Л.Д. Вейс,
к.техн.н., доцент,
Американский университет Центральной Азии

В.П. Живоглядов,
д.техн. н., профессор, академик НАН КР,
Кыргызско-Российский Славянский университет

О специфике разработки геоинформационных систем управления

1. Введение и постановка задачи

Геоинформационные системы управления (ГИСУ) и поддержки принятия решений – новое, пока не устоявшееся, но весьма перспективное направление применения геоинформационных технологий. ГИСУ, включающие в себя системы поддержки принятия управленческих решений, являются человеко-машинными системами, в которых лица, принимающие решения (ЛПР), причем, обычно в условиях неопределенности, могут использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для решения слабо структурированных задач.

В данной работе ставится задача провести анализ специфических особенностей разработки геоинформационных систем управления (ГИСУ) в сравнении с традиционными автоматическими и информационными системами управления, выработать рекомендации по проектированию ГИСУ с использованием методов теории адаптивных систем и затем применить развитый подход в практической задаче разработки геоинформационных систем управления сохранением естественных экосистем (ГИСУ СЭ).

2. Сравнительный анализ характеристик геоинформационных систем управления

Общая характеристика специфических пользовательских требований к ГИСУ

ГИСУ в процессе функционирования используют ресурсы баз данных не только в виде исходных («сырых») данных, но также и в виде предварительно обработанных с помощью ГИС-технологий. Цель такой обработки состоит в том, чтобы сделать данные пригодными и удобными для аналитического использования разными группами пользователей, сохранив при этом их исходную информативность. Более сложная обработка может включать восстановление пропущенных значений в исходных данных, использование статистических, оптимизационных и других алгоритмов. К специфическим пользовательским требованиям в ГИСУ относятся следующие:

- должна быть обеспечена интеграция текстовой, табличной, графической и картографической информации;

- в ГИСУ должны быть интерфейсы, удобные для работы с цифровыми картами и другими графическими документами;
- картографическая информация должна быть облечена в форму, пригодную и удобную для поддержки принятия управленческих решений.

Графические модели включают построение по картам различных графиков, профилей, разрезов, диаграмм, а также получение изображений способами наложения, вычитания, умножения, логарифмирования, дифференцирования, интегрирования поверхностей.

Визуальный анализ дает преимущественно качественные характеристики изучаемых объектов и явлений, но позволяет получать и количественные характеристики по подписям и глазомерным оценкам расстояний, площадей и т.п., дает возможность устанавливать закономерности размещения, относительность положения, пространственных форм, структуры и взаимосвязи элементов содержания карт, наличие их изменений во времени.

Картометрические модели позволяют определять геодезические, прямоугольные и полярные координаты точек поверхностей; относительные и абсолютные высоты, глубины, мощности, т.е. аппликаты отображенных на картах объектов и явлений; длины прямых и кривых линий, расстояния между объектами, углы и направления в горизонтальной и вертикальной плоскостях; площади участков плоских и криволинейных поверхностей, объемы участков этих поверхностей или объектов (объемы ледников, осадков, океанических котловин и т.п.). Применяя визуализацию в сочетании с функцией моделирования процессов, можно составлять объективные (основанные на реальных предпосылках) прогнозы.

Основные требования к информационным моделям в ГИСУ — достоверность, информативность, оперативность и возможность моделирования ситуации в реальном времени, возможность ретроспективного и перспективного анализа ситуации. Создавать ГИС и ГИСУ на базе точных пространственных моделей достаточно дорого. Но создание упрощенных, не очень точных в пространственном отношении слоев карт позволяет пользователю при принятии решений выйти на качественно новый уровень управления и более рационально решать свои задачи — в этом основная особенность «неточных» систем.

Сравнительный анализ характеристик ГИСУ и систем управления других типов

Геоинформационные системы управления (ГИСУ) – это системы, в которых интегрированы возможности традиционных информационных систем управления (ИСУ), традиционных ГИС и автоматических компьютерных систем управления.

