

Е.Н. Черемисина, И.Л. Спивак, Л.Ф. Спивак, А.С. Соколов

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ СРАВНЕНИЯ КАРТ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИИ

1. Введение

Для эффективного управления развитием территории необходимо своевременно отслеживать и анализировать изменения в ее состоянии. Самый очевидный способ регистрации изменений – сравнение описаний территории, отвечающих различным моментам времени. В настоящее время наиболее мощным инструментом построения, хранения, обработки и визуализации картографических описаний территории являются геоинформационные системы (ГИС). Проблема заключается в том, что в широко распространенных ГИС-оболочках (ArcGIS, MapInfo, Autodesk и др.) средства сравнения карт либо отсутствуют, либо крайне ограничены по возможностям. Функция Change Detection, входящая в состав популярных пакетов обработки космических снимков (ENVI, ERDAS, Image Processor и др.), хотя и позволяет выделить пиксели, отличающиеся спектральными яркостями, но не может дать смысловой интерпретации различий. В этой связи создание средств и методов сравнения цифровых карт и количественной оценки выявленных различий является весьма актуальным [1-3].

В статье представлен комплекс ГИС-технологий позволяющих формировать объектные карты территории (ОКТ), сравнивать их, получать количественные оценки различий и анализировать динамику изменения состояний территории. Здесь и далее ОКТ будем называть цифровую растровую карту, содержательную нагрузку которой образует множество пространственных объектов, относящихся к заданным классам подстилающей поверхности Земли [1]. Главная особенность предлагаемого подхода заключается в том, что количественная мера различий рассчитывается с использованием специальных оценочных функций. При этом сравниваются не сами карты, а их описания, построенные по определенным правилам. Это позволяет существенно уменьшить объемы обрабатываемой информации и упростить процедуры сравнения.

2. Методика формирования, описания и сравнения ОКТ

На рис. 1 приведена укрупненная блок-схема комплекса. В состав комплекса входят ГИС-технологии и инструментальные средства, обеспечивающие решение четырех основных задач:

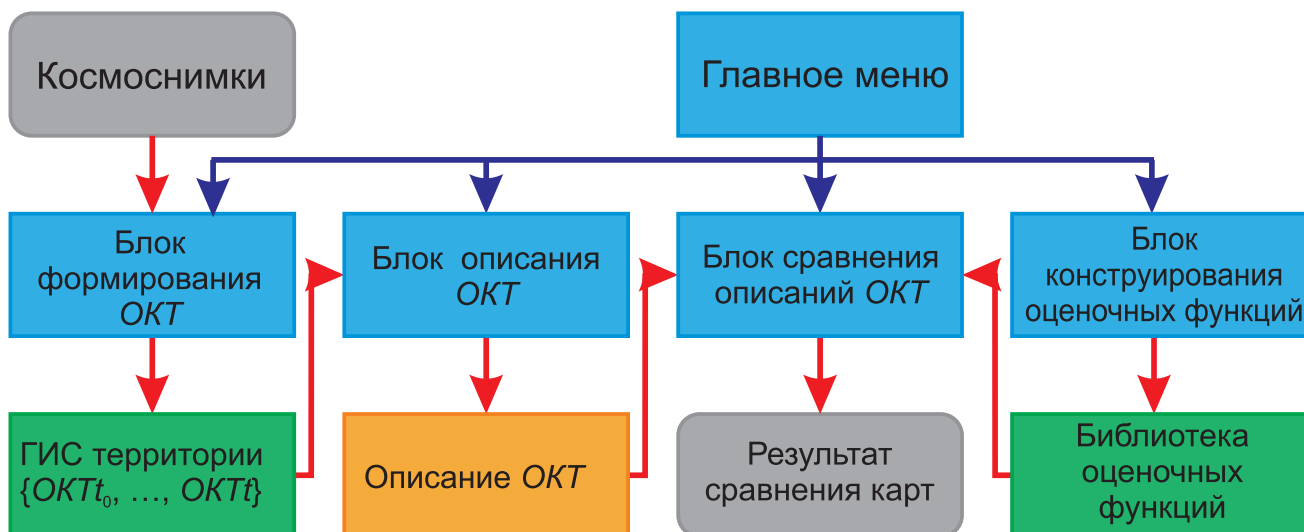


Рис. 1. Блок-схема комплекса ГИС-технологий сравнения объектных карт территории

- формирование *ОКТ*;
- построение описаний *ОКТ*;
- конструирование оценочных функций для расчета меры различия *ОКТ*;
- сравнение описаний *ОКТ*, распознавание и количественная оценка различий.

Ниже кратко изложена методика решения перечисленных задач.

2.1. Формирование *ОКТ*

Современные технологии построения карт позволяют использовать как контактные измерения, так и данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Процедура построения *ОКТ* по данным ДЗЗ называется объектным дешифрированием и подробно описана в [4]. Для корректного решения задачи объектного дешифрирования необходимо предварительно построить классификатор объектов подстилающей поверхности и их «спектральные образы», определяющие критерии (правила) отнесения пикселей космического снимка к тому или иному классу подстилающей поверхности. Фактически классификатор объектов определяет легенду *ОКТ*.

