

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ GEOINFORMATION SYSTEMS

УДК 004.3.06

С. Л. Беляков, д-р техн. наук, проф., e-mail: beliacov@yandex.ru,
М. Л. Белякова, канд. техн. наук, доц., e-mail: mlbelyakova@sfnedu.ru,
А. И. Брехачева, студент, e-mail: annie-94@bk.ru
Южный федеральный университет, г. Таганрог

Геоинформационные модели для принятия решений на основе опыта

Рассматривается проблема повышения достоверности принятия решений на основе опыта, накапливаемого в геоинформационной системе. Указывается недостаток современного подхода к использованию опыта — атомарное представление ситуаций и решений. Предлагается концептуальная модель образного представления опыта, расширяющая атомарное представление набором допустимых преобразований ситуаций и решений. Анализируются особенности процедуры формирования решения на основе сопоставления образов.

Ключевые слова: принятие решений, неопределенность, геоинформационные системы, прецедентный анализ, образное представление

Введение

Геоинформационные системы (ГИС) являются одним из мощных инструментов поддержки принятия решений [1]. Многие трудноформализуемые задачи планирования и управления решаются путем геоинформационного моделирования реального мира. Картографическое представление в ГИС не только специальным образом визуализирует, но и несет обширные знания об отображаемом предмете. Используя ссылки электронной карты, пользователь получает доступ к внешним источникам информации, а с помощью программных инструментов синтезирует специальные картографические представления пространственных данных. ГИС и пользователь образуют систему гибридного интеллекта, в которой искусственный компонент берет на себя функции управления пространственными данными и знаниями о реальности.

Задача принятия решения с помощью ГИС реализуется следующим образом. Пользователь, решая проблему, создает картографическое изображение ситуации S , для которой ГИС строит решение $D = R(S)$, где R — процедура, основанная на знаниях. Процедуру R реализует интеллектуальный компонент ГИС. Если $U(D)$ — критерий качества решения, то формально принятие наилучшего решения описывается как

$$\begin{cases} U(D) \rightarrow \max, \\ D = R(S). \end{cases}$$

Достоверность является одним из наиболее важных критериев качества решений, формируемых с помощью ГИС. Достоверность понимается как соответствие решения действительности, возможность реализовать решение в указанных пространственных и временных рамках. Ценность такого решения максимальна. Трудность получения качественных решений — в объективном расхождении состояния реального мира и его геоинформационной модели. Действительность непрерывно изменяется, что ведет к появлению неоправданных обобщений и игнорирование существенных деталей в результате работы процедуры $R(S)$.

Процедура $R(S)$ носит логический характер. Возможности логических рассуждений, применяемых в интеллектуальных системах, ограничены получением правдоподобных выводов [2]. Достоверные заключения строятся исключительно путем дедукции, которая использует истинные утверждения. Поскольку на практике такое знание интеллектуальной системе недоступно, основой рассуждений становится "картина мира" — понятия, принципы, зависимости предметной области. Часть картины мира составляют знания, полученные из опыта решения конкретных задач. Традиционно для принятия решений на основе опыта используют прецедентный анализ [3]. Его суть заключается в нахождении для заданной проблемной ситуации наиболее близкой из ранее наблюдавшихся. Близость определяется согласно картине мира, принятой в ин-

теллектуальной системе. Решение для проблемной ситуации строится адаптацией известного. Практика использования прецедентного анализа показывает, что добиться высокой достоверности результата подобным образом не удастся. Возможной причиной следует считать несовершенство модели представления опыта, в частности, атомарный характер описания ситуаций и решений. Атомарность понимается как неделимость, которая исключает доступ к внутреннему смысловому наполнению ситуаций и решений.

В данной работе рассматривается концептуальная модель опыта принятия решений, основанная на описании наблюдаемых ситуаций и решений с позиции их преобразований. Интерес к подобной модели вызван возможностью существенного повышения достоверности принятия решений на основе опыта.