Отличия ГИСУ от традиционных ИСУ:

- включение в базы данных и в другие информационные ресурсы картографической информации наряду с текстовой, табличной, графической и другими формами информации;
- использование специального программного обепечения для работы с картами при разработке инфраструктуры ИСУ;
- наглядное представление и более легкое восприятие управленческим персоналом данных, привязанных к территориально распределенным объектам;

- как разработка, так и сопровождение ГИСУ более трудоемки и требуют специальных знаний разработчиков и инженерно-технического персонала, но работа конечных пользователей становится более легкой и эффективной;
- давая руководству гибкий инструмент для принятия решений, ГИС во многих случаях становится основой для информационной системы управления.

Отличия ГИСУ от традиционных автоматических компьютерных СУ:

- ГИСУ – человеко-машинная система для управленческого персонала, для поддержки принятия решений, трудно поддающихся полной формализации;
- при создании ГИСУ необходимо отметить роль Интернета, дистанционного зондирования Земли и глобальных систем позиционирования как интеграционных технологий формирования информационных ресурсов;
- формализованная теория ГИСУ в силу их новизны разработана значительно слабее, чем теория автоматических систем управления;
- пространственная распределенность характеристик рассматриваемых систем и их неполная наблюдаемость вносят дополнительные трудности исследования.

Сопоставление свойств ГИСУ и традиционных ГИС.

Отличие ГИСУ от традиционных ГИС проявляется, прежде всего, в их назначении – для поддержки принятия управленческих решений. Конкретные проявления отличий следующие:

- более широкий круг информационных функций, включение функций управления;
- реальный масштаб времени, обеспечение поддержки принятия оперативных решений;
- ГИСУ предназначены для оперативной деятельности и с учетом долгосрочной перспективы, например, для создания охраняемой территории.

3. Применение методов теории адаптивных систем при проектировании ГИСУ

В общей теории адаптивных систем автоматического управления разработан ряд методов построения систем управления в условиях различной неопределенности и изменчивости характеристик объектов управления. Ряд методов предполагает разделение задач текущей идентификации моделей объектов и управления (3). Широко известны автоматические системы управления с адаптивной моделью, когда модель используется для выработки управляющих воздействий, а характеристики модели настраиваются по данным текущих наблюдений. Методы, развитые в теории адаптивных систем, идентификации, систем распознавания образов, систем управления с настраиваемой моделью, могут быть полезны при разработке ГИСУ.

Авторы данной работы считают такой подход перспективным при разработке ГИСУ. Структура ГИСУ, разработанная на его основе, включает, во-первых, группу подсистем построения и оперативной текущей идентификации геоинформационной модели и, во-вторых, подсистему поддержки принятия управленческих решений.

На рис. 1 представлена укрупненная структура геоинформационной системы управления состоянием экосистемы.

Приняты следующие обозначения:

- **X** – входные воздействия внешней среды на естественную экосистему, которая рассматривается как объект управления (ОУ);
- **V** – выходные показатели, частично наблюдаемые;
- **Y** – результаты наблюдений за состоянием ЭС;
- **БД ГИСУ** – база данных ГИСУ;
- **Идентификация** – геоинформационная подсистема идентификации экосистемы (ГИСИ ЭС);
- **Модель** – геоинформационная подсистема моделирования ГИСМ – настраиваемая модель ЭС;
- **База ГИС-моделей** – база геоинформационных моделей процессов БМ ГИС;
- **п/с ППР** – геоинформационная подсистема поддержки принятия решений;
- **ЛПР** – лицо, принимающее решение;
- **КИФ ЛПР** – картографический интерактивный интерфейс с ЛПР;
- **U** – вектор управляющих воздействий;
- **V*** – заданное целевое состояние ОУ;
- **U = f(Y,V*)** – алгоритм, по которому определяются управляющие воздействия, с наибольшей эффективностью переводящие объект ОУ в желаемое или предписанное состояние **V***.