Формально *ОКТ* представляет собой матрицу, элементы которой (пиксели) имеют значения, определенные по шкале наименований. Связные множества одноименных пикселей образуют объекты.

В общем случае, процедура формирования *ОКТ* включает три этапа (см. рис. 2). На первом этапе попиксельно решается классическая задача распознавания образов и каждому пикселю изображения присваивается имя соответствующего класса. В результате строится базовая матрица *ОКТ* (см. рис. 2.1).

На втором этапе определяются границы и выделяются контуры объектов. В результате элементы базовой матрицы получают уникальные составные имена <имя класса + номер объекта> (см. рис. 2.2).

На третьем этапе контуры объектов уточняются с учетом дополнительных условий и ограничений, в частности на пространственные размеры объектов, и формируется окончательный облик *ОКТ* (см. рис. 2.3). При этом множество объектов должно полностью покрывать всю территорию и объекты не должны иметь общих пикселей.

Примечание. Процедура построения *ОКТ* формально совпадает с процедурой районирования территории [3]. В этой связи любая карта районирования является *ОКТ*.

Построенные карты в процессе мониторинга накапливаются в ГИС территории. Таким образом, формируется временной ряд *ОКТ*, отражающий динамику изменения состояний территории. Для распознавания изменений необходимо регулярно

сравнивать, отвечающие последовательным моментам времени по схеме:

$$\{< \text{Было } (ОКТ_1) > \text{ ----} > < \text{Стало } (ОКТ_2) > \}.$$

Важное достоинство предлагаемой методики заключается в том, что для детектирования различий сравниваются не исходные *ОКТ*, а их описания, построенные по правилам, изложенным ниже.

2.2. Построение описания *ОКТ*

В общем случае схема описания *ОКТ* включает три раздела: заголовок, раздел описания объектов и раздел описания отношений.

Заголовок содержит информацию, необходимую для однозначной идентификации карты, и ее общие характеристики (имя карты и название территории, число строк и столбцов базовой матрицы, масштаб, координатную привязку и пр.).

Рассмотрим более подробно правила и форматы описания объектов и отношений.

2.2.1. Схема описания объектов

Раздел описания объектов включает две секции. Одна содержит описание классов, а вторая – описания индивидуальных объектов.

Описание классов, наряду с перечнем классов, определяет характеристики и ограничения общие для всех объектов класса, такие как допустимая минимальная и максимальная площадь объектов, список разрешенных отношений, требования к связности и др. В частности, на рис. 2 представлены объекты трех классов {А(лес), В(сельхозугодья), С(застройки)}. При этом в класс А входят два объекта { a_1 , a_2 }, в класс В – один { b_1 }, в класс С – два { c_1 , c_2 }.

Описание индивидуального объекта определяет его площадь, форму и пространственное расположение объекта на карте.

Площадь может измеряться как количеством пикселей, так и в метрических единицах. В частности площадь объекта a_1 на рис. 2.3 равна 5 пикселям, а площадь объекта a_2 – 3.

Пространственное расположение объекта определяется перечнем образующих его пикселей. Все пиксели должны относиться к одному классу подстилающей поверхности. На рис. 2.3 объект c_1 состоит из двух пикселей {(X1, Y2); (X1, Y2)}, а объект a_2 – из трех {(X5, Y4); (X4, Y5); (X5, Y5)}.

Следует различать форму и расположение объекта. Форма определяет шаблон, фиксирующий конфигурацию пикселей, без учета их координатной привязки. Таким образом, форма является характеристикой инвариантной по отношению к пространственному расположению объекта.