Подходы к повышению достоверности решений, принимаемых с помощью ГИС

Достоверность решений, полученных геоинформационным моделированием, зависит от следующих факторов:

- актуальности картографической основы. Отборные для решения задачи карты, схемы и планы должны соответствовать заданным пространственным, временным и семантическим ограничениям;
- точности и полноты описания проблемной ситуации. Исходная ситуация характеризуется пространственно-временным положением, набором семантических атрибутов, которые носят как количественный, так и качественный характер;
- наполнения базы знаний ГИС прецедентами, относящимися к проблемной области;
- точности и полноты описания альтернативных решений и оценок последствий их использования.

Возможны различные пути повышения достоверности, каждый из которых особым образом компенсирует влияние одного или нескольких факторов. Рассмотрим их.

Оперативное картографирование территории с проблемной ситуацией. Заключается в построении рабочей области карты $W(S)$, отображающей объекты, события и явления на момент конструирования решения. В этом случае достоверность отображения проблемной ситуации S увеличивается, растет достоверность построенного решения $D = R(S)$. Главной проблемой реализации оперативного картографирования является отсутствие методов автоматического построения карт и высокая стоимость автоматизированного способа [4]. По этой причине современные картографические сервисы Интернет Google, Yandex и другие дополняют свои

электронные карты снимками земной поверхности, панорамами, видеосъемкой с web-камер. Стоимость таких информационных материалов невысока и непрерывно снижается. Кроме того, пользователям предоставляются программные инструменты для индивидуального картографирования [5, 6]. Очевидно, что таким путем может быть получена важная достоверная информация и косвенным образом актуализирована картографическая основа. Однако при этом возникает трудность сопоставления проблемной ситуации с ранее картографированными прецедентами из-за рассогласования карт.

Создание развитой **киберинфраструктуры**, способной виртуально объединить в единое целое разнородные источники пространственных данных [7]. При наличии интероперабельности в этом случае создается возможность актуализировать рабочую область карты $W(S)$, более достоверно отображать проблемную ситуацию и оценивать последствия решений. Данный подход, однако, не решает проблему достоверности отображения наблюдавшихся в разное время прецедентов на единой виртуальной карте.

Использование **интеллектуальной визуализации** [8] позволяет повысить достоверность принятия решений за счет рационального отбора геоданных. Стимулируя интеллектуальную деятельность пользователя, данный подход не учитывает опыт ранее принятых решений.

Подход, использующий в составе ГИС **экспертные системы с символьными рассуждениями** [9], изолирует картографическое представление ситуаций и решений от знаний. Данный случай соответствует применению знаний высокого уровня обобщений. Слабая связь с пространственно-временными координатами порождает недостоверные решения, поэтому данный подход применим для решения задач с невысокой степенью неопределенности.

Анализируя перечисленные подходы, можно заключить следующее:

- достоверность не может быть обеспечена исключительно оперативным картографированием не только из-за трудности его автоматизации, но и из-за неправдоподобия сравнения прецедентов. Описание прецедентов носит статичный, атомарный характер и не позволяет оценить влияние изменений на ситуации. Например, оперативное сообщение о ремонте на участке дороги, на первый взгляд, должно привести к решению о перепланировании всех проходящих через этот участок маршрутов. Однако это может быть и не так, если ранее зафиксированные прецеденты покажут, что именно в этом месте ремонт принципиально не влияет на дорожный трафик;

- достоверность предлагаемых решений повышается при оперативном картографировании, однако требуется модель генерации возможных решений, учитывающая возможные изменения реального мира. Например, решение о выборе места парковки недалеко от стадиона должно генерироваться с учетом опыта наблюдения загрузки парковок в разные интервалы времени, принудительного перекрытия полос движения, значимости спортивного мероприятия;
- уровень достоверности может быть существенно повышен, если модифицировать известную процедуру прецедентного анализа, декомпозировав единую картину мира и используя вместо атомарных прецедентов их инварианты в ограниченных областях пространства и времени. Например, если принимается решение о защите от предполагаемых последствий надвигающегося урагана, то оно должно базироваться на аналитическом обобщении того, какие последствия ураганов наблюдались в последнее время в данной местности. Оценки из усредненных и обобщенных данных по большой территории могут привести к совершенно недостоверным заключениям.

В работе [10] был предложен принцип образного описания опыта в ГИС. Отличительной особенностью принципа является описание ситуаций и решений как совокупности их преобразований, при которых не меняется суть прецедентов. Рассмотрим особенности реализации прецедентного анализа в этом случае.