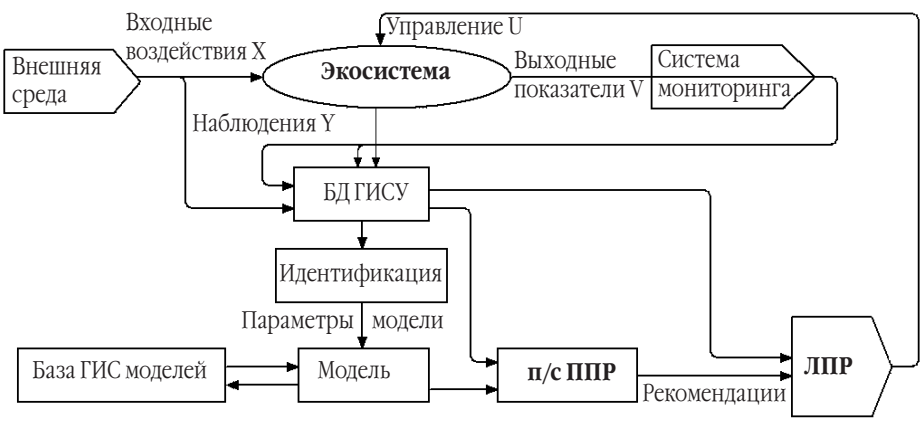

Рис.1. Структура ГИСУ СЭ

Разработка ГИСУ начинается с определения проекта, определения объекта управления (ОУ) – экосистемы, границ управляемой системы и внешней среды, перечня внешних воздействий и показателей состояния экосистемы, формирования целевых установок и критериев эффективности. Возможность оперативного управления объектами такого рода по выходным показателям является проблематичной. Применяется управление по наблюдениям за состоянием ОУ. При этом в предельном случае, когда связь выходных показателей и наблюдаемых состояний объекта управления имеет взаимно однозначный и детерминистский характер, управление по состояниям сводится к управлению по выходным показателям.

Задача идентификации модели ОУ по наблюдениям решается подсистемой ГИС «Идентификация». При ее построении могут быть использованы принципы и алгоритмы

распознавания образов. При этом классами (образами) распознавания являются состояния объекта управления, а признаками – его выходные параметры. В нашем случае это состояния экосистем с различной степенью сохранности.

Подсистема «Модель» ГИС-моделирования решает следующие задачи:

- картографическое моделирование развития окружающей среды;
- картографическое моделирование развития объекта управления.

Картографическая модель – это набор взаимодействующих, упорядоченных операций с картами, которые используют как «сырые», так и обработанные данные для моделирования в процессе принятия решений о пространственных объектах. Картографические операции должны взаимодействовать друг с другом. Каждая операция над слоем должна иметь результат (обычно другой слой), который может использоваться следующей операцией. Различают описательные и прогозирующие модели. Описательные картографические модели описывают и, при некоторых обстоятельствах, объясняют некоторые распределения и взаимосвязи, полученные в результате анализа. Описательные (атрибутивные) данные хранятся в компьютерной базе данных (БД).

Характерной чертой моделей ГИСУ является наличие неопределенности и нечеткости, т.е. того, что исходы, получаемые лицом, принимающим решение, зависят от событий, которые невозможно предвидеть с полной определенностью. В итоге анализа, выбирая альтернативы, ЛПР получает результат, который носит нечеткий характер и ведет к нечеткости в принятии решений.

Подсистема поддержки принятия решений (п/с ППР) является интерактивной экспертной системой, обеспечивает взаимодействие лица, принимающего решение, с системой, доступ ЛПР к кратографической информации, выработку рекомендуемого решения U, переводящего объект управления в целевое состояние V*. Окончательное решение принимает ЛПР.

В подсистеме идентификации алгоритмы распознавания образов применяются для того, чтобы классифицировать состояние объекта управления, т.е. дать ему обобщающую оценку, не сводящуюся к совокупности значений наблюдаемых показателей.