С точки зрения возможных изменений пространственные объекты, образующие содержа-

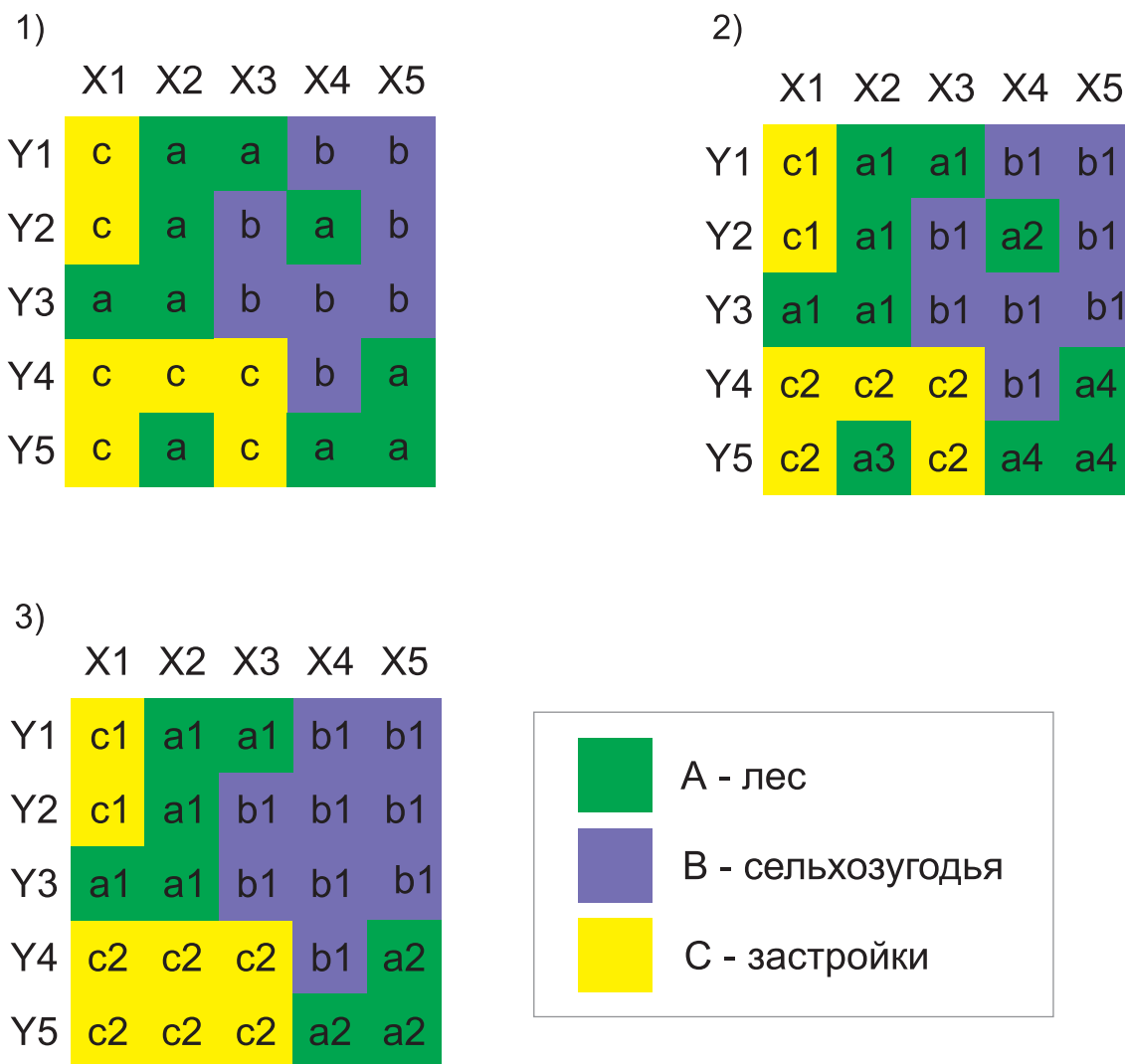


Рис. 2. Этапы формирования ОКТ: 1) формирование базовой матрицы ОКТ; 2) выделение контуров объектов; 3) учет дополнительного условия: площадь объектов класса А должна быть не меньше 2 пикселей; 4) легенда ОКТ

тельную нагрузку ОКТ, подразделяются на четыре категории:

- статические, форма и пространственное расположение которых на карте не изменяется;
- стационарные, неподвижные, но способные изменять форму;
- мобильные, меняющие расположение, но сохраняющие форму;
- динамические, изменяющие как форму, так и расположение.

Отметим, что изменение формы может приводить и к изменению площади объекта. При этом часто изменения формы не так важны, как изменения площади.

Чтобы описать пространственное расположение и форму объекта на карте необходимо определить координаты граничных пикселей. Выделение границ объектов производится в процессе анализа ОКТ с учетом следующих требований.

1. Объект может иметь многосвязную топологию и занимать произвольное число смежных строк.
2. В каждой строке может располагаться несколько фрагментов объекта. Фрагментом называется непрерывный интервал (последовательность подряд расположенных пикселей) в строке. Внутри строки фрагменты нумеруются в порядке следования слева направо.
3. Каждый фрагмент объекта описывается тремя параметрами: номером строки, номером начального столбца и номером конечного столбца.
4. Фрагменты одного объекта, расположенные в смежных строках, должны иметь хотя бы один общий столбец.

Алгоритм выделения граничных пикселей объектов предусматривает последовательное выполнение двух процедур. Вначале осуществляется

построчное сканирование базовой матрицы, в процессе которого определяются границы (номера начального и конечного столбца) фрагментов объектов разных классов и строится их предварительное описание.

После этого проводится попарное сравнение описаний смежных строк с целью обнаружения сопряженных интервалов у фрагментов объектов, принадлежащих к одному классу. Сопряженными считаются интервалы, расположенные в смежных строках и имеющие хотя бы один общий столбец. Для определения сопряженных интервалов проверяется следующее условие:

(столбец начала фрагмента из строки-1) \leq (столбец конца фрагмента из строки-2)

И

(столбец конца фрагмента из строки-1) \geq (столбец начала фрагмента из строки-2).

