, находят многочисленные проявления, и их целесообразно использовать при визуализации данных в ГИС для их наилучшего комплексного зрительного восприятия оператором ГИС.

С золотым сечением связаны золотые фигуры геометрии — золотой прямоугольник и правильный пятиугольник.

В золотом прямоугольнике (рис. 1, а) отношение сторон (форматное отношение) равно числу Φ . Если отделить от золотого прямоугольника АВДЕ квадрат АDFС со стороны, равной меньшей стороне золотого прямоугольника, то оставшийся прямоугольник СFЕВ тоже будет золотым. То же самое произойдет, если от золотого прямоугольника СFЕВ отделить квадрат GFЕН, и т. д. Если провести диагонали в двух золотых прямоугольниках СFЕВ и СGНВ, то они всегда пересекаются под прямым углом. Точка пересечения диагоналей является геометрической точкой притяжения, куда уходит бесконечная последовательность получаемых золотых прямоугольников. В золотом прямоугольнике точками притяжения могут быть четыре точки Г1, Г2, Г3, Г4 — в зависимости от того, каким образом выделяются более мелкие золотые прямоугольники. Кроме того, в золотом прямоугольнике существуют так называемые фокусные точки или



■ **Рис. 1.** Золотые фигуры геометрии: *a* — золотой прямоугольник; *b* — правильный пятиугольник
 ■ **Fig. 1.** Golden figures of geometry: *a* — golden rectangle; *b* — a regular pentagon

зрительные центры, расположенные на удалении $|AB|/\Phi$ и $|AD|/\Phi$ от его сторон. Таких точек также четыре: Q1, Q2, Q3, Q4 — они являются центрами зрительного восприятия.

В правильном пятиугольнике (рис. 1, б) отношение длины диагонали к длине стороны равно числу Φ , например: $|IM|/|IK| = |IJ|/|IL| = \Phi$. Диагонали правильного пятиугольника образуют правильную пятиконечную звезду, у которой каждый отрезок делится пересекающим его отрезком в золотом сечении, например: $|JK|/|JP| = |JP|/|PK| = \Phi$. Кроме того, выполняется $|LK|/|LN| = |LN|/|PK| = |PK|/|NP| = \Phi$. Известен также золотой треугольник — равносторонний треугольник, длины сторон которого равны длине стороны правильного десятиугольника, вписанного в круг, и радиусу этого круга.

Свойства золотого сечения могут быть положены в основу критерия наглядности визуализации данных, использование которого при отображении видеоданных в ГИС позволяет улучшить их субъективное восприятие оператором ГИС и, как следствие, создать ему более комфортные условия при принятии решений по отображаемым данным при решении прикладных задач.

Определение критерия наглядности визуализации данных в ГИС с использованием свойств золотого сечения

Рассмотрим случай отображения в ГИС ЭК с геообъектами и метаданными, представляющими собой разнородную сопроводительную информацию [20, 21]. Визуализация геопространственной информации и метаданных осуществляется согласно масштабу участка отображения геоподложки, числу геообъектов и блоков сопроводи-

тельной информации, соотношенных к каждому геообъекту. Для наглядного восприятия геопространственной и сопроводительной информации в виде, удобном для понимания и визуального анализа, требуется отображение геообъектов и сопроводительной информации без затемнения (закрытия) существенных для визуального анализа элементов изображения.

Общая площадь геообъектов, отображаемых на ЭК, занимаемая ими на экране видеоконтрольного устройства с учетом пространственных размеров объектов и масштаба ЭК, может быть определена в виде

$$S_{\Sigma Г\text{о}} = M^2 \sum_{i=1}^I X_i Y_i, \tag{3}$$

где M — масштаб электронной карты; I — число геообъектов; X_i — длина i -го геообъекта в реальности; Y_i — ширина i -го геообъекта в реальности. Длина и ширина изображения i -го геообъекта при отображении на ЭК составляют $L_{X_i} = M X_i$ и $L_{Y_i} = M Y_i$ соответственно.

Изменение масштаба просмотра ЭК ведет к динамическому конфигурированию (изменению) размеров отображаемых геообъектов. При этом размеры изображения геообъекта на ЭК должны быть не менее линейного разрешения на изображении Δl , необходимого в соответствии с выражением (1) для обеспечения заданного уровня визуального распознавания объекта, но не более размера, выделяющего геообъект по отношению к другим соизмеримым объектам, расположенным на ЭК. Нижний предел следует из модели визуального распознавания объектов по изображениям, а верхний предел — из субъективных особенностей зрительного восприятия сложных изображений. Для площади изображения i -го геообъекта $S_{\text{Г\text{o}i}}$ это условие имеет следующий вид:

$S_{\min} \leq S_{\text{го}i} \leq S_{c_i}$, где $S_{\min} = \Delta l^2$ — площадь минимальной размерности; S_{c_i} — площадь соизмеримой размерности по отношению к другим объектам, расположенным на ЭК.

Общая площадь, занимаемая на экране видеоконтрольного устройства метаданными (сопроводительной информацией), выводимыми на ЭК совместно с геообъектами, может быть определена в виде

$$S_{\Sigma\text{мд}} = \sum_{j=1}^J U_j V_j, \quad (4)$$

где J — число блоков метаданных; U_j — длина j -го блока метаданных; V_j — ширина j -го блока метаданных. Наиболее распространенным видом метаданных в ГИС являются текстовые данные. Они выводятся на экран в виде текстовых фрагментов прямоугольной формы или выносок, отнесенных к соответствующим геообъектам.