В подсистемах ГИСМ и ППР для заданных целевых состояний выявляются предпосылки и факторы (предыстория, факторы среды), необходимые для достижения этого состояния; определяются управляющие воздействия, которые могут перевести (т.е. ранее переводили) объект управления в данном актуальном (исходном) состоянии, с данной предысторией и находящийся в данной окружающей среде в заданное целевое состояние. Информация предоставляется ЛПР в таком виде, чтобы обеспечить принятие управленческого решения в требуемый срок. После выработки управляющих воздействий с помощью режима распознавания может быть осуществлен прогноз результатов их применения с использованием ГИСМ. В подсистеме ГИСМ анализ и прогноз обобщенных образов является основным. Интеллектуальный анализ данных может быть представлен:

- информационно-аналитическими моделями: например, оверлеи, анализ поверхностей и др.;
- интеграционными моделями (данные дистанционного зондирования, Интернет, мультимедиа и т.п.).

4. Разработка геоинформационной системы управления сохранением естественных экосистем (ГИСУ СЭ) региона Западного Тянь-Шаня

Оценка антропогенной «нарушенности» экосистем Западного Тянь-Шаня

Западный Тянь-Шань – географический регион, в который входят части территории трех государств: Казахстана, Кыргызстана, Узбекистана. Мониторинг экосистем и воздействий на экосистемы проводится в целях анализа их текущего состояния, планирования мероприятий природоохранного характера, выделения участков, наиболее перспективных в плане создания сети охраняемых территорий в регионе.

При прочих равных условиях при выборе управленческих решений предпочтительнее сохранять выдел экосистемы, где сосредоточено большое количество значимых видов, например, занесенных в Красную книгу, и который наименее подвержен антропогенной трансформации. Если на сравнительно компактном участке территории сосредоточено большое и разнообразное количество перспективных выделов, обеспечивающих воспроизводство максимального количества видов и сообществ, то этот участок в первую очередь является кандидатом для создания охраняемой территории.

Основными целями трансграничного проекта, поддержанного Глобальным экологическим фондом и завершенного в 2005 г. (1, 2), являлись анализ биоразнообразия и разработка мероприятий для сохранения экосистем в регионе Западного Тянь-Шаня (ЗТШ) с применением ГИСУ.

Конкретизируем структуру ГИСУ, приведенную на рис. 1, используя представления о входных и выходных параметрах объекта управления. В результате получим структурную модель ГИСУ СЭ, где в подсистеме идентификации и принятия решений используются геоинформационные технологии.

Входные воздействия на ОУ определяются:

- деятельностью человека;
- созданием охраняемых объектов (заповедников, заказников, национальных парков, биорезерватов и т.д.), буферных зон;
- включением видов животных и растений в Красную книгу;
- мероприятиями по восстановлению исчезающих видов;
- экологическим туризмом и др.

Выходные показатели экосистем определяются:

- продуктивностью выделов экосистем – в тоннах биомассы на выдел или единицу площади;
- фрагментацией выделов экосистем – средней площадью выделов экосистем;
- количеством охраняемых видов, обитающих в выделе экосистем;
- степенью «нарушенности» экосистем деятельностью человека и элементами инфраструктуры.

Степень «нарушенности» экосистем деятельностью человека может измеряться плотностью населения в экосистемах, количеством объектов туризма, числом случаев браконьерства, несанкционированной вырубки лесов, масштабностью лесных пожаров, интенсивностью сбора плодов, охоты, рыбалки и др.

Степень «нарушенности» экосистем элементами инфраструктуры – дорожной сетью, линиями электропередач (ЛЭП) может измеряться числом и протяженностью ЛЭП или дорог на выдел или кв. км., количеством зооантропонозов (скотомогильников) в экосистеме и др.

Степень «нарушенности» экосистем выпасом скота может измеряться численностью скота на выдел или кв. км., а также числом случаев выпаса, числом случаев или площадью сенокосов, площадью отчужденных земель и др.