При наличии сопряженных интервалов возможны две ситуации:

1. Один фрагмент объекта из строки-1 имеет сопряженные интервалы с несколькими фрагментами из строки-2 (условие общей порождающей строки). Простейшим примером такой конфигурации может служить буква **П**. В этом случае – все фрагменты из строки-2 наследуют номер объекта из строки-1.
2. Один фрагмент объекта из строки-2 имеет сопряженные интервалы с несколькими фрагментами из строки-1 (условие общей опорной строки). Примером такой конфигурации является буква **Ш**. В этом случае фрагмент строки-2 и все фрагменты строки-1 наследуют наименьший номер объекта из фрагментов строки-1.

После завершения процедуры сравнения, при необходимости, проводится автоматическая корректировка номеров объектов и фрагментов *ОКТ*. Чтобы упростить это процесс описание объектов оформляется в виде списковой структуры. На рис. 3 приведена структура описания *ОКТ* с конфигурацией объектов типа «**П**» и «**Ш**».

2.2.2. Описание отношений

Перечень отношений, представляющих интерес для анализа изменений состояния территории, определяется целями управления и, как правило, ограничен. В содержательном плане эти отношения можно разделить на:

- структурные, отражающие иерархию классов объектов, типа «часть-целое» или «род-вид». Примером таких отношений являются: «страна-область», «область-район» и т.п.;

- позиционные, отражающие взаимное пространственное расположение объектов. Например, отношение «граничить» или «находиться внутри»;
- ассоциативные, фиксирующие ситуационные взаимодействия между объектами разных классов.

Описание отношений предусматривает определение перечня (классификатора) отношений, их характеристик и компонентного состава. Различают бинарные отношения, компонентами которых являются пары объектов, и парные отношения, связывающие n объектов ($n > 2$). В настоящей версии комплекса реализована схема описания бинарных отношений, поскольку к ним можно свести практически все остальные. Компонентный состав бинарных отношений можно задавать как списком пар объектов, так и матрицей смежности.

Следует различать межклассовые и мультиклассовые отношения. Компонентами бинарных межклассовых отношений являются пары объектов, принадлежащих только двум определенным классам (один объект пары принадлежит первому классу, а второй – другому). Объекты, образующие компоненты бинарных мультиклассовых отношений, могут принадлежать любым классам, определенным в классификаторе объектов. Примером бинарного мультиклассового отношения является отношение «граничить», компонентный состав которого представляет собой множество пар объектов, имеющих общую границу. В частности, отношение «граничить» для *ОКТ*, изображенной на рис. 2.3, включает шесть пар $\{(a1, b1); (a1, c1); (a1, c2); (a2, b1); (a2, c2); (b1, c2)\}$. Отметим, что объекты одного класса не могут граничить друг с другом.

2.3. Конструирование оценочных функции для расчета меры различия *ОКТ*

Для объективного выделения различий сравниваемые карты должны формироваться по единой технологии, обеспечивающей пространственное совмещение и равенство размеров всех пикселей базовой матрицы. Тогда две *ОКТ*, отвечающие различным моментам времени, будут иметь конечное число допустимых видов различий и сравнение исходных *ОКТ* можно заменить сравнением их описаний [1, 5].

Но обнаружить различия – только половина дела. На практике серьезной проблемой является их разделение на *суущественные* и *несуущественные* с точки зрения управления развитием территории. Для ранжирования изменений по важности необходимы специальные критерии и оценочные функции,

| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 |
|----|----|----|----|----|----|
| Y1 | c1 | c1 | c1 | c1 | c1 |
| Y2 | c1 | c1 | c1 | c1 | a1 |
| Y3 | a1 | c1 | a1 | c1 | a1 |
| Y4 | a1 | c1 | a1 | c1 | a1 |
| Y5 | a1 | a1 | a1 | a1 | a1 |

| Имя класса | Кол-во объектов | Имя списка объектов |
|------------|-----------------|---------------------|
| A | 1 | SpObK1_A |
| C | 1 | SpObK1_C |

SpObK1_A

| Имя объекта | Кол-во фрагментов | Имя списка фрагментов |
|-------------|-------------------|-----------------------|
| a1 | 8 | SpFrOb_a1 |

SpObK1_C

| Имя объекта | Кол-во фрагментов | Имя списка фрагментов |
|-------------|-------------------|-----------------------|
| c1 | 6 | SpFrOb_c1 |

SpFrOb_a1

| Имя объекта | Номер строки | Номер фрагмента | Столбец начала | Столбец конца |
|-------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|
| a1 | 2 | 1 | 5 | 5 |
| a1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| a1 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| a1 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| a1 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| a1 | 4 | 2 | 3 | 3 |
| a1 | 4 | 3 | 5 | 5 |
| a1 | 5 | 1 | 1 | 5 |

SpFrOb_c1

| Имя объекта | Номер строки | Номер фрагмента | Столбец начала | Столбец конца |
|-------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|
| c1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| c1 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| c1 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| c1 | 3 | 2 | 4 | 4 |
| c1 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| c1 | 4 | 2 | 4 | 4 |

Рис. 3. Пример ОКТ со сложной конфигурацией объектов и структура ее описания

позволяющие рассчитывать количественную меру различия карт.

Следует отметить, что построить одну универсальную меру для сравнения карт с различной содержательной нагрузкой невозможно. Более того, в каждом конкретном случае могут потребоваться свои оценочные функции, учитывающие особенности территории и специфику решаемых задач. Поэтому в состав комплекса включен блок инструментальных средств, позволяющих конструировать различные оценочные функции. При реализации текущей версии комплекса за основу принята двухэтапная схема оценки, предложенная в [5]. На первом этапе строятся функции для расчета локальных мер различия, учитывающие отдельные виды изменений. На втором – локальные оценки, используются для расчета интегральной меры, отражающей обобщенную оценку различия карт.

В общем случае процедура сравнения двух карт OKT_1 и OKT_2 использует оценочные функции для расчета пяти локальных мер различия:

$\lambda 1(OKT_1, OKT_2)$ – локальная мера, оценивающая изменения в количестве классов объектов;

$\lambda 2(OKT_1, OKT_2)$ – локальная мера, оценивающая изменения в количестве объектов каждого класса;

$\lambda 3(OKT_1, OKT_2)$ – локальная мера, оценивающая изменения в площадях индивидуальных объектов и суммарной площади объектов различных классов;

$\lambda 4(OKT_1, OKT_2)$ – локальная мера, оценивающая различия в пространственном положении объектов;

$\lambda 5(OKT_1, OKT_2)$ – локальная мера, оценивающая изменения в отношениях между объектами.

Рассмотрим способы построения соответствующих оценочных функций.

Оценка $\lambda 1$ и $\lambda 2$ не представляет особых трудностей, поскольку количество классов, как и число объектов разных классов, измеряются по целочисленной шкале [5]. При этом, если число классов и

количество объектов каждого класса не изменилось, значения оценочных функций λ_1 и λ_2 должны быть равны нулю.

В случае, когда все классы имеют одинаковую ценность, меру различия можно рассчитать по формуле:

$$\lambda_1(OKT_1, OKT_2) = k_1 + k_2,$$

где:

k_1 – количество вновь появившихся классов, т.е. таких, которые есть в OKT_2 , но отсутствуют в OKT_1 ; k_2 – количество «исчезнувших» классов, т.е. таких, которые есть в OKT_1 , но отсутствуют в OKT_2 .

В зависимости от содержательной нагрузки карт и целей анализа как появившиеся, так и «исчезнувшие» классы могут иметь различную ценность. В таких случаях каждому классу нужно приписать соответствующие весовые коэффициенты и оценочная функция будет иметь следующий вид

$$\lambda_1(OKT_1, OKT_2) = \sum_i \tau_i + \sum_j \delta_j,$$

$$i = 1, \dots, k_1; \quad j = 1, \dots, k_2;$$

где:

τ_i – весовые коэффициенты вновь появившихся классов;

δ_j – весовые коэффициенты «исчезнувших» классов.

Возможны ситуации, при которых «появление» или «исчезновение» класса может иметь различную ценность, отражая, в частности, увеличение или сокращение биологического разнообразия. В этом случае мера различий становится несимметричной, т.е. $\lambda_1(OKT_1, OKT_2) \neq \lambda_1(OKT_2, OKT_1)$. Не исключено, что ценность «появления» или «исчезновения» того или иного класса будет зависеть от общего числа классов (чем больше классов, тем ниже ценность). Для таких ситуаций требуется строить свои оценочные функции.

Аналогично строятся функции для оценки λ_2 . В случае, когда увеличение или уменьшение количества объектов каждого класса равноценны, в качестве оценочной функции можно использовать аддитивную меру:

$$\lambda_2(OKT_1, OKT_2) = \sum_i \rho_i n_i,$$

где n_i – количество объектов i -го класса, на которое различаются OKT_1 и OKT_2 ;

ρ_i – весовой коэффициент, отражающий «ценность» каждого объекта i -го класса.

Отметим, что добавление или сокращение числа объектов некоторого класса могут иметь различную «ценность» в зависимости, например, от их общего количества. Это следует учитывать при построении оценочной функции.

Величину λ_3 проще всего исчислять числом элементарных пикселей, на количество которых изменяются (увеличиваются или уменьшаются) площади соответствующих объектов. Поскольку общая площадь всей карты неизменна, уменьшение/увеличение площади одних объектов приводит к увеличению/уменьшению площади других. Следует также помнить, что изменение площади приводит к изменению пространственного расположения объекта за счет добавления или удаления отдельных пикселей.

В случае, когда все пиксели базовой матрицы, независимо от расположения, имеют одинаковую ценность, количественную оценку изменения суммарной площади объектов i -го класса можно определить по формуле:

$$\lambda_3(OKT_1, OKT_2) = \alpha_i \sum_j s_{ij},$$

где:

s_{ij} – количество пикселей, на которое изменилась площадь j -го объекта i -го класса;

α_i – весовой коэффициент для объектов i -го класса.

Разумеется, в реальных ситуациях уменьшение и увеличение площади объектов даже внутри одного и того же класса может иметь различную ценность, в частности, зависеть от размеров объектов (большой или маленький) или от общей площади объектов данного класса.

Дополнительные сложности при расчете λ_3 возникают, если пиксели базовой матрицы имеют различную «ценность». В частности, пиксели, расположенные в центре карты, могут цениться выше периферийных. Более того, каждый пиксель может иметь свою «ценность», определяемую его расположением на карте. В этом случае, для расчета λ_3 нужно иметь матрицу «ценности» всех пикселей исходной карты. Эта матрица необходима и для оценки λ_4 . Фактически каждый объект OKT имеет свою «стоимость», которая определяется суммированием «ценности», образующих его пикселей. Изменения в пространственном положении объектов приводят к изменению их «стоимости», которая измеряется с помощью локальной меры λ_4 . Даже, если при перемещении объекта площадь его не изменилась, оценочная функция λ_4 должна учитывать разницу S_1 и S_2 , где S_1 – суммарная «ценность» пикселей добавленных при перемещении объекта, а S_2 – суммарная «ценность» пикселей удаленных при перемещении объекта.

При оценке изменений в отношениях следует учитывать различия как в перечне отношений, так и в их компонентном составе.

Таким образом:

$$\lambda_5(OKT_1, OKT_2) = \lambda_5_1 + \lambda_5_2,$$

где:

λ_{5_1} – оценка важности изменений в перечне отношений;

λ_{5_2} – оценка важности изменений в компонентном составе отношений.

Строго говоря, допустимый перечень отношений, как и классификатор объектов, определяется на этапе описания *ОКТ* и в дальнейшем не должен изменяться. Пересмотр схемы описания требует и пересмотра оценочных функций. С учетом этого при построении функции для оценки различия в перечне отношений λ_{5_1} следует руководствоваться теми же соображениями, что и при оценке λ_1 .

Изменения в компонентном составе порождаются изменением пространственного положения и количества объектов. Напомним, что компонентный состав отношений определяется списком пар объектов или матрицей смежности. Таким образом, изменения выражаются в добавлении одной или нескольких новых пар объектов в список или удалении их из списка. Для каждого отношения «ценность» удаления и добавления компонент может быть различной. Если эти значения постоянны, то суммарную «ценность» изменений можно оценить по формуле

$$\lambda_5(OKT_1, OKT_2) = \beta_i \omega_i + \gamma_i v_i,$$

где:

β_i – весовой коэффициент, отражающий важность добавления новой компоненты в *i*-е отношение.

ω_i – количество пар (компонент) добавленных в *i*-е отношение;

γ_i – весовой коэффициент, отражающий важность удаления компоненты из *i*-го отношения.

v_i – количество пар (компонент) удаленных из *i*-го отношения.

В случае, когда «ценность» удаления или добавления компонент может изменяться, в зависимости, например, от общего числа пар в списке, формула оценки должна учитывать это.

Построенные локальные оценочные функции оформляются в виде автономных процедур и могут накапливаться в специальной библиотеке, с тем чтобы в дальнейшем использоваться для расчета интегральной меры различия карт. В простейшем случае интегральная мера может быть представлена линейной комбинацией локальных мер

$$\Lambda(OKT_1, OKT_2) = \delta_1 \lambda_1 + \delta_2 \lambda_2 + \delta_3 \lambda_3 + \delta_4 \lambda_4 + \delta_5 \lambda_5,$$

где: $\delta_i (i = 1, \dots, 5)$ – весовые коэффициенты, учитывающие вклад локальных мер.

Карты, интегральная мера различия которых меньше, считаются, соответственно, более похожими.

Отметим, что правильный подбор весовых коэффициентов имеет ключевое значение для адекватной оценки различий. При этом не существует общего правила для выбора весов, задающих зна-

чимость того или иного вида изменений. Их можно определить только в контексте постановки соответствующей задачи управления.

Примечание. В некоторых приложениях интегральную меру различия можно определять по упрощенной формуле без учета отдельных локальных различий. В частности, если нас интересуют только изменения в площадях и пространственном положении объектов, можно рассчитать «грубую» интегральную оценку, используя «операционный» метод, предложенный в [3]. Он предусматривает определение количества и «стоимости» операций, необходимых для преобразования *ОКТ*₁ в *ОКТ*₂. Каждая операция позволяет преобразовать класс принадлежности одного пикселя. «Стоимости» операций могут быть заданы с помощью соответствующей матрицы смежности. Для *ОКТ*, изображенной на рисунке 1.3, такая матрица будет иметь следующий вид:

| | | | | |
|-------|------|-----|-----|-----|
| \ | Было | | | |
| Стало | | А | В | С |
| А | | 0 | Y12 | Y13 |
| В | | Y21 | 0 | Y23 |
| С | | Y31 | Y32 | 0 |

В общем случае, матрица «стоимости» операций не симметрична, т.е. $\gamma_{ij} \neq \gamma_{ji}$. В частности, преобразование леса в поле будет иметь другую «стоимость», чем преобразование поля в лес. Следовательно и мера различий будет не симметричной.

Если «стоимость» операции для всех пикселей *ОКТ* одинакова, то меру различия можно рассчитать по формуле:

$$\Lambda'(OKT_1, OKT_2) = \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \rho_{ij},$$

$$i = 1, \dots, K; j = 1, \dots, K; i \neq j,$$

где:

ρ_{ij} – количество операций, которые нужно выполнить для преобразования пикселей объектов класса *i* в пиксели объекта класса *j*;

γ_{ij} – «стоимость» соответствующей операции;

K – количество классов.

Технически проще рассчитывать меру различия для отдельных строк *ОКТ*, а потом суммировать их.

2.4. Сравнение описаний *ОКТ*, распознавание и ранжирование различий

После выбора оценочных функций можно приступать к сравнению описаний *ОКТ*. Решение

этой задачи осуществляется с помощью отдельного блока комплекса.

В процессе сравнения проводится регистрация и количественная оценка обнаруженных различий. Если оценки локальных различий, выявленных при сравнении двух карт, превышают заданные пороговые значения (критерии), то обнаруженные изменения признаются существенными и информация о них передается для дальнейшего анализа человеку-интерпретатору.

При последовательном сравнении временного ряда карт следует учитывать эффект накопления малых изменений. В частности, различия между двумя картами – текущей и предшествующей – могут быть незначительны (ниже порога значимости), но если сравнивать карты, отвечающие началу и концу достаточно большого интервала времени, то они могут оказаться существенными.

3. Сравнение карт и управление развитием территории

Для демонстрации возможности применения ГИС-технологии сравнения *OKT* в целях управления развитием территории рассмотрим в качестве примера следующую задачу [1].

Положим, что мы имеем:

- *OKT_{тн}* – карту текущего состояния территории в момент времени *тн*, когда требуется принять решение.
- *OKT** – карту целевого состояние, которого мы хотим достигнуть.
- Два сценария управления *Cr₁* и *Cr₂*. Реализация *Cr₁* позволяет к моменту времени *t_к* перевести территорию в состояние, которое описывается *OKT_{тк}(Cr₁)*, а реализация *Cr₂* – в состояние, которое описывается *OKT_{тк}(Cr₂)*.

Соответствующая ситуация представлена на рис. 4.

Требуется выбрать сценарий управления, который является более эффективным по критерию выгоды/затраты.

Положим, что затраты на реализацию обоих сценариев одинаковы. В этом случае разумно выбрать тот сценарий, для которого интегральная мера различия конечного состояния с целевым будет меньше.

Поскольку наш пример носит чисто иллюстративный характер, максимально упростим задачу. Положим, что нас интересуют только изменения в площадях и пространственном положении

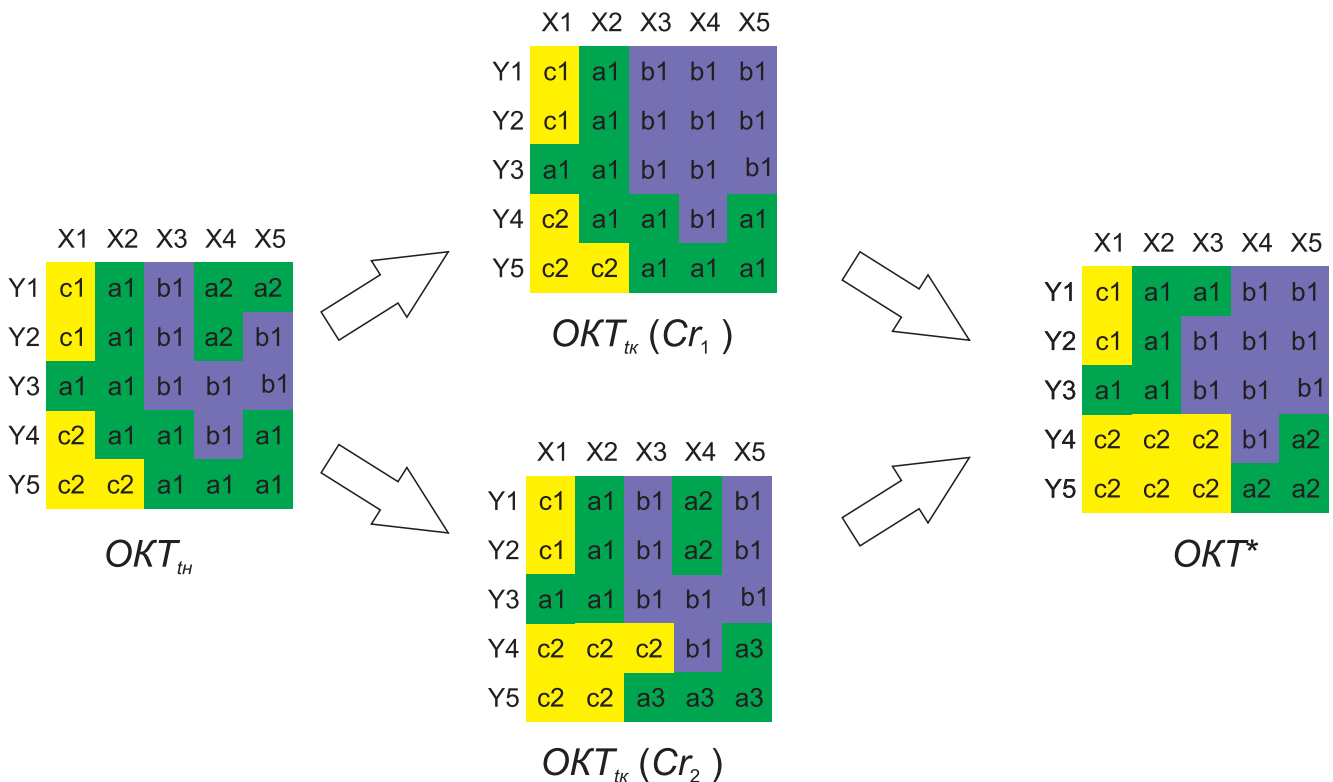


Рис. 4. Пример выбора сценария управления развитием территории на основе сравнения *OKT*

объектов, при этом «ценность» всех пикселей *ОКТ* будем считать одинаковой. Для расчета различий воспользуемся «операционным» методом, а «стоимости» операций зададим следующей матрицей смежности:

| Было \ Стало А (лес) В (сельхозугодья) С (застройки) | А (лес) | В (сельхозугодья) | С (застройки) |
|---|---------|-------------------|---------------|
| А (лес) | 0 | 6 | 14 |
| В (сельхозугодья) | 20 | 0 | 8 |
| С (застройки) | 32 | 12 | 0 |

Сравнивая карты построчно, несложно подсчитать, что

$$\Lambda'(OKT_k(Cr_1), OKT^*) = 20 + 0 + 0 + 2 \cdot 14 + 14 = 62,$$

$$\Lambda'(OKT_k(Cr_2), OKT^*) = (20 + 6) + 6 + 0 + 0 + 14 = 46.$$

Таким образом, поскольку $\Lambda'(OKT_k(Cr_1), OKT^*)$ меньше, чем $\Lambda'(OKT_k(Cr_2), OKT^*)$, предпочтение следует отдать сценарию $\bar{C}r_2$.

Разумеется, при изменении «стоимости» операций, а тем более при использовании других оценочных функций, результаты сравнения могли бы получиться иными.

В заключение следует отметить, что в настоящее время завершается разработка пилотной версии комплекса. Тестирование комплекса планируется провести на примере территорий различного масштаба (область, район, муниципалитет).

В дальнейшем на основе ГИС-технологии сравнения *ОКТ* предусматривается выстроить полнофункциональную систему поддержки принятия решений в соответствии со схемой < описание текущего состояния – распознавание изменений – анализ тенденций – прогноз развития – выбор управляющих воздействий > [1]. Особое внимание будет уделено выработке рекомендаций по конструированию оценочных функций для сравнения *ОКТ* с учетом специфики их содержательной нагрузки.

Ключевые слова: сравнение карт, объектная карта территории, распознавание изменений, локальная мера различия, интегральная мера различия, ГИС-технология, управление развитием территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черемисина Е.Н., Спивак Л.Ф., Спивак И.Л. Информационно-аналитическое обеспечение ситуационного центра управления территорией // Геоинформатика. – 2013. – № 3. – С. 1-7.
2. Черемисина Е.Н., Спивак И.Л. Концептуальные основы построения автоматизированных систем управления территориями // Геоинформатика. – 2011. – № 4. – С. 14-46.
3. Воронин Ю.А., Спивак Л.Ф. Теория районирования и управление территориями. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 230 с.
4. Спивак И.Л. Задачи тематического дешифрирования в системах космического мониторинга // Геоинформатика. – 2010. – № 4. – С. 61-65.
5. Спивак Л.Ф., Спивак И.Л. Методика количественной оценки изменений картографических результатов мониторинга // Геоинформатика. – 2010. – № 2. – С. 41-46.