

УДК 681.51:332.133.6

© Е.Н. Черемисина, Л.Ф. Спивак, И.Л. Спивак

Е.Н. Черемисина, Л.Ф. Спивак, И.Л. Спивак

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЕЙ



Введение

Устойчивое развитие и разумное использование ресурсов территории являются наиболее приоритетными задачами региональных и муниципальных органов управления. Важную роль в решении этих задач могут и должны сыграть геоинформационные технологии.

Как показывает мировая практика, система управления территориями должна базироваться на «трех китах»:

- системе мониторинга, обеспечивающей оперативный сбор разномасштабной информации, объективно отражающей текущее состояние дел в регионе;
- комплексе математических и геоинформационных моделей, позволяющих строить научно-обоснованные прогнозы развития ситуации при различных начальных условиях и управляющих воздействиях;
- интеллектуальных средствах поддержки принятия решений, позволяющих генерировать и выбирать наиболее предпочтительные рекомендации и сценарии управления.

На сегодняшний день основное направление развития автоматизированных систем управления территориями связано с интеграцией всех трех компонент в рамках специализированных ситуационных центров (СЦ). При этом система мониторинга выполняет роль информационного фундамента, на котором выстраиваются аналитические средства поддержки принятия решений (ППР).

В последнее время СЦ активно создаются на базе федеральных и региональных вузов (Самара, Красноярск, Иркутск, Йошкар-Ола, Санкт-Петербург, Дубна и др.). Этому есть веские причины. Вузы располагают необходимой материально-технической базой и квалифицированным кадровым потенциалом, хорошо знакомым со спецификой местных условий и проблем. Кроме того они пользуются финансовыми льготами при приобретении дорогостоящих технических и программных средств. Не менее важно, что организация СЦ при вузах позволяет существенно повысить качество профессиональной подготовки студентов, которые на стадии обучения получают

возможность принять участие в решении актуальных практических задач и могут реально способствовать устойчивому развитию своих регионов.

Заметим, что СЦ организуются, как правило, на базе центров приема космической информации. Это существенно расширяет их функциональные и пространственные возможности. Современные средства дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются объективным, высоконадежным, оперативным и, что немало важно, самым экономичным способом сбора пространственно распределенной информации, особенно для территорий больших размеров и труднодоступных регионов.

В настоящей статье развиваются и конкретизируются идеи, изложенные в [1], с учетом опыта создания СЦ института системного анализа и управления Международного университета природы, общества и человека «Дубна».

Концептуальная схема поддержки принятия решений в системе управления территорией

На рис. 1 представлена укрупненная схема информационных потоков между органами управления, СЦ и системой мониторинга. Принято считать, что в компетенцию органов управления территорией входит:

- определение целей и приоритетов развития территории, включая описание целевого состояния или «идеала»;
- выбор критериев для оценки текущего уровня развития территории и его «близости» к целевому;
- выбор управляющих воздействий (из набора предложенных альтернатив) с учетом их ожидаемой эффективности и возможных последствий;
- контроль реализации выбранных воздействий и их коррекция при необходимости.

Основное назначение СЦ – обеспечивать информационно-аналитическое обслуживание (ИАО) органов управления для более эффективного выполнения этих функций. При этом в отличие от кризисных центров, ориентированных на быстрое реагирование в условиях чрезвычайных ситуаций,