В геоинформационных системах используется несколько типов цифровых моделей – цифровая модель местности (ЦММ), цифровая карта (ЦК) и цифровая модель объекта (ЦМО). ЦММ – это обобщенная модель, отражающая следующие основные свойства:

- как модель объекта конкретной предметной области (ЦМО) она должна содержать специальную информацию о данной предметной области;
- как модель данных она должна быть определена как совокупность пространственной и атрибутивной информации, т.е. как комплексная георeляционная модель;
- как цифровая модель ЦММ должна быть физически структурно организована для обеспечения удобств работы с ней;
- ЦММ должна содержать дополнительную информацию для многократного использования, моделирования, анализа и решения различных задач.

Таким образом, ЦММ является полной моделью, т.к. первое свойство определяет семантику модели, второе и третье – синтаксис, а четвертое – прагматику.

Цифровая карта (ЦК) – это двухмерная визуальная модель бумажной карты или участка поверхности Земли, отображаемая с помощью средств компьютерной графики в заданной картографической проекции и обладающая возможностью изменения масштаба отображения с изменением масштаба отображаемых деталей. Цифровая карта организована как совокупность слоев, что, при наличии механизма управления слоями, позволяет значительно увеличить объем представляемой информации и упростить анализ объектов карты. Многослойная модель ЦК позволяет решать задачи типизации объектов, более эффективной обработки данных, упрощения хранения данных, более эффективного анализа и моделирования, создавать условия для более обоснованного принятия управленческих решений.

Идентификация модели экосистемы по выходным показателям

Классификация экосистем по степени «нарушенности» содержит высокую неопределенность, т.к. четко невозможно определить, что считать критерием «нарушенности». Поэтому в данном случае возможно применение размытых оценок, например, типа «слабая нарушенность», «средняя нарушенность», «сильная нарушенность» и т.п. Шкалу образов (классов) (рис. 2) определим с использованием связей между классами на основе численной оценки и элементов нечеткой логики.

Шкала «нарушенности» экосистем, %

```
0          20         40         60         80         100 %
___________!__________!__________!__________!__________!
Нет        Слабая     Средняя    Высокая    Очень высокая
```

Шкала «нарушенности» в терминах нечеткой логики

Рис. 2. Шкала классов (состояний) «нарушенности»

Поясним методику идентификации экосистем на примере классификации по степени влияния на «нарушенность» фрагментарности экосистем. Малая площадь выделов экосистем характеризует их раздробленность и фрагментарность больше, чем большая площадь, следовательно, подверженность выделов антропогенным факторам тоже более высокая, чем при большей площади выделов.

Введем три шкалы оценки. По первой шкале будем оценивать естественный уровень влияющего фактора, например, среднюю площадь выдела (уровень фрагментарности) или уровень развитости инфраструктурных элементов, плотность населения и др. По второй балльной шкале будем оценивать «нарушенность» экосистем в зависимости от уровня каждого фактора и суммарную степень «нарушенности» в процентах от максимального значения. Введем также и третью шкалу, по которой будем классифицировать интегральную «нарушенность» экосистем, т.е. ее состояние. Возвращаясь к данным оценки площади экосистем, т.е. к фактору фрагментарности, видим из таблиц данных (1), что средняя площадь выделов экосистем кыргызской части ЗТШ находится в диапазоне от 1 до 189 кв. км, т. е. можно принять следующий метод перехода от количественной шкалы к балльной. Например, диапазон площадей от 1 до 50 кв. км оценим в 3 балла «нарушенности», от 50 до 100 кв. км в 2 балла, от 100 до 150 кв. км в 1 балл и от 150 и выше – 0 баллов.

Пользуясь данной методикой и принимая во внимание количественные оценки, полученные методом ГИС-анализа тематических карт (1), составим таблицу антропогенных воздействий на естественные экосистемы по комплексу факторов, а результирующую «нарушенность» получим путем простого суммирования баллов. В соответствии с суммарной количественной оценкой «нарушенности» экосистем, полученной в таблице 1, результирующую «нарушенность» можно оценить также и по нечеткой шкале (см. рис. 2).