Близость образов ситуаций при прецедентном анализе

Традиционно прецедентный анализ базируется на нахождении близких по смыслу ситуаций. Прецеденты p_1 и p_2 считаются близкими, если в соответствии с принятой метрикой $N(p_1, p_2)$ расстояние между ними

$$N(p_1, p_2) > n,$$

где n — заданное значение. Метрика зависит от признаков, однозначно характеризующих любой прецедент.

Концептуальная модель образа прецедента

$$I_p = \langle I_s, I_d \rangle,$$

имеет две существенные особенности:

- образ прецедента включает в себя набор допустимых преобразований ситуации I_s , не меняющих суть этой ситуации и принятого в ней решения. Образ описывает семейство ситуаций, похожих на наблюдавшуюся единичную ситуацию. Преобразования конкретной ситуации всегда содер-

жат обобщение, хотя и локализируются пространственными, временными и семантическими рамками наблюдаемого. Можно утверждать, что именно по этой причине в образ прецедента закладывается фрагмент "картины мира", которая столь существенна для получения достоверного решения;

- образ прецедента несет в себе набор допустимых преобразований решения I_d , сохраняющих его сущность. Образ решения задает семейство решений, каждое из которых применимо в одинаковых по сути ситуациях I_s . Такой подход генерирует достоверное "разумное" решение, поскольку является результатом дедуктивного заключения.

Чтобы оценивать близость образов, воспользуемся принципами когнитивной семантики [11]. Представим внутреннюю структуру образа ситуации как

$$I_s = \langle c, H(c) \rangle,$$

где c — центр образа; $H(c) = \{h_1(c), h_2(c), \dots, h_M(c)\}$ — набор его преобразований. Под центром понимается та реальная ситуация, которая послужила основой возникновения образа. Рассмотрим модель образа на примере (рис. 1). Пусть требуется перевезти груз из точки A в точку B и этот логистический проект был реализован по траектории AB . Данный прецедент порождает следующий образ (рис. 2):

- $h_1(A)$ является преобразованием положения точки A , т. е. областью возможного местонахождения



Рис. 1. Пример реализации решения в логистическом проекте

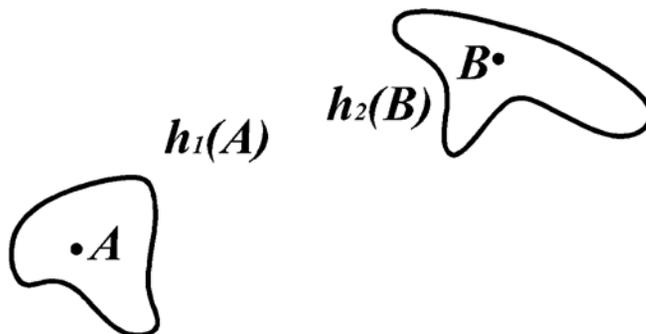


Рис. 2. Образ ситуации прецедента

ния транспортного средства, при котором выбранная траектория AB существенно не меняется;

- $h_2(B)$ есть преобразование точки B . Любое положение целевой точки в данной области не меняет суть ситуации и решения.

Центром образа I_s является пара точек A и B , преобразования отображаются зонами $h_1(A)$ и $h_2(B)$. На рис. 3 показан образ решения. В него включен центр — траектория AB — и возможные преобразования траектории $g_i(AB)$, $i = 0, 3$. Преобразования показаны штриховой линией.

Образное мышление рассматривается как сопоставление образов [11]. Техническая реализация этой операции требует определения метрики. Метрика расстояния между образами $N(I_1, I_2)$ должна строиться так, чтобы учесть субъективизм знаний экспертов. Субъективизм проявляется, с одной стороны, в индивидуальной интерпретации реализовавшейся ситуации (центра образа), с другой — в суждении о прогнозируемых модификациях уже наблюдавшейся ситуации.

На вид метрики $N(I_1, I_2)$, как показал анализ, влияют следующие факторы:

- взаимное положение границ областей преобразований и их центров;
- степень перекрытия областей преобразований.

Учитывать первый фактор предлагается применением процедуры классификации. На рис. 4 приведены диаграммы взаимного расположения пары образов. Овалы обозначают области преобразований, точки внутри овалов — центры образов. Через N_i ($i = \overline{0, 5}$) обозначены классы топологических отношений, возникающих при сравнении. Анализ практических случаев показал, что на субъективное заключение о близости ситуаций существенно влияет расположение центров образов относительно пересечения областей преобразований. Расстояние между центрами роли не играет. Существенно то, в каком регионе пересечения эти центры размещены. Класс N_0 соответствует сравнению образов, не имеющих общих вариантов преобразований, класс N_1 — наличие общих преобразований, которые не подтверждены практикой, т. е. в них не попадает ни один из центров. Класс N_5 включает ситуацию, в которой преобразования одного из образов полностью включаются в преобразования другого, причем это подтверждено опытом: центры образов размещены в зоне пересечения. Следует заключить, что предпочтения при выборе ближайшего образа к заданному будут описываться выражением

$$N_0 < N_1 < N_2 < N_3 < N_4 < N_5.$$

Таким образом, предложенная классификация топологических отношений позволяет реализовать "разумную" процедуру оценки близости.

Наличие областей пересечения при анализе преобразований говорит о том, что имеется некоторая общность возможных изменений ситуаций. Оценить степень общности преобразований h_i двух образов I_1 и I_2 предлагается выражением

$$\alpha = \frac{2S(h_i^{(I_1)} \cap h_i^{(I_2)})}{S(h_i^{(I_1)}) + S(h_i^{(I_2)})},$$

где $S(x)$ есть площадь области x . Значение $\alpha = 1$ имеет место в случае полного совпадения возможных преобразований, $\alpha = 0$ — в противном случае.

Пример сравнения ситуаций для рассматриваемой выше задачи показан на рис. 5. Сравняется

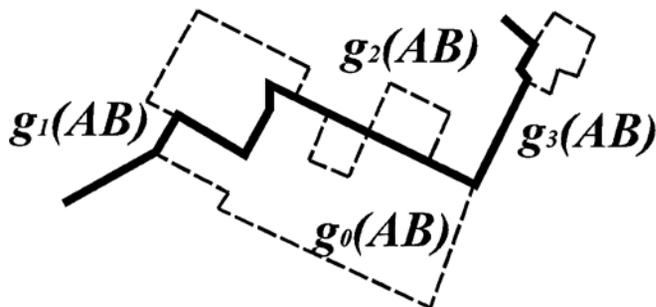


Рис. 3. Образ решения прецедента

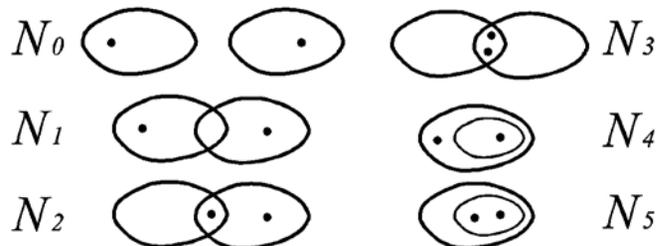


Рис. 4. Классы взаимного положения образов

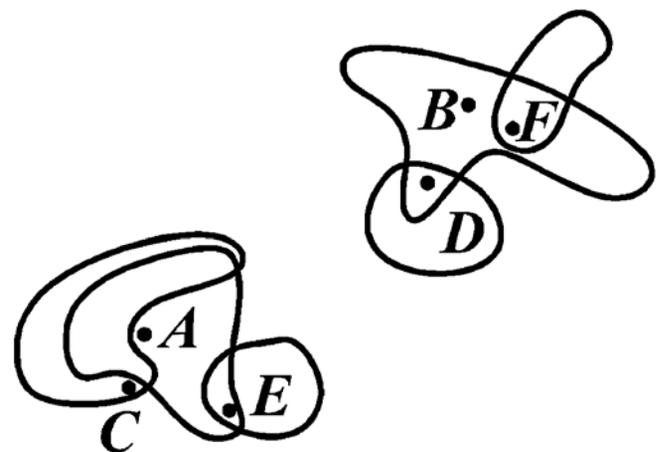


Рис. 5. Пример сравнения ситуаций

близость образа I_1 для пары точек AB с образами I_2 для пары точек CD и I_3 для пары точек EF . Образ I_1 оказывается более близким к образу I_3 несмотря на то, что центры A и C расположены ближе и степень общности $\alpha_{12} > \alpha_{13}$, поскольку I_1 и I_3 имеют более предпочтительное топологическое размещение.

Таким образом, предложенные механизмы оценки близости по отдельно взятым преобразованиям позволяют учитывать специфику субъективного сопоставления образов. Поскольку каждый образ описывается несколькими преобразованиями, возникает задача многокритериального выбора. Ее решение может быть найдено известными способами [12], однако в целях повышения достоверности сравнения целесообразно использовать образное представление.

Образное оценивание близости прецедентов

Определение наиболее близкого образа заданному образу можно рассматривать как принятие решения в условиях неопределенности. Формальные выражения для метрики не отражают существующие на практике зависимости от времени и места событий. Например, решения о мерах по ликвидации последствий урагана могут приниматься с предпочтением того, что "произошло недавно", но не "того, что было в этом месте гораздо раньше". Предпочтение выбора в данном случае обусловлено опытом лица, принимающего решение, и этот опыт, возможно, указывает на более высокую значимость того, что "произошло недавно" ввиду существенных изменений инфраструктуры анализируемого участка местности.

Возможность картографировать образы оценивания близости прецедентов дает несомненный эффект повышения достоверности. Реализацию образа покажем на примере. В таблице приведены данные о сравнении близости образа I_1 к образам I_2 и I_3 . Через S_{mn} обозначены площади областей пересечения преобразований, относящихся к определенному слою карты. В примере таких слоев три. Через \hat{N}_{mn} обозначен номер класса взаимного положения образов. Приведенные данные служат исходным для принятия решения. Заметим, что информация о предпочтениях явно не указана, но содержится в конечном результате.

Слой карты	S_{12}	S_{13}	\hat{N}_{12}	\hat{N}_{13}
Географическая основа (ГО)	0,1	0,15	1	3
Транспортные магистрали (ТМ)	0,6	0,3	2	3
Транспортная инфраструктура (ТИ)	0,5	0,8	5	1

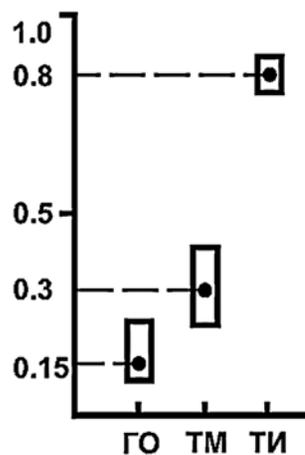


Рис. 6. Визуализация образа степени пересечения преобразований

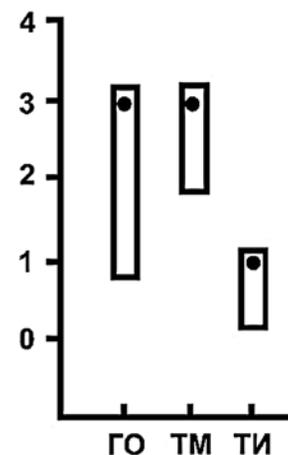


Рис. 7. Визуализация образа принадлежности классам взаимного положения

Образ, как определялось выше, включает центр и его преобразования. Визуализация образа для примера показана на рис. 6 и 7. Центр образа отображается точками, преобразования — столбцами. Высота и положение столбцов отображают знание эксперта о возможных преобразованиях, не влияющих на предпочтение выбора. Визуализация пространственной и временной компоненты образа показаны на рис. 8 и 9. Пространственная граница (рис. 8) задает область применимости образа. В области точками показаны сравнивавшиеся ранее прецеденты. Они образуют центр образа. Центром образа на временной диаграмме (рис. 9) является момент сравнения. Следующие далее интервалы в виде горизонтальных прямоугольников ограничивают применимость образа.

Подчеркнем важность визуализации в описании образа [13]. Возможные преобразования центров образов должны отображаться адекватно профес-



Рис. 8. Визуализация пространственного компонента образа



Рис. 9. Визуализация временного компонента образа

сиональным навыкам эксперта в использовании карт, схем и планов. Способ отображения оказывает влияние на качество получаемых от эксперта знаний и, соответственно, на достоверность принимаемых впоследствии решений.

Заключение

Анализируя эффективность образного представления, необходимо отметить следующее.

Описание опыта образами существенно богаче традиционно используемых картографических описаний. Отображение преобразований возникает как результат субъективного анализа, в котором использовались глубинные знания эксперта. Этот анализ интегрирует гипотезы, обобщения и прогнозы, воспроизвести которые невозможно формально. При этом становится возможным зафиксировать конечный результат анализа инструментами картографической визуализации. Пространственная, временная и семантическая привязка преобразований создают целостную смысловую картину каждой ситуации и принятых в ней решений. Таким образом, картографические образы опыта открывают новую возможность создавать, хранить и обмениваться сложными смысловыми концепциями.

Оценить эффект повышения достоверности формируемых решений можно исходя из следующего. Обозначим через $D(s)$ зависимость решения, принимаемого на заданном наборе параметров внешней среды s . Если имеется опыт принятия решения $D(s_0)$ при значении параметров s_0 , то распространение этого опыта на проблемную ситуацию с параметрами s_p дает решение $D(s_p)$. Условием положительного эффекта применения решения $D(s_p)$ в проблемной ситуации является неравенство

$$W(D(s_p)) \geq W(D(s_0)), \quad (1)$$

где W — критерий качества решения. Очевидно, что применимость на практике решения $D(s_p)$ — всего лишь гипотеза, достоверность которой тем выше, чем ближе s_p и s_0 . При $|s_p - s_0| = 0$ неравенство (1) становится достоверным равенством. Тогда условием достоверности можно считать

$$D'(s_p) = D'(s_0) = 0, \quad (2)$$

так как это гарантирует отсутствие потери качества решения.

Поскольку зависимость $D(s)$ неизвестна, данное равенство можно рассматривать как основу поиска достоверных гипотез принятия решений. Основа в

том, что необходимо изучать отклонения (преобразования) параметров ситуаций и решений. Знание отклонений — это возможность указать значение $D(s)$ в окрестности Δs точки s с вероятностью

$$\sum_{s_k \in \Delta s} P(D(s_k)) > 0, \text{ в то время как при отсутствии тако-$$

го знания $\forall s_k \in \Delta s: P(D(s_k)) = 0$.

Условие (2) включает в себе другую возможность повышения достоверности решений. В ГИС может использоваться процедура корректировки уже известного решения соответственно допустимым отклонениям параметров внешней среды. Возможности сбора данных об окружающем мире через сеть растут [5, 6, 13]. Если в геоинформационной модели заложена информация о возможных преобразованиях решений, это может быть сделано после получения данных о реальной ситуации. Образ решения позволяет достоверно "вписать" его в реальные условия.

Список литературы

1. **Иванников А. Д., Кулагин В. П., Тихонов А. Н., Цветков В. Я.** Геоинформатика. М.: Макс пресс, 2001.
2. **Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. 2-е изд., испр. и доп. / Под ред. В. Н. Вагина и Д. А. Поспелова. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2008.
3. **Варшавский П. Р., Еремеев А. П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 1. С. 45—57.
4. **Берлянт А. М.** Картографический метод исследования. Изд-во МГУ. 1988.
5. **Справочный центр — Картограф.** URL: <https://support.google.com/mapmaker/?hl=ru#topic=3180752> (дата обращения 01.09.2014).
6. **Клуб Народной карты.** URL: <http://clubs.ya.ru/narod-karta/> (дата обращения 01.09.2014).
7. **Li W., Linna L., Goodchild M. F., Anselin L.** A geospatial cyberinfrastructure for urban economic analysis and spatial decision-making // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2012. N. 2. P. 413—431.
8. **Pettit C., Cartwright W., Bishop I., Lowell K., Puller D., Duncan D.** Landscape Analysis and Visualisation, Spatial Models for Natural Resource Management and Planning. Berlin: Springer-Verlag. 2008.
9. **Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки /** Под. общ. ред. Р. М. Юсупова и В. В. Поповича. Спб.: Наука, 2013.
10. **Беляков С. Л., Белякова М. Л., Савельева М. Н.** Прецедентный анализ образов в интеллектуальных геоинформационных системах // Информационные технологии. 2013. № 7. С. 22—25.
11. **Кузнецов О. П.** О концептуальной семантике // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32—42.
12. **Петровский А. Б.** Теория принятия решений. М.: Издательский центр "Академия", 2009.
13. **Belyakov S. L., Bozhenyuk A. V., Belykova M. L., Rozenberg I. N.** Model of Intellectual Visualization of Geoinformation Service // Proc. 28th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2014. 2014. P. 326—333.

S. L. Belyakov, Professor, e-mail: beliacov@yandex.ru,
M. L. Belyakova, Associate Professor, e-mail: mlbelyakova@sfedu.ru, **A. I. Brehacheva**, Student,
Southern Federal University, Taganrog, Russia

Geographic Information Models for Decision-Making Based on the Experience

This paper deals with the problem of improving the assurance of decision-making based on the experience accumulated in the geographic information system. The assurance is understood as an extent of accordance of the decision made to the reality as it is. The decision must be adapted to the real world situation with minimal damage in case of failure. The problem of the modern approach of the usage of the experience that is atomic performance of situations and solutions is pointed out. Atomicity appears as an inability of fractional modification. Situations and solutions presented in the atomic form are impossible to adapt to specific cases. The conceptual model of the experience metaphor that enlarges the atomic presentation by a set of situations' and solutions' allowable transformation is offered. The transformations are described by the visual cartographic objects. It allows you to set the spatial or temporal boundary of changing situations and solutions. The special aspects of decision-making process that are based on image matching are analyzed. The topological patterns for the classification of the extent of nearness are described; the correlation for the nearness' estimation in case of image crossing is presented. The procedure of graphic presentation of experience of images' nearness' estimation is considered. The effectiveness of graphic presentation from the perspective of continuity of processes and situations of the real world is estimated.

Keywords: decision-making, uncertainty, geographic information systems, precedent analysis, graphic presentation of knowledge, logic of figurative reasoning

References

1. **Ivannikov A. D., Kulagin V. P., Tihonov A. N., Cvetkov V. Ja.** *Geoinformatika*. M.: Maks press, 2001.
2. **Vagin V. N., Golovina E. Ju., Zagorjanskaja A. A., Fomina M. V.** *Dostovernyj i pravdopodobnyj vyvod v intellektual'nyh sistemah*. 2e izd., ispr. i dop. Pod red. N. V. Vagina i D. A. Pospelova. M.: FIZMATLIT, 2008.
3. **Varshavskij P. R., Ereemeev A. P.** Modelirovanie rassuzhdenij na osnove precedentov v intellektual'nyh sistemah podderzhki prinjatija reshenij. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij*. 2009. N. 1. P. 45–57.
4. **Berljant A. M.** *Kartograficheskij metod issledovanija*. Izd-vo MGU. 1988.
5. <https://support.google.com/mapmaker/?hl=ru#topic=3180-752> (Data obrasheniya 01.09.2014).
6. <http://clubs.ya.ru/narod-karta/> (Data obrasheniya 01.09.2014).
7. **Li W., Linna L., Goodchild M. F., Anselin L.** A geospatial cyberinfrastructure for urban economic analysis and spatial decision-making. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2012. N. 2. P. 413–431.
8. **Pettit C., Cartwright W., Bishop I., Lowell K., Puller D., Duncan D.** *Landscape Analysis and Visualisation, Spatial Models for Natural Resource Management and Planning*. Berlin: Springer-Verlag. 2008.
9. **Intellektual'nye geograficheskie informacionnye sistemy dlja monitoringa morskoy obstanovki**. Pod. obshh. red. R. M. Jusupova i V. V. Popovicha. Spb.: Nauka, 2013.
10. **Beljakov S. L., Beljakova M. L., Savel'eva M. N.** Precedentnyj analiz obrazov v intellektual'nyh geoinformacionnyh sistemah. *Informacionnye tehnologii*. 2013. N. 7. P. 22–25.
11. **Kuznecov O. P.** O konceptual'noj semantike. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij*. 2012, N. 4. P. 32–42.
12. **Petrovskij A. B.** *Teorija prinjatija reshenij*. M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2009.
13. **Belyakov S. L., Bozhenyuk A. V., Belykova M. L., Rozenberg I. N.** Model of Intellectual Visualization of Geoinformation Service. *Proc. 28th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2014*. 2014. P. 326–333.