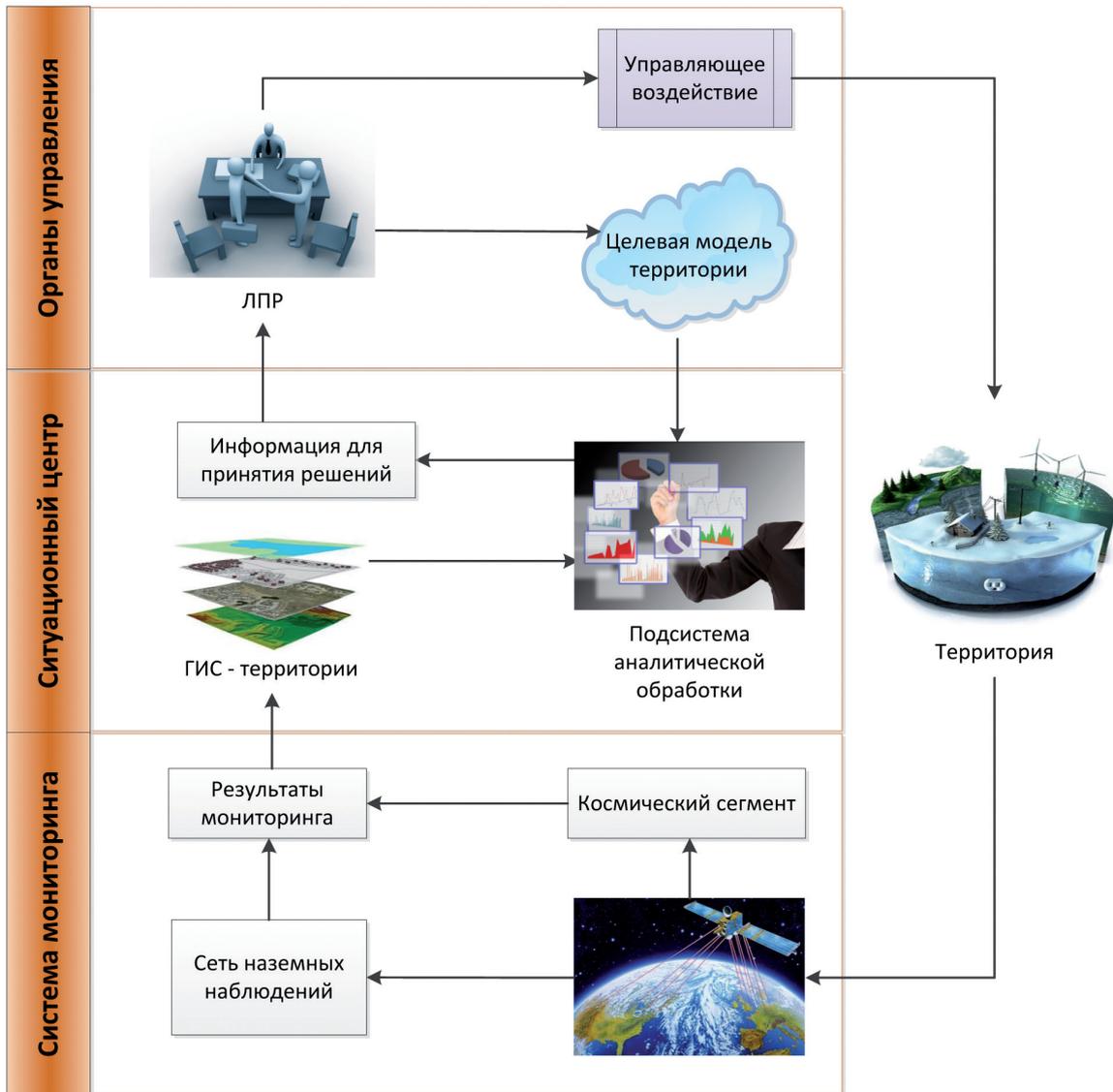


Рис. 1. Схема информационных потоков в системе управления территорией

СЦ предназначен для регулярной повседневной работы по решению текущих задач управления территорией. Фактически СЦ выполняет роль «интеллектуального шлюза» между системой мониторинга и лицом, принимающим решение (ЛПР).

При создании СЦ в Университете «Дубна» за основу была принята функциональная схема поддержки принятия решений, изображенная на рис. 2 [2].

Отметим, что схема носит итеративный характер и в процессе принятия решений может многократно повторяться, начиная с любой функции. Реализация каждой функции, по существу, сводится к решению соответствующей задачи. При этом задачи, находящиеся на более высоких уровнях иерархии, используют результаты решения задач нижележащих уровней. Следовательно, создание ИАО СЦ нужно осуществлять также снизу вверх, т.е. сначала реализовать функции описания и распознавания

изменений (это позволяет решать, в частности, задачи учета и контроля использования природных ресурсов территории), а затем постепенно расширять аналитические возможности в направлении прогноза и выработки рекомендаций.

Ниже описана единая технологическая схема реализации функций ППР, разработка которой ведется в СЦ Университета «Дубна».

Описание состояния территории

Первой и наиболее важной функцией поддержки принятия решений является описание территории и объектов управления. Подчеркнем, что от качества описания зависит точность решения всех остальных задач, в первую очередь, детектирование и ранжирование изменений в состоянии территории.

В последние годы среди ученых и специалистов, работающих в области естественных наук, растет понимание ключевой роли процедуры описания

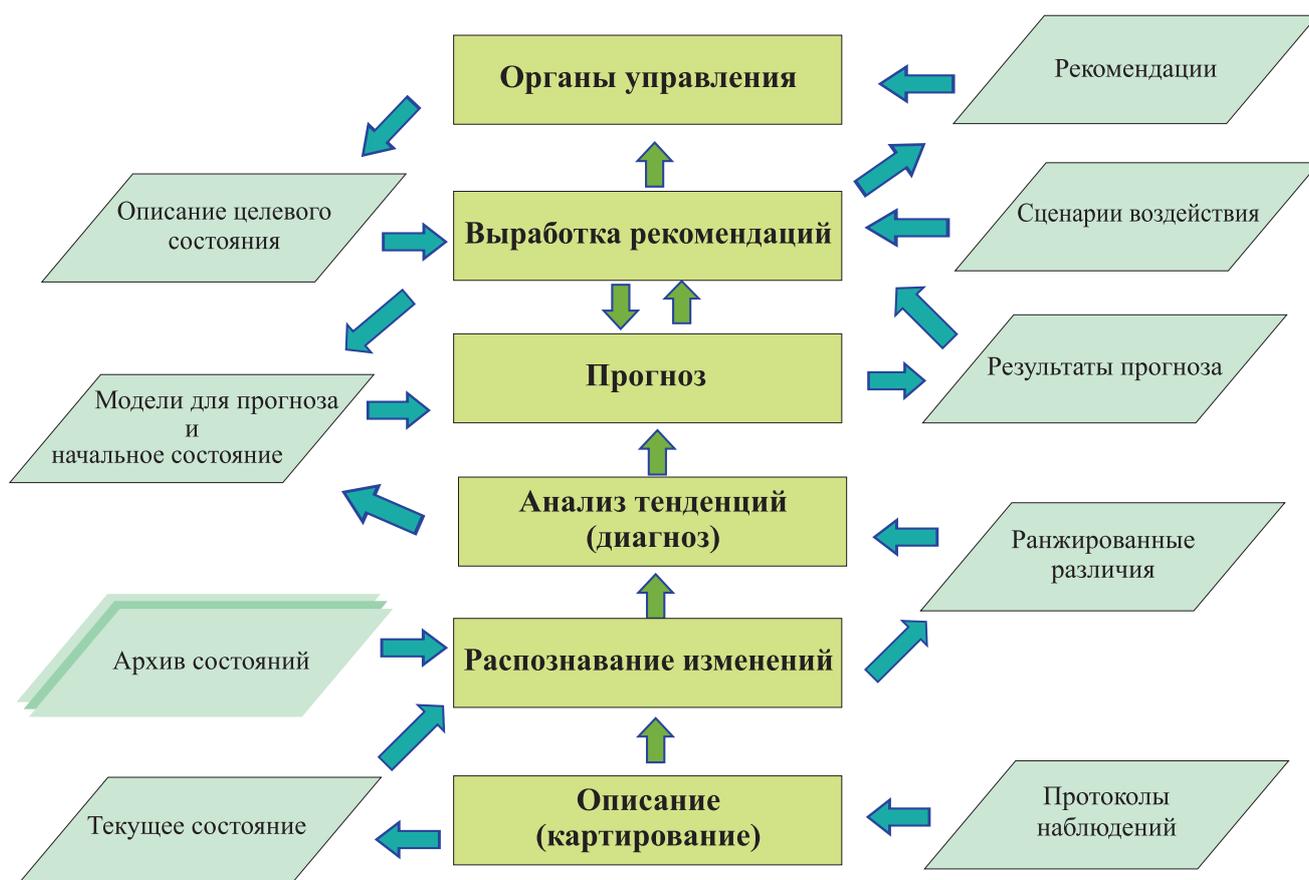


Рис. 2. Иерархия функций поддержки принятия решений

объектов, в результате которой они становятся предметом исследований [3]. Проблема заключается в том, что до сих пор в разных науках используют различные стандарты описания и предъявляют различные требования к результатам описания. В связи с этим в дальнейшем будем использовать схемы описания, типичные для наук о Земле, в которых декларативные описания состояний территории представляются в картографическом виде. При этом процедуру построения такого описания принято называть картированием. На результирующих картах территории соответствует топографическая основа, с нанесенной на нее границей, а объектам – тематические слои карты, представленные в легенде.

В общем случае описание территории призвано отображать множество фактов и утверждений следующих видов:

1. В пределах территории имеются объекты разных классов. Перечень классов объектов определяется классификатором $A = \{A_k : k = 1, K\}$.

2. Индивидуальный объект a_{kl} принадлежит классу A_{k_l} , т.е. $a_{kl} \in A_{k_l} : l = \overline{1, L}$.
3. Границы индивидуального объекта задаются вектором координат $a_{kl}(X_S) = a_{kl}(x_1, \dots, x_S)$.
4. Значение интегрального свойства c_i объекта a_{kl} в момент времени t равно q_t , т.е. $q_t = c_i[a_{kl}]$.
5. Значение дифференциального свойства c_i объекта a_{kl} в точке x_j в момент времени t равно q_t , т.е. $q_t = c_i[a_{kl}(x_j)]$.
6. Классы объектов A_{k_1} и A_{k_2} в момент времени t связаны отношением $R_t\{A_{k_1}, A_{k_2}\}$. В частности, бинарное отношение «граничить» представляет собой множество пар индивидуальных объектов, имеющих общую границу.

В процессе построения описаний могут быть использованы как космические снимки, так и данные наземных наблюдений. Процедура построения описания территории на основе космических снимков называется тематическим дешифрированием [4]. В результате дешифрирования строится

растровая карта, каждый пиксель которой принадлежит конкретному объекту определенного класса (рис. 3). Перечень классов определяет содержательную нагрузку карты. Такие карты в дальнейшем будем называть объектной картой территории (ОКТ).

В настоящее время наиболее эффективные решения по организации хранения, обработки и отображения картографических описаний территорий различного масштаба базируются на использовании геоинформационных систем (ГИС). Построенные по результатам мониторинга ОКТ накапливаются в ГИС, начиная с некоторого стартового момента t_0 , с определенным временным шагом Δt : $\{ОКТ_{t_0}, ОКТ_{t_0+\Delta t}, \dots, ОКТ_{t-\Delta t}, ОКТ_{t_p}, \dots\}$. Таким образом, содержание информационной базы ГИС представляет собой постоянно пополняемый временной ряд ОКТ, отражающий динамику изменения состояний территории.

Распознавание и ранжирование изменений

Для детектирования изменений необходимо регулярно сравнивать ОКТ, отвечающие последовательным моментам времени, по схеме:

$$\{<Было (ОКТ_{t_1})> \rightarrow <Стало (ОКТ_{t_2})>\}.$$

Разумеется, для объективного выделения различий ОКТ должны формироваться по единой технологии, обеспечивающей пространственное совмещение и равенство размеров всех пикселей раstra. В этом случае два любых состояния территории, представленные в виде ОКТ, будут иметь конечное число допустимых видов различий, перечень которых приведен в табл. 1. Таким образом, проблема сравнения ОКТ фактически сводится к регистрации различий соответствующих видов.

Отметим, что *обнаружить* различия – только половина дела. На практике серьезной проблемой является их разделение на существенные и несущественные с точки зрения управления территорией. Для *ранжирования* изменений по важности необходимы специальные критерии.

Методика распознавания и количественной оценки изменений при сравнения ОКТ подробно описана в [5]. Отметим, что интегральная мера, предусматривающая комплексную оценку обнаруженных различий с учетом их важности, имеет вид:

$$\Lambda (ОКТ_1, ОКТ_2) = f (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5),$$

где: $\lambda_1(ОКТ_1, ОКТ_2)$ – локальная мера различия отражающая изменения в количестве классов объектов (типов районов);

$\lambda_2(ОКТ_1, ОКТ_2)$ – локальная мера различия отражающая изменения в количестве объектов каждого класса;

$\lambda_3(ОКТ_1, ОКТ_2)$ – локальная мера различия отражающая изменения в площадях объектов различных классов;

$\lambda_4(ОКТ_1, ОКТ_2)$ – локальная мера различия между картами M_1 и M_2 , отражающая различия в пространственном положении границ объектов;

$\lambda_5(ОКТ_1, ОКТ_2)$ – локальная мера различия отражающая изменения в отношениях между объектами.

В простейшем случае интегральная мера может быть представлена линейной комбинацией локальных мер

$$\Lambda (ОКТ_1, ОКТ_2) = \sum \delta_i \lambda_i (ОКТ_1, ОКТ_2); i = 1, \dots, 5,$$

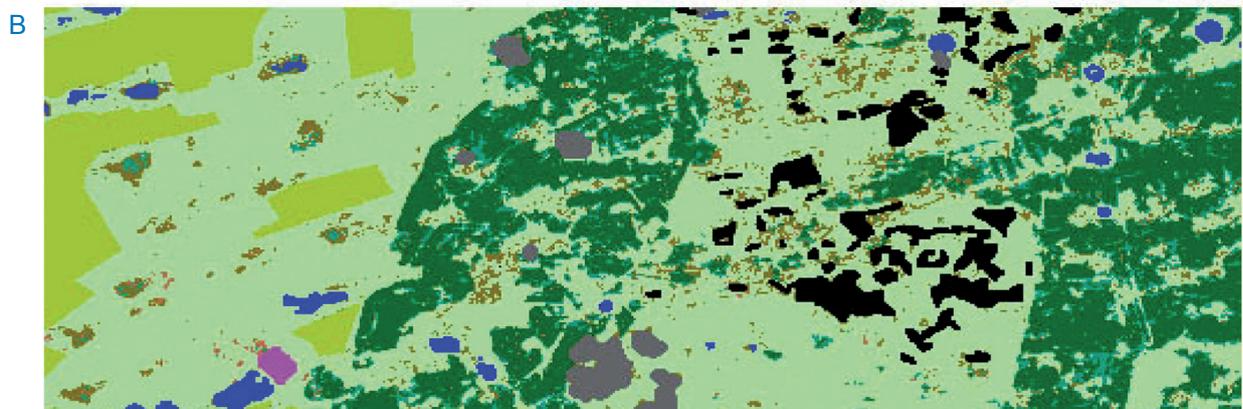
где δ_i – весовые коэффициенты соответствующих различий.

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

Таблица 1

Перечень допустимых различий ОКТ

Что изменилось	Было: ОКТ _{t₁}	Стало: ОКТ _{t₂}	Вид различия
Количество классов объектов	$A_{t_1} = \{A_k : k = \overline{1, K_{t_1}}\}$	$A_{t_2} = \{A_k : k = \overline{1, K_{t_2}}\}$	$K_{t_2} \neq K_{t_1}$
Количество объектов данного класса	$A_k^{t_1} = \{a_{kl} : l = \overline{1, L_{t_1}}\}$	$A_k^{t_2} = \{a_{kl} : l = \overline{1, L_{t_2}}\}$	$L_{t_2} \neq L_{t_1}$
Координаты границ объектов	$X_{t_1} = (x_1, \dots, x_{S_{t_1}})$	$X_{t_2} = (x_1, \dots, x_{S_{t_2}})$	$X_{t_2} \neq X_{t_1}$
Площадь (количество пикселей) конкретного объекта	$q_{t_1} = c_i[a_{kl}]$	$q_{t_2} = c_i[a_{kl}]$	$q_{t_2} \neq q_{t_1}$
Суммарная площадь объектов данного класса	$q_{t_1} = \sum c_i[a_{kl}(x_s)]$	$q_{t_2} = \sum c_i[a_{kl}(x_s)]$	$q_{t_2} \neq q_{t_1}$
Пространственные отношения между объектами	$R_{t_1}\{A_{k_1}, A_{k_2}\} = \{k_1 \in K_{t_1}; k_2 \in L_{t_1}\}$	$R_{t_2}\{A_{k_1}, A_{k_2}\} = \{k_1 \in K_{t_2}; k_2 \in L_{t_2}\}$	$K_{t_2} \neq K_{t_1};$ $L_{t_2} \neq L_{t_1}$



C

ЛЕГЕНДА:

-  Деревья. вечнозеленые. сомкнутый покров (>65%)
-  Деревья. вечнозеленые. открытый покров (15% - 65%)
-  Деревья. вечнозеленые. поврежденные огнем
-  Кустарник. листопадный. открытый покров
-  Трава. закрытый покров. естественная
-  Трава. закрытый покров. измененная
-  Трава. закрытый покров. яровые однолетние культуры
-  Регулярно затопляемый. растительный покров. естественный
-  Непокрытый растительностью покров. культивируемые земли
-  Непокрытый растительностью покров. естественный
-  Урбанистические территории
-  Вода
-  Облака и их тени

Рис. 3. Карта территории, построенная в результате объектного дешифрирования.
 А – исходный космический снимок (RGB-синтез),
 В – объектная карта,
 С – легенда (классификатор объектов)

Примечание. При детектировании различий необходимо учитывать эффект накопления малых изменений. В частности, различия между последовательными (текущим и предшествующим) состояниями могут быть несущественными, но если сравнивать ОКТ, отвечающие началу и концу достаточно большого интервала времени, то изменения могут оказаться значимыми.

Анализ тенденций и прогноз развития

Результаты регистрации изменений используются для *анализа тенденций и прогноза развития*. Отметим, что анализ тенденций предусматривает не только выявление причин, вызвавших обнаруженные изменения, т.е. ответ на вопрос, *почему они происходят* (эту функцию называют задачей диагноза), но и построение моделей, описывающих механизмы, порождающие эти изменения, т.е. ответ на вопрос *как*. В дальнейшем построенные модели применяются для прогноза возможных вариантов развития ситуации с учетом выявленных закономерностей и тенденций.

Решение *задачи прогноза* предусматривает генерацию будущих состояний территории. Классическая постановка задачи прогнозирования предусматривает наличие математической (процедурной) модели, задающей правила перехода от начального состояния в конечном. Формально такую постановку можно представить в виде

$$CTt_n \rightarrow \{M_i : i = 1, m\} \rightarrow CTt_k,$$

где: CTt_n – описание начального состояния территории в момент времени t_n ;

CTt_k – описание конечного состояния, отвечающее моменту времени t_k ;

$\{M_i : i = 1, m\}$ – система процедурных моделей, имитирующих процессы, порождающие изменения в состоянии объектов управления. В общем случае эти процессы могут носить естественный характер (природный источник) или вызываться управляющими воздействиями.

Но в задачах управления территориями, когда оценить вклад отдельных факторов или механизмов, а тем более количественно учесть степень их влияния, не представляется возможным, использовать классический подход чрезвычайно сложно. Поэтому для прогноза развития территории предложен другой подход, применимый в ситуациях, когда в результате анализа динамики временного ряда удастся выделить интегральную тенденцию, отражающую совокупное воздействие множества факторов, построить уравнение тренда и по нему предсказать траекторию дальнейшего развития [6].

Соответствующая методика предусматривает анализ последовательности ОКТ и построение урав-

нения тренда, описывающего динамику изменений за период, предшествующий текущему моменту времени t_n . Это уравнение и используется для продолжения временного ряда ОКТ на период прогноза. $ОКТ(t_0) \rightarrow \dots \rightarrow ОКТ(t_{n-1}) \rightarrow ОКТ(t_n) \rightarrow ОКТ(t_{n+1}) \rightarrow \dots \rightarrow ОКТ(t_{n+m})$.

Подчеркнем, что условия, определенные на начальный момент в постановке задачи прогнозирования, считаются неизменными в течение всего периода прогноза.

Выработка рекомендаций для принятия управленческих решений

Если результаты прогноза по каким-либо причинам не устраивают ЛПР, необходимо что-то менять. Последний функциональный уровень схемы поддержки принятия решений и предназначен для выработки конкретных рекомендаций (управляющих воздействий), способных изменить ситуацию в нужную сторону.

Грубо, постановку задачи управления развитием территории, по аналогии с классическими задачами управления движением объектов, можно сформулировать следующим образом.

Пусть заданы:

- CTt_n – описание текущего состояния территории в момент времени t_n , когда требуется принять решение (соответствует начальному состоянию в постановке задачи);
- CT^* – целевое состояние, которого мы хотим достигнуть в идеале;
- $Cr = \{Cr_i : i = 1, \dots, m\}$ – множество допустимых сценариев управления (управляющих воздействий, планов действий). Каждому сценарию отвечает своя траектория развития и конечное состояние – $CTt_k(Cr_i)$;

Кроме того, каждому сценарию ставится в соответствие множество ресурсов, необходимых для его реализации (в простейшем варианте: деньги и время).

- K – критерий выбора наиболее подходящего сценария.

Требуется выбрать управляющее воздействие (комбинацию воздействий), минимизирующее критерий при заданных ограничениях на время и (или) стоимость решения.

В случае, когда начальное и целевое состояния представлены в виде ОКТ, в качестве критерия удобно использовать интегральную меру близости конечных состояний к целевому, т.е.

$$\Lambda(ОКТ^*, ОКТt_k(Cr_i)),$$

где: $ОКТ^*$ – целевое состояние,

$ОКТt_k(Cr_i)$ – конечное состояние отвечающее сценарию $Cr_i : i = 1, \dots, m$.

Основная идея предлагаемого подхода заключается в том, что управляющие воздействия изменяют тенденцию динамики развития, что в свою очередь выражается в изменении типа и параметров уравнения тренда. Другими словами, изменяя динамические характеристики тренда, построенного на этапе прогнозирования, в частности уменьшая или увеличивая скорость, ускорение или темпы динамики, можно имитировать различные управляющие воздействия.

Методика включает следующие этапы:

На первом этапе осуществляется построение (генерация) трендов, имитирующих реализацию альтернативных сценариев воздействия с целью изменения результатов прогнозирования в нужном направлении. В итоге строится множество уравнений трендов, каждое из которых реализует определенную стратегию воздействия (сценарий управления);

На втором этапе проводится имитационное моделирование в режиме «что будет, если...», т.е. осуществляется прогноз динамики с использованием построенных трендов и формируется множество $\{OKT_k(Cr_i) : i = 1, \dots, m\}$ – конечных состояний, каждое из которых является результатом реализации соответствующего сценария.

На заключительном этапе проводится количественная оценка различий между конечными и целевым состоянием с использованием интегральной меры Λ (OKT^* , $OKT_k(Cr_i)$) и ранжирование рекомендаций по степени их близости к целевому состоянию.

Полученные оценки передаются ЛПР. Отметим, что прежде чем принять окончательное решение, ЛПР должно иметь возможность рассмотреть всю последовательность действий, выполнявшихся в процессе подготовки рекомендаций, и их результаты, включая:

- описание целевого состояния;
- временной ряд ОКТ;
- наиболее важные изменения, их темпы и масштабы;
- диагностику причин изменений;
- уравнения тренда, которые использовались для прогноза, и результаты прогноза;
- перечень допустимых сценариев (управляющих воздействий) и затраты, необходимые для их реализации;
- результаты имитационного моделирования для различных управляющих воздействий с оценкой рисков ожидаемых последствий как положительных, так и негативных.

Если у ЛПР остаются сомнения в выборе, оно может инициировать повторение процесса поддержки принятия решения с любой процедуры с учетом возникших соображений.

Подчеркнем, что в перспективе на заключительном этапе ключевую роль призвана играть база знаний (БЗ), в которой будет накапливаться и систематизироваться реальный опыт управления территорией. В частности, БЗ должна содержать информацию о том, какие управляющие воздействия в каких ситуациях применялись и к чему это привело, в следующем формате:

< ситуация – прогноз – рекомендации – управляющие воздействия – последствия (изменения) ожидаемые – последствия фактические – выводы >.

Организация БЗ позволит повысить не только эффективность использования информационно-аналитического (интеллектуального) потенциала СЦ, но и его способность к обучению. При этом содержание БЗ так же должно постоянно уточняться и корректироваться, в первую очередь, на основе анализа различий между результатами модельных прогнозов, ожидаемыми и фактическими последствиями управляющих воздействий.

В заключение отметим, что наиболее предпочтительной является реализация аналитических средств ППР в виде совокупности АРМ, специализированных как по функциям ППР, так и по видам ресурсов (земельные, водные, лесные, минеральные, аграрные и др.).

Ключевые слова: ситуационный центр, управление территорией, поддержка принятия решений, объектные карты территории, распознавание изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черемисина Е.Н., Спивак И.Л. Концептуальные основы построения автоматизированных систем управления территориями // Геоинформатика. – 2011. – № 4. – С. 14-46.
2. Воронин Ю.А., Спивак Л.Ф. Теория районирования и управление территориями. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 230 с.
3. Воронин Ю.А., Черемисина Е.Н. О базовых задачах искусственного интеллекта в мультидисциплинарных исследованиях. – Новосибирск : ИВГи МГ СО РАН, ч. 1 – 2001, ч. 2 – 2002.
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.
6. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование : учебник. – М. : Финансы и статистика, ИНФРА-М 2010. – Ч. 2. – 320 с.