Определяемые выражениями (3) и (4) общие площади, занимаемые на экране видеоконтрольного устройства отображаемыми геообъектами и блоками метаданных, суммируются и образуют суммарную площадь, занимаемую на экране геообъектами и метаданными:

$$S_{\Sigma} = S_{\Sigma\text{го}} + S_{\Sigma\text{мд}}. \quad (5)$$

Отношение суммарной площади, занимаемой на экране геообъектами и метаданными, к площади экрана назовем коэффициентом покрытия площади экрана информацией:

$$k = S_{\Sigma} / S_{\text{э}}, \quad (6)$$

где $S_{\text{э}}$ — площадь экрана, определяемая его линейными размерами H_X и H_Y : $S_{\text{э}} = H_X H_Y$. В соответствии с определением коэффициент k нормирован: $0 < k < 1$.

Отметим, что форматы отображения изображений в современных видеоконтрольных устройствах характеризуются определенными соотношениями числа пикселей по каждому линейному размеру экрана. Поэтому увеличение размера экрана может сопровождаться увеличением величины Δl , определяющей линейное разрешение в изображении, и не влиять на увеличение числа элементов разрешения $N = (\Delta l/L)^2$, приходящихся в изображении на наблюдаемый объект.

Коэффициент покрытия площади экрана информацией k , определяемый выражением (6), влияет на визуальное восприятие (наглядность) отображаемого на экране сложного изображения, представляющего собой совокупность геопространственной и сопроводительной информации. Чем коэффициент k больше и ближе к единице, тем больше закрытие геообъектами и метаданными

ми картографической подложки и насыщенность изображения в целом. Чем коэффициент k меньше и ближе к нулю, тем меньше вероятность распознавания малоразмерных объектов на изображении и ниже информативность изображения в целом. В обоих случаях ухудшается качество зрительного восприятия изображения в целом и снижается наглядность визуализации отображаемых данных.

Исходя из качественного анализа влияния коэффициента покрытия площади экрана информацией k на комплексное восприятие видеоданных может быть предложен критерий наглядности визуализации данных в ГИС с использованием свойств золотого сечения. В данном случае пропорции, определяемые золотым сечением, сопоставляются с долей площади экрана видеоконтрольного устройства, занимаемой отображаемыми видеоданными. В качестве критерия наглядности визуализации данных предлагается использовать значение коэффициента покрытия площади экрана информацией k , близкое к 0,382. Данное значение коэффициента k соответствует значению знаменателя дроби, определяющей величину Φ . В этом случае покрытие площади экрана выводимыми на него геообъектами и метаданными менее половины всей площади экрана и наглядность визуализации отображаемых данных высокая — имеет место наилучшее комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС. При этом значение коэффициента k , близкое к значению 0,618 числителя дроби, определяющей величину Φ , полагается предельно допустимым. В этом случае покрытие площади экрана выводимыми на него геообъектами и метаданными более половины всей площади экрана и полагается, что комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС затруднено. В диапазоне значений коэффициента покрытия площади экрана информацией $0,382 < k < 0,618$ в соответствии с субъективными данными качества зрительного восприятия изображений комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС возможно, но не наглядно. Введенный критерий наглядности визуализации данных может быть использован при проектировании ГИС, а также оператором ГИС в процессе решения им прикладных задач.

На практике для выбора масштаба отображения ЭК, обеспечивающего наилучшую наглядность визуализации данных в соответствии с предложенным критерием, необходимо учитывать зависимость коэффициента k от числа и геометрических размеров выводимых на экран видеоконтрольного устройства геообъектов и блоков метаданных, а также от размеров самого экрана. В общем случае коэффициент k является функцией ряда параметров:

$$\begin{aligned}
& k(M, I, X_1, \dots, X_I, Y_1, \dots, Y_I, J, \\
& U_1, \dots, U_J, V_1, \dots, V_J, H_X, H_Y) = \\
& = (S_{\Sigma_{ГО}}(M, I, X_1, \dots, X_I, Y_1, \dots, Y_I) + \\
& + S_{\Sigma_{МД}}(J, U_1, \dots, U_J, V_1, \dots, V_J)) / \\
& (S_0(H_X, H_Y)). \quad (7)
\end{aligned}$$

Определение коэффициента k в соответствии с его зависимостью от параметров отображаемых на экране геообъектов и блоков метаданных и размеров экрана, определяемой выражением (7), и выбор масштаба отображения ЭК, обеспечивающего наилучшую наглядность визуализации данных в соответствии с предложенным критерием, соответствующим золотому сечению ($k \approx 0,382$), может быть алгоритмизировано.

Алгоритмы выбора масштаба отображения видеоданных, обеспечивающего высокую наглядность визуализации, с использованием свойств золотого сечения

На основе проведенного анализа свойств золотого сечения и введенного критерия наглядности визуализации данных в ГИС с использованием свойств золотого сечения разработаем последовательность действий и счетную процедуру, определяющие алгоритм выбора масштаба отображения видеоданных, обеспечивающего высокую наглядность визуализации данных в ГИС. В основе выбора масштаба отображения видеоданных лежит анализ зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией k от геометрических параметров отображаемых на экране геообъектов и блоков метаданных и размеров экрана, определяемой выражением (7). Совокупность параметров, от которых зависит коэффициент k , может быть объединена понятиями структуры геоанных и метаданных.

Вследствие зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией k от большого числа параметров ($M, I, X_1, \dots, X_I, Y_1, \dots, Y_I, J, U_1, \dots, U_J, V_1, \dots, V_J, H_X, H_Y$) выбор масштаба отображения видеоданных осуществляется итерационно в результате последовательной трансформации структуры геоанных и метаданных с поиском сочетания параметров, обеспечивающих достижение выбранного критерия наглядности визуализации данных. Очевидно, что при многообразии данных, отображаемых в ГИС, и решаемых на основе их анализа прикладных задач выбор структуры геоанных и метаданных может осуществляться оператором ГИС предварительно на основе параметров типовых ЭК и наборов геоанных и метаданных, характерных

для решаемой прикладной задачи. Основные этапы выбора масштаба отображения видеоданных следующие.

1. Определяется слой (слои) выводимых на ЭК геоанных и перечень отображаемых геообъектов.

2. Определяются отображаемые метаданные (сопроводительная информация), соотношенные к каждому отображаемому геообъекту.

3. Рассчитывается суммарная площадь геообъектов, выводимых на экран, с учетом их пространственных размеров и масштаба ЭК.

4. Рассчитывается суммарная площадь блоков метаданных, выводимых на экран, с учетом их пространственных размеров.

5. Определяется суммарная площадь, занимаемая на экране геоанными и метаданными, и для заданного размера экрана рассчитывается коэффициент покрытия площади экрана информацией k .

6. Полученное значение коэффициента k сравнивается с критериальным значением (диапазоном значений), соответствующим выполнению критерия наглядности визуализации данных.

7. Если значение коэффициента k отличается от критериального значения (диапазона значений), соответствующего выполнению критерия наглядности визуализации данных, то структура геоанных и метаданных трансформируется и повторяется выполнение этапов 3–6 до выполнения критерия наглядности визуализации данных.

8. Если значение коэффициента k совпадает с критериальным значением (диапазоном значений), соответствующим выполнению критерия наглядности визуализации данных, то выбранная структура геоанных и метаданных соответствует масштабу наиболее наглядного отображения видеоданных.

9. Для визуализации выводимых на экран данных используется выбранная структура геоанных и метаданных, определяющая масштаб отображения видеоданных для работы оператора ГИС.

Практически для выполнения алгоритма целесообразно задавать диапазон значений коэффициента k . Это может быть либо диапазон значений $0,382 - \Delta k < k < 0,382 + \Delta k$ в окрестности золотого сечения, где Δk — допустимое отклонение от оптимального с точки зрения комплексного восприятия видеоданных оператором ГИС значения $k = 0,382$, либо диапазон значений $0,382 < k < 0,618$, в котором комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС возможно, но недостаточно наглядно.

Рассмотренный алгоритм является базовым, на практике целесообразно его применять последовательно в несколько проходов для каждого слоя отображаемых на ЭК геоанных, причем

каждый последующий слой рассматривается совместно с уже рассмотренными слоями, и оптимальная структура геоданных и метаданных выбирается для совокупности слоев, рассматриваемых на данном проходе. При использовании для отображения геообъектов на ЭК L слоев общее число проходов составляет L . На первом проходе рассматривается один слой, на втором проходе — два слоя и т. д., на последнем проходе — все L слоев. Выбор масштаба отображения видеоданных с последовательным рассмотрением различных слоев отображаемых на ЭК геоданных на каждом l -м проходе, $l = 1, 2, \dots, L$, проходит по следующим этапам.

1. Определяются слои выводимых на ЭК геоданных и перечень отображаемых геообъектов.

2. Определяются отображаемые на ЭК геообъекты очередного l -го слоя.

3. Определяются отображаемые метаданные (сопроводительная информация), соотнесенные к каждому отображаемому геообъекту l -го слоя.

4. Если $l = 1$, то анализируются только геообъекты и метаданные, относящиеся к одному l -му слою; если $1 < l \leq L$, то геообъекты и метаданные, относящиеся к l -му слою, объединяются с геообъектами и метаданными, которые анализировались и для которых была выбрана структура на предыдущем $(l - 1)$ -м проходе, и анализируется полученная совокупность геообъектов и метаданных l слоев.

5. Рассчитывается суммарная площадь совокупности анализируемых на l -м проходе геообъектов, выводимых на экран, с учетом их пространственных размеров и масштаба ЭК.

6. Рассчитывается суммарная площадь совокупности анализируемых на l -м проходе блоков метаданных, выводимых на экран, с учетом их пространственных размеров.

7. Определяется суммарная площадь, занимаемая на экране совокупностью анализируемых на l -м проходе геообъектов и метаданных, и для заданного размера экрана рассчитывается коэффициент покрытия площади экрана информацией k .

8. Полученное значение коэффициента k для совокупности анализируемых на l -м проходе геообъектов и метаданных сравнивается с критериальным значением (диапазоном значений), соответствующим выполнению критерия наглядности визуализации данных.

9. Если значение коэффициента k отличается от критериального значения (диапазона значений), соответствующего выполнению критерия наглядности визуализации данных, то структура совокупности анализируемых на l -м проходе геоданных и метаданных трансформируется и повторяется выполнение этапов 5–8 до выполнения критерия наглядности визуализации данных.

10. Если значение коэффициента k совпадает с критериальным значением (диапазоном значений), соответствующим выполнению критерия наглядности визуализации данных, то выбранная совокупность анализируемых на l -м проходе геоданных и метаданных соответствует масштабу наиболее наглядного отображения видеоданных.

11. Если $1 \leq l < L$, то повторяется выполнение этапов 4–10 с совместным анализом найденной совокупности геоданных и метаданных для l слоев и геоданных и метаданных, относящихся к $(l + 1)$ -му слою; если $l = L$, то выбранная структура геоданных и метаданных всех L слоев соответствует масштабу наиболее наглядного отображения видеоданных.

12. Для визуализации выводимых на экран данных используется выбранная структура геоданных и метаданных, определяющая масштаб отображения видеоданных для работы оператора ГИС.

Преимущества данного алгоритма с последовательным рассмотрением на каждом проходе различных слоев отображаемых на ЭК геоданных по сравнению с базовым алгоритмом, на основе которого он построен, заключаются в ускорении поиска оптимальной структуры геоданных и метаданных и в оперативной результативности промежуточной и итоговой визуализации. При введении дополнительных условий выполнения каждого прохода и промежуточной визуализации результатов выполнения алгоритма на каждом проходе алгоритм позволяет выполнять оптимизацию послойной и поэлементной визуализации данных, что дает возможность оператору ГИС оперативно получать представление об интересующих его геообъектах с наглядным отображением данных, удобным для комплексного восприятия. Как и при выполнении базового алгоритма, для выполнения алгоритма с последовательным рассмотрением различных слоев отображаемых на ЭК геоданных целесообразно задавать диапазон значений коэффициента k либо в виде диапазона допустимых отклонений в окрестности золотого сечения, либо в виде диапазона значений, в котором комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС возможно, но недостаточно наглядно.

Исследование условий обеспечения наглядности визуализации данных в ГИС с использованием свойств золотого сечения

Было проведено исследование условий обеспечения наглядности визуализации данных в ГИС в соответствии с предложенным критерием на-

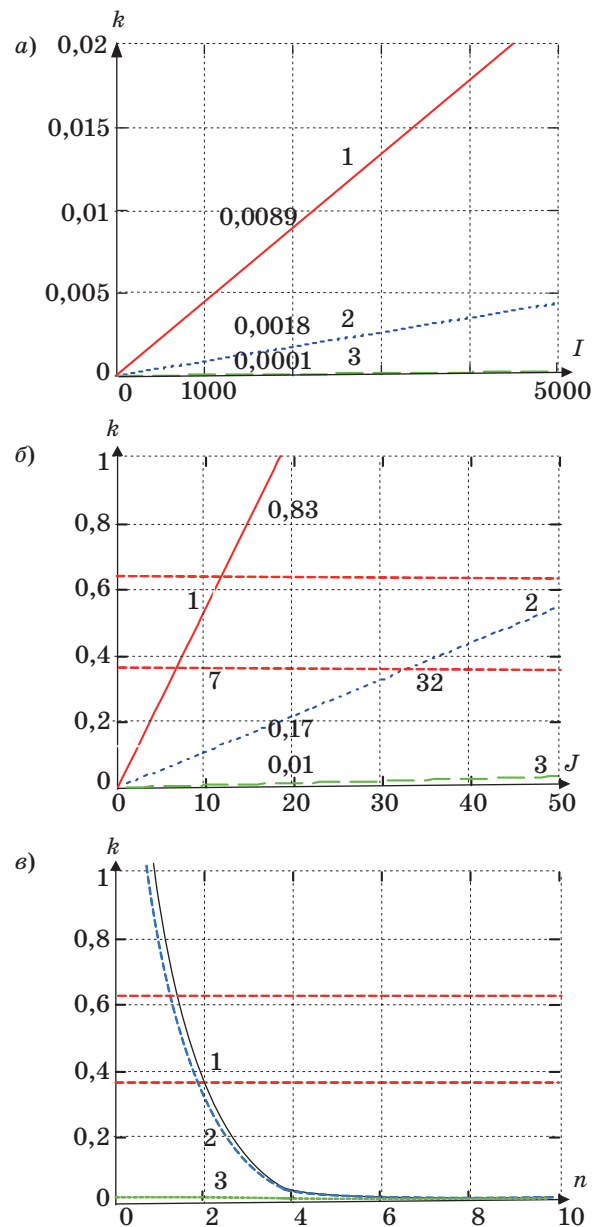
глядности визуализации данных с использованием свойств золотого сечения. Анализировались зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией k от структуры геоданных и метаданных — числа и геометрических параметров отображаемых на экране геообъектов и блоков метаданных и размеров экрана. Расчеты коэффициента k проводились в соответствии с выражениями (3)–(7) для различных сочетаний параметров геообъектов и блоков метаданных, определяющих масштаб отображения видеоданных на экране видеоконтрольного устройства ГИС.

Графики зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией k от числа геообъектов I при различной площади экрана $S_э$ представлены на рис. 2, а. Полагалось, что площадь изображения каждого геообъекта $S_{гоi} = 2 \text{ мм}^2$ (размер геообъекта $1 \times 2 \text{ м}$, масштаб ЭК 1:1000) и блоки метаданных отсутствуют. Кривая 1 соответствует $S_э = 0,15 \times 0,3 \text{ м}$ (экран портативного ноутбука), кривая 2 — $S_э = 0,35 \times 0,65 \text{ м}$ (экран монитора ПЭВМ), кривая 3 — $S_э = 1,50 \times 2,50 \text{ м}$ (визуализационный экран).

В данном случае значения коэффициента k невелики и существенно меньше оптимального значения $k = 0,382$, соответствующего золотому сечению, даже при $I = 5000$, а при $I = 2000$ имеет место $k < 0,1$. Это является следствием малого размера площади изображения каждого геообъекта $S_{гоi}$ и отсутствия отображаемых метаданных. С увеличением площади экрана $S_э$ величина коэффициента k , и без того меньшая оптимального значения, уменьшается, что показывает нецелесообразность увеличения размеров экрана при отображении ЭК, на которых отображаемые геообъекты занимают небольшую площадь. В рассмотренном случае наилучшая наглядность имеет место при отображении данных на экране портативного ноутбука.

Графики зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией k от числа блоков метаданных J при различной площади экрана $S_э$ представлены на рис. 2, б. Полагалось, что площадь изображения каждого блока метаданных $S_{мдi} = 25 \text{ см}^2$ (размер блока метаданных $5 \times 5 \text{ см}$) и геообъекты отсутствуют. Кривая 1 соответствует $S_э = 0,15 \times 0,3 \text{ м}$ (экран портативного ноутбука), кривая 2 — $S_э = 0,35 \times 0,65 \text{ м}$ (экран монитора ПЭВМ), кривая 3 — $S_э = 1,50 \times 2,50 \text{ м}$ (визуализационный экран), штриховыми линиями показаны уровни, соответствующие значениям коэффициента покрытия площади экрана информацией $k = 0,382$ и $k = 0,618$.

В данном случае значения коэффициента k изменяются в широких пределах и в зависимости от соотношения между размером экрана и числом блоков метаданных принимают значения



■ Рис. 2. Зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией от числа геообъектов (а); числа блоков метаданных (б); размера экрана видеоконтрольного устройства ГИС (в)

■ Fig. 2. Dependences of the information coverage coefficient of the screen area of the number of geobjects (a); number of metadata blocks (b); screen size of the device monitoring GIS (c)

меньшие, большие и близкие к оптимальному значению $k = 0,382$, соответствующему золотому сечению. Это является следствием достаточно большого размера площади изображения блоков метаданных $S_{мдi}$. Значение $k = 0,382$ достигается при следующих сочетаниях значений J и $S_э$: $J = 7$ и $S_э = 0,15 \times 0,30 \text{ м}$; $J = 32$ и $S_э = 0,35 \times 0,65 \text{ м}$. При $J \leq 50$ и $S_э = 1,50 \times 2,50 \text{ м}$ значение $k = 0,382$ не достигается. При $J = 10$ и $S_э = 0,15 \times 0,30 \text{ м}$

имеет место $k > 0,618$. С увеличением площади экрана S_0 величина коэффициента k уменьшается. Так, при $J = 15$ для экрана портативного ноутбука $k = 0,83$, для экрана монитора ПЭВМ $k = 0,17$, для визуализационного экрана $k = 0,01$. В рассмотренном случае при широком диапазоне изменения его значений за счет выбора размеров экрана при отображении ЭК, на которых отображаемые блоки метаданных занимают большую площадь, может быть обеспечено значение коэффициента k , близкое к оптимальному, при этом наилучшая наглядность имеет место при отображении данных на экране монитора ПЭВМ.

На рис. 2, в представлены графики зависимости коэффициента покрытия площади экрана информацией k от размера экрана видеоконтрольного устройства ГИС, характеризуемого номером варианта размера экрана n , при различных значениях числа геобъектов I и блоков метаданных J . Значения линейных размеров экрана H_X и H_Y для рассмотренных вариантов $n = 1, \dots, 10$ приведены в таблице. Остальные значения указаны выше. Кривая 1 соответствует $I = 50, J = 50$, кривая 2 — $I = 1, J = 50$, кривая 3 — $I = 50, J = 1$, штриховыми линиями показаны уровни, соответствующие значениям коэффициента покрытия площади экрана информацией $k = 0,382$ и $k = 0,618$.

В данном случае доминирующее влияние на значения коэффициента k оказывает число блоков метаданных вследствие достаточно большо-

го размера площади блоков метаданных $S_{мдi}$ по сравнению с размером площади геобъектов $S_{гоi}$. В результате значения коэффициента k в случаях, когда $I = 50, J = 50$ и $I = 1, J = 50$, отличаются незначительно. С увеличением площади экрана $S_0 = H_X H_Y$ величина коэффициента k уменьшается, что свидетельствует о нецелесообразности увеличения размеров экрана при отображении ЭК, на которых отображаемые геобъекты и блоки метаданных занимают небольшую площадь. В рассмотренном случае при малом объеме метаданных ($I = 50, J = 1$) значения коэффициента k невелики и существенно меньше оптимального значения $k = 0,382$, соответствующего золотому сечению, а при большом объеме метаданных ($I = 50, J = 50$ и $I = 1, J = 50$) значения коэффициента k , близкие к оптимальному значению, имеют место для варианта $n = 2$ ($S_0 = 0,4 \times 0,8$ м), близкого к параметрам экрана монитора ПЭВМ. В то же время для варианта $n = 1$ ($S_0 = 0,2 \times 0,4$ м), близкого к параметрам экрана портативного ноутбука, при большом объеме метаданных имеет место $k > 0,618$, что соответствует условиям, когда комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС затруднено.

Таким образом, с точки зрения наглядности визуализации данных и комплексного восприятия видеоданных оператором ГИС во всех рассмотренных случаях нецелесообразно использовать визуализационные экраны больших размеров, которым соответствуют варианты $n = 5, \dots, 10$. Они могут использоваться лишь как средство коллективного отображения информации. При большом объеме метаданных также нецелесообразно использование портативных ноутбуков с экранами малых размеров, которым соответствует вариант $n = 1$, поскольку при этом существенно затрудняется комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС. Следует отметить, что при анализе не учитывались форматы отображения изображений на экране видеоконтрольного устройства ГИС, характеризующие соотношением числа пикселей по каждому линейному размеру экрана [22]. При задании формата отображения изображения и размера пикселя видеоконтрольного устройства достижимые значения коэффициента покрытия площади экрана информацией k могут быть уточнены, однако общие рекомендации о выборе размера экрана и структуры отображаемых геобъектов и метаданных следуют уже из результатов проведенных исследований.

Заключение

Для оценки наглядности визуализации данных в ГИС предложен критерий, использующий свойства золотого сечения и характеризующий

■ Варианты размеров экрана видеоконтрольного устройства ГИС

■ Screen size options for a GIS video monitoring device

Вариант n	H_X , м	H_Y , м
1	0,2	0,4
2	0,4	0,8
3	0,6	1,2
4	0,8	1,6
5	1,0	2,0
6	1,2	2,4
7	1,4	2,8
8	1,6	3,2
9	1,8	3,6
10	2,0	4,0

возможности комплексного восприятия оператором ГИС видеоданных, отображаемых на экране видеоконтрольного устройства в виде ЭК. Связанные с золотым сечением закономерности зрительного восприятия изображений, являясь субъективными, находят многочисленные проявления, и их целесообразно использовать при визуализации данных в ГИС. В качестве показателя наглядности визуализации данных выступает коэффициент покрытия площади экрана информацией, значение которого в соответствии с введенным критерием должно быть близким к 0,382, что соответствует математическому определению золотого сечения. Практически может задаваться диапазон значений данного коэффициента либо в виде диапазона допустимых отклонений в окрестности золотого сечения, либо в виде диапазона значений, в котором комплексное восприятие видеоданных оператором ГИС возможно, но недостаточно наглядно.

Величина коэффициента покрытия площади экрана информацией зависит от ряда геометрических параметров отображаемых геообъектов и блоков метаданных и размеров экрана. Условие

наилучшей наглядности визуализации соответствует определенный масштаб отображения видеоданных и соответствующая ему структура геоданных и метаданных. Представлено описание базового алгоритма выбора масштаба отображения видеоданных по критерию наглядности, использующему свойства золотого сечения, и построенного на его основе алгоритма выбора масштаба отображения видеоданных с последовательным анализом слоев отображаемых на ЭК геоданных. Исследованы условия обеспечения наглядности визуализации данных в ГИС в соответствии с предложенным критерием. Для различных объемов отображаемых на ЭК геоданных и метаданных проанализирована наглядность их визуализации на экранах различных размеров и сделаны общие рекомендации по выбору размера экрана видеоконтрольного устройства ГИС и структуры отображаемых геообъектов и метаданных. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ГИС, а также для предварительного выбора оператором ГИС структуры отображаемых геоданных и метаданных для решаемой прикладной задачи.

Литература

1. *Геоинформатика*. в 2 кн. / под ред. В. С. Тикунова. М., Издательский центр «Академия», 2010. Кн. 1. 400 с.; Кн. 2. 432 с.
2. **Журкин И. Г., Шайтура С. В.** *Геоинформационные системы*. М., Кудиц-Пресс, 2009. 272 с.
3. **Шокин Ю. И., Потапов В. П.** ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения. *Вычислительные технологии*, 2015, № 5, с. 175–213.
4. **Воронин А. В.** Результаты анализа перспектив развития геоинформационных систем. *Системы высокой доступности*, 2017, № 4, с. 68–75.
5. **Михайлов А. Ю.** *Принцип наглядности. От традиции к инновации в обучении*. Saarbrücken, Lambert Academic Publishing, 2012. 84 с.
6. **Трофимов Е. А.** *Эргономика зрительного восприятия*. М., Актуальные издательские решения, 2013. 192 с.
7. **Marr D.** *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. Massachusetts, MIT press, 2010. 362 p.
8. **Красильников Н. Н.** *Цифровая обработка изображений*. М., Вуз. кн., 2001. 320 с.
9. **Лурье И. К.** *Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков*. М., КДУ, 2008. 422 с.
10. *Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки* / под ред. Р. М. Юсупова и В. В. Поповича. СПб., Наука, 2013. 284 с.
11. **Матерухин А. В.** Проблематика создания ГИС на основе систем управления потоками данных. *Геодезия и картография*, 2017, № 4, с. 44–47.
12. **Воронин А. В., Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С.** Особенности оценки эффективности геоинформационной системы как элемента ситуационного центра. *Системы и средства информатики*, 2018, № 2, с. 75–87.
13. **Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В.** *Аэрокосмические методы географических исследований*. М., Академия, 2004. 336 с.
14. **Лабутина И. А.** *Дешифрирование аэрокосмических снимков*. М., Аспект-Пресс, 2004. 184 с.
15. О количественной оценке эффективности алгоритмов анализа изображений / П. П. Кольцов, А. С. Осипов, А. С. Куцаев и др. *Компьютерная оптика*, 2015, № 4, с. 542–556.
16. **Гулина Ю. С., Колочкин В. Я.** Методика расчета вероятности распознавания изображений человеком-оператором. *Вестник Московского государственного университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение*, 2012, № 1, с. 100–107.
17. **Аракелян Г. Б.** *Математика и история золотого сечения*. М., Логос, 2014. 404 с.
18. **Короленко П. В., Грушина Н. В.** *Золотое сечение и самоподобные структуры в оптике*. М., УРСС, 2010. 136 с.
19. **Ковалев Ф. В.** *Золотое сечение в живописи*. М., РИП-Холдинг, 2016. 192 с.
20. **Косиков А. Г., Ушакова Л. А.** Виртуальные геоизображения пространственно-временных моделей ок-

ружающей среды. *Геодезия и картография*, 2016, № 5, с. 43–51.

21. Мироненко А. Н., Радионов В. А. Структура и основные свойства цифровой модели местности с координатной идентификацией топографической информации. *Геодезия и картография*, 2017, № 9. с. 37–41.

22. Мальцев Г. Н., Сазонов К. В., Панкратов А. В. Метод обнаружения начальных кадров видеопотока. *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*, 2016, вып. 1, с. 31–37.

UDC 681.518

doi:10.31799/1684-8853-2018-6-46-57

Data visualization quality in a geographic information system using golden ratio properties

A. V. Voronin^a, PhD, Tech., Associate Professor, orcid.org/0000-0002-0956-0413, aleksey.v.v@mail.ru

G. N. Maltsev^b, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0002-6755-5700

M. Yu. Sokhen^c, PhD, Tech., orcid.org/0000-0001-9080-4368

^aFederal Research Center «Computer Science and Control» of RAS, 44, cor. 2, 119333, Vavilova St., Moscow, Russian Federation

^bA. F. Mozhaiskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia Emb., 197198, Saint-Petersburg, Russian Federation

^cClosed Joint Stock Company «Evrika», 118, Moskovskiy Pr., 196084, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: Data visualization quality is important for the work of a geographic information system operator, determining the conditions under which he or she makes decisions concerning the displayed data. Visual perception patterns associated with the golden ratio properties allow us to formulate a criterion for data visualization quality which would characterize the possibilities of the operator's complex perception of the video data displayed on a control device screen in the form of an electronic card. **Purpose:** Substantiation of a data visualization quality criterion for geoinformation systems using the golden ratio properties, and the study of the conditions for providing good visualization quality for geodata and metadata on a video control device screen in accordance with the proposed criterion. **Methods:** A formal definition of the data visualization quality criterion in geoinformation systems using the coefficient of the screen area information coverage as an index whose optimal value corresponds to the mathematical definition of the golden ratio; and the study of the properties of this criterion. **Results:** Based on the conducted analysis of visual perception of video data and golden ratio properties during the data visualization, a criterion is proposed for data visualization quality, which uses the golden ratio properties and characterizes the possibilities of complex perception of video data in an electronic map form by a geographic information system operator. Iteration algorithms for choosing the video data display scale are developed, based on the visualization quality criterion and related to the golden ratio properties. These are the basic algorithm used for each geodata layer represented on the electronic map, and an algorithm of successive analysis of various layers of the displayed geodata. The choice of a video data display scale in accordance with the developed algorithms can be preliminarily carried out by the system operator using the parameters of standard electronic maps and geodata/metadata sets typical for the current applied problem. We have studied how the scale of the geodata and metadata displayed on an electronic map affects their visualization quality on screens of various sizes. For the considered standard volumes of displayed geodata and metadata, the best visualization quality was achieved when they were displayed on a standard computer monitor, as opposed to a portable notebook or visualization screen. **Practical relevance:** The proposed criterion and the recommendations for choosing a screen size for the video monitoring device or the structures of the displayed geo-objects and metadata can be used in the design of geoinformation systems, or for preliminary choice of the displayed data structure by a geoinformation system operator.

Keywords — geoinformation system, electronic card, data visualization quality, golden ratio.

Citation: Voronin A. V., Maltsev G. N., Sokhen M. Yu. Data visualization quality in a geographic information system using golden ratio properties. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2018, no. 6, pp. 46–57 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2018-6-46-57

References

1. *Geoinformatika* [Geoinformatics]: in 2 books / ed. by V. S. Tikunov. Moscow, Akademiya Publ., 2010. Book 1. 400 p. Book 2. 432 p. (In Russian).
2. Zhurkin I. G., Shaitura S. V. *Geoinformatsionnye sistemy* [Geoinformation systems]. Moscow, Kudits-Press Publ., 2009. 272 p. (In Russian).
3. Shokin Yu. I., Potapov V. P. GIS today: state, prospects, solutions. *Vychislitel'nye tekhnologii*, 2015, no. 5, pp. 175–213 (In Russian).
4. Voronin A. V. Results of the analysis of the prospects for the development of geo information systems. *Sistemy vysokoi dostupnosti*, 2017, no. 4, pp. 68–75 (In Russian).
5. Mikhailov A. Yu. Printsip naglyadnosti. Ot traditsii k innovatsii v obuchenii [The principle of clarity. From the tradition to the innovation in teaching]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. 84 p. (In Russian).
6. Trofimov E. A. *Ehrgonomika zritel'nogo vospriyatiya* [Ergonomics of visual perception]. Moscow, Aktual'nye izdatel'skie resheniya Publ., 2013. 192 p. (In Russian).
7. Marr D. *Vision: A Computational Investigation into Visual Information*. Massachusetts, MIT press Publ., 2010. 362 p.
8. Krasilnikov N. N. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenij* [Digital image processing]. Moscow, Vuzovskaya kniga Publ., 2001. 320 p. (In Russian).
9. Lurie I. K. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye. Metody geoinformatiki i tsifrovoj obrabotki kosmicheskikh snimkov* [Geoinformation mapping. Geoinformatics and digital processing methods of space images]. Moscow, KDU Publ., 2008. 422 p. (In Russian).
10. *Intellektual'nye geograficheskie informatsionnye sistemy dlya monitoringa morskoy obstanovki* [Intellectual geographic information systems for monitoring the marine environment] / ed. by R. M. Yusupov and V. V. Popovich. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2013. 284 p. (In Russian).
11. Materukhin A. V. The problem of creating a GIS based on data flow control systems. *Geodeziya i kartografiya*, 2017, no. 4, pp. 44–47 (In Russian).
12. Voronin A. V., Zatsarinny A. A., Ionenkov Yu. S. Features of assessing the effectiveness of geoinformation system as an element of the situational center. *Sistemy i sredstva informatiki*, 2018, no. 2, pp. 75–87 (In Russian).

13. Knizhnikov Yu. F., Kravtsova V. I., Tutubalina O. V. *Aerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy* [Aerospace methods of geographical research]. Moscow, Academy Publ., 2004. 336 p. (In Russian).
14. Labutina I. A. *Deshifrirovaniye aerokosmicheskikh snimkov* [Interpretation of aerospace images]. Moscow, Aspect-Press Publ., 2004. 184 p. (In Russian).
15. About a quantitative assessment of the effectiveness of image analysis algorithms / P. P. Koltsov, A. S. Osipov, A. S. Kutsaev, et al. *Komp'yuternaya optika*, 2015, no. 4, pp. 542–556 (In Russian).
16. Gulina Yu. S., Kolyuchkin V. Ya. The method of calculating the probability of image recognition by a human operator. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. E. Baumana. Ser. Priborostroenie*, 2012, no. 1, pp. 100–107 (In Russian).
17. Arakelyan G. B. *Matematika i istoriya zolotoy secheniya* [Mathematics and history of the golden section]. Moscow, Logos Publ., 2014. 404 p. (In Russian).
18. Korolenko P. V., Grushina N. V. *Zolotoe sechenie i samopodobnye struktury v optike* [The golden section and self-similar structures in optics]. Moscow, URSS Publ., 2010. 136 p. (In Russian).
19. Kovalev F. V. *Zolotoe sechenie v zhivopisi* [The golden section in painting]. Moscow, RIP-Holding Publ., 2016. 192 p. (In Russian).
20. Kosikov A. G., Ushakova L. A. Virtual geo-images of space-time models of the environment. *Geodeziya i kartografiya*, 2016, no. 5, pp. 43–51 (In Russian).
21. Mironenko A. N., Radionov V. A. The structure and basic properties of a digital terrain model with coordinate identification of topographic information. *Geodeziya i kartografiya*, 2017, no. 9, pp. 37–41 (In Russian).
22. Maltsev G. N., Sazonov K. V., Pankratov A. V. The method of detecting the initial frames of the video stream. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya*, 2016, no. 1, pp. 31–37 (In Russian).

Brychkov Yu. A., Marichev O. I., Savischenko N. V. Handbook of Mellin Transforms. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 2019. 587 p. ISBN 9781138353350

Преобразование Меллина широко используется в различных задачах чистой и прикладной математики, в частности в теории дифференциальных и интегральных уравнений и теории рядов Дирихле. Оно находит широкое применение в математической физике, теории чисел, математической статистике, теории асимптотических разложений и особенно в теории специальных функций и интегральных преобразований, а также в алгоритмах интегрирования в системах компьютерной алгебры.

Поскольку большинство интегралов, встречающихся в приложениях, можно свести к виду соответствующих преобразований Меллина с определенными параметрами, эта книга также может быть использована как справочник по определенным и неопределенным интегралам. Заменой переменных преобразование Меллина превращается в преобразования Фурье и Лапласа.

Справочник предназначен математикам и специалистам во всех областях науки и техники, где используются математические методы, а также аспирантам и студентам университетов.

Книгу можно приобрести на сайте издательства CRC Press: <https://www.crcpress.com/Handbook-of-Mellin-Transforms/Brychkov-Marichev-Savischenko/p/book/9781138353350>