Карта является основным языком ГИС. Эта графическая форма представления пространственных данных состоит из различных координатных систем, проекций, наборов символов, методов упрощения и генерализации. Наиболее часто в ГИС приходится иметь дело с тематическими картами, хотя общегеографические и топографические карты тоже используются в ГИС, главным образом для того, чтобы обеспечить общегеографическую основу для сложных тематических карт.

В настоящее время, благодаря Интернету, стало возможным не только покупать, но и получать бесплатно (оплата только за трафик) космические снимки. Нельзя не оценить преимуществ в использовании ДЗЗ (дистанционное зондирование Земли), когда необходим постоянный мониторинг текущих процессов на больших территориях. Экономичность и эффективность такой схемы работы неоспорима. Сегодня из-за высокой стоимости наземного мониторинга другой альтернативы им нет, особенно для государственного контроля за окружающей природной средой и деятельностью природопользователей. Данные, полученные с помощью дистанционного зондирования Земли из космоса, являются одним из важнейших источников формирования информационных ресурсов о состоянии окружающей среды, антропогенного воздействия на нее, в том числе и за счет трансграничного переноса загрязнителей. Полученная таким образом информация помогает более рационально использовать природные ресурсы, выявлять состояние потенциально опасных объектов народного хозяйства и др. Развитие глобальных систем позиционирования также дало удобный

и эффективный инструмент в определении пространственного положения объектов и уже в ближайшее время станет частью ГИС ППР.

Геоинформационное моделирование для идентификации и прогноза антропогенной «нарушенности» экосистем

Поставленная задача идентификации «нарушенности» экосистем и поддержки решений по сохранению экосистем ЗТШ требует разработки картографической модели, которая приведена на рис. 3.

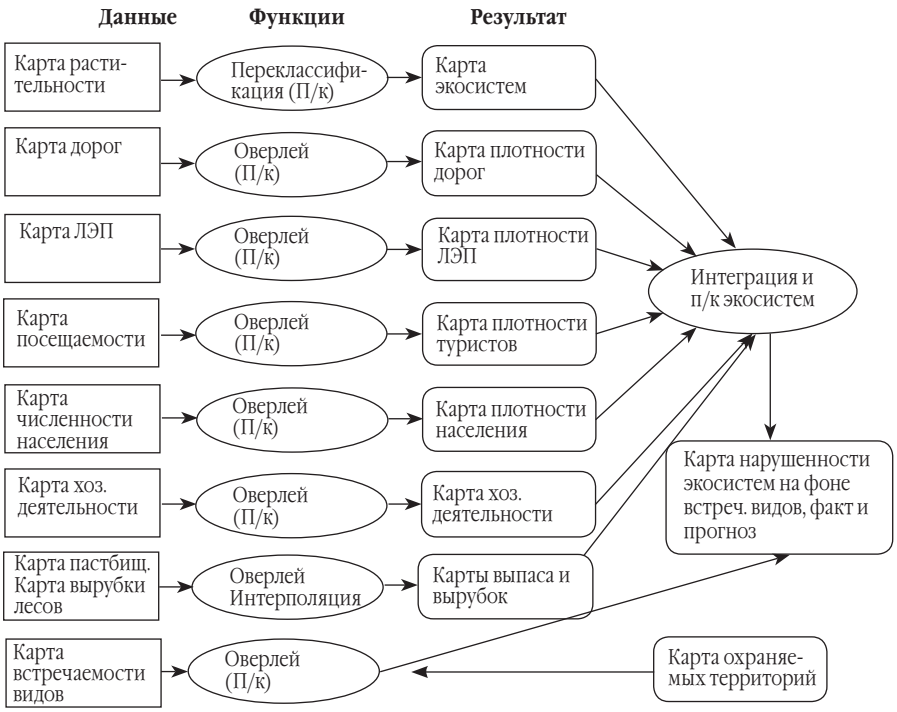

Рис. 3. Картографическая модель системы идентификации, анализа и прогноза состояния экосистем

Исходной моделью объектов (экосистем) является карта выделов экосистем, полученная путем переклассификации (П/к) карты растительности, которая в свою очередь может корректироваться методами дистанционного зондирования. Компьютерные карты масштаба 1:500000, к сожалению, не отличаются высоким качеством, однако для решения данной обзорной задачи вполне приемлемы. Тематические карты различных видов воздействий на экосистемы были получены с использованием базы ГИС-моделей процессов.

На рис. 4 показана основная карта экосистем. Темные участки на карте отображают лесные экосистемы, более светлые – луга и саванноиды. По данной карте были рассчитаны количество и площадь экосистем Кыргызстана, попавшие в проектную область (4). Анализ данных показывает, что наибольшую площадь в ЗТШ Кыргызстана занимают выделы среднегорных саванноидов, а выделы лесов сильно фрагментированы.

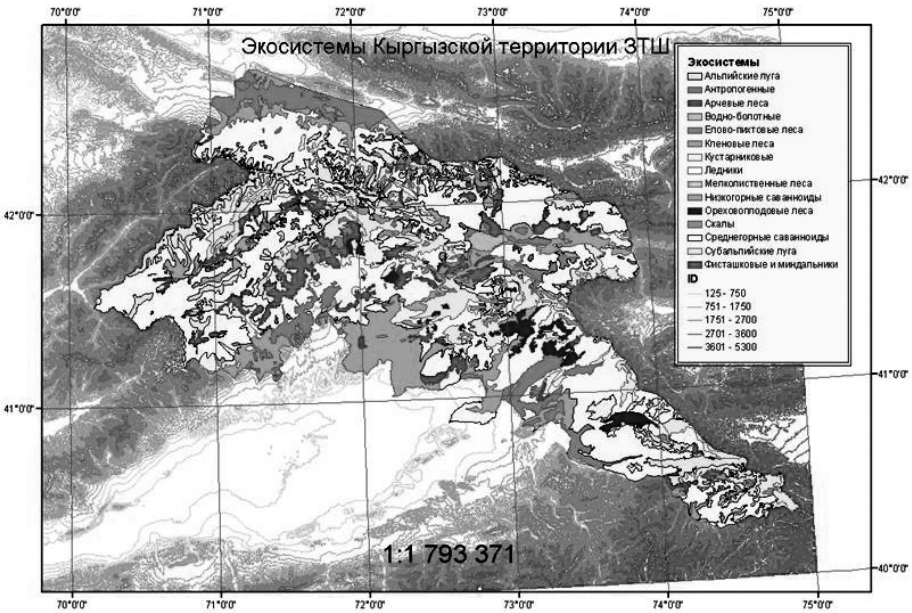

Рис. 4. Карта выделов экосистем региона ЗТШ Кыргызской Республики

В соответствии со шкалой нечетких оценок построим таблицу 1 и карту поддержки принятия решений для экосистем, пригодных для организации охраняемых территорий. Данная карта приведена на рис. 5. Вертикально заштрихованные участки на карте соответствуют малой степени «нарушенности», в пределах которых возможно создание охраняемых экосистем, не заштрихованные – представляют переходную (буферную) зону, горизонтально заштрихованные – зону традиционной хозяйственной деятельности высокой и очень высокой «нарушенности».

Таблица 1

Таблица оценок «нарушенности» экосистем

Антропогенное воздействие на естественные экосистемы													
	зоосистемы/воздейств.	Елово-пихтовые	Арчовые леса	Мелколист. леса	Орехоплод. леса	Кленовые леса	Фисташники	Кустарниковые	Альпийские луга	Субальп. луга	Саванноиды	Низкогорн. саванноиды	Водно-болотные
Сенокошение													
Дороги													
ЛЭП													
Зооантропонозы													

Рекреац-посещение													
Фрагментация													
Плотность населения													
Итого													
Итого в % к макс.	29	38	48	43	33	57	48	29	43	76	67	0	81

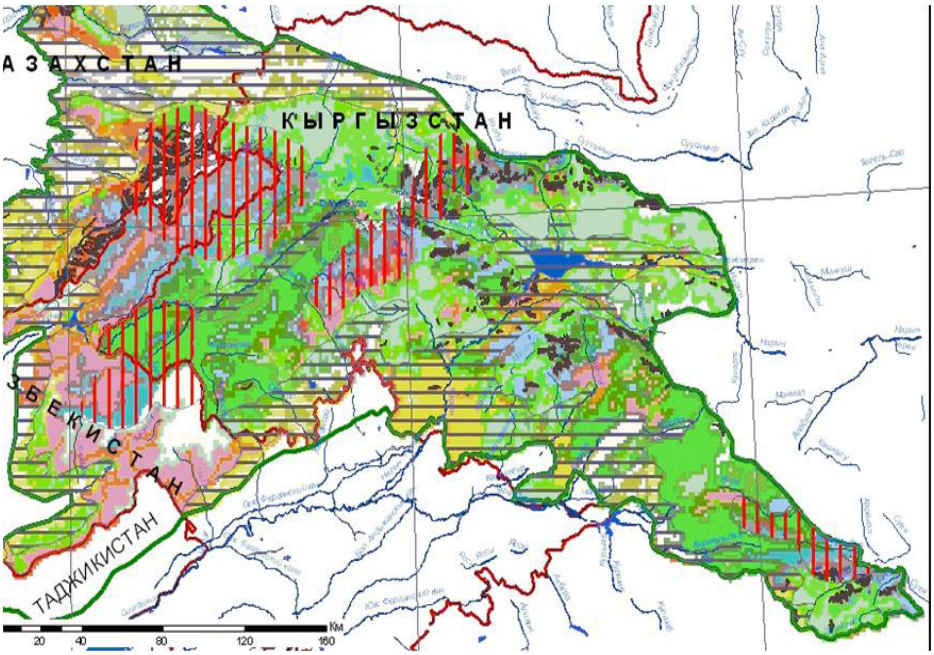

Рис. 5. Карта идентификации экосистем и поддержки принятия решений (ППР)

Заключение

Анализ задач и специфических особенностей проектирования геоинформационных систем управления (ГИСУ) в сравнении с традиционными информационными системами управления и автоматическими системами управления показал возможность и целесообразность использования в ГИСУ методов теории адаптивных систем управления и интеграции методов разработки ГИС, систем поддержки принятия решений (СППР) и адаптивных систем управления. Предложенная структура логической модели ГИСУ носит достаточно универсальный характер. ГИСУ СЭ практически использовалась в проекте анализа биоразнообразия и разработки мероприятий для сохранения экосистем в регионе Западного Тянь-Шаня (ЗТШ) для идентификации текущего состояния экосистем ЗТШ и поддержки решений по планированию мероприятий природоохранного характера, выделения участков, наиболее перспективных в плане создания сети охраняемых территорий.

Литература

1. *Вейс Л.Д.* Геоинформационный анализ экосистем ЗТШ Кыргызстана по степени влияния некоторых антропогенных факторов// Информатика и системы управления. – № 2. – Благовещенск: Амурский Госуниверситет, 2003.
2. *Вейс Л.Д., Жолдубаева Л.Ы, Назаркулова А.Б.,Шевченко В.В.* Геоинформационная система поддержки регионального планирования (ГИС ПРП ЗТШ) по сохранению биологического разнообразия региона Западного Тянь-Шаня// Информатика и системы управления. №1. – Благовещенск: Амурский Госуниверситет, 2004.
3. *Живоглядов В.П.* Адаптация в автоматизированных системах управления технологическими процессами. – Фрунзе: Илим, 1974.
4. *Живоглядов В.П.,Вейс Л.Д.* Геоинформационные системы как инструмент анализа и принятия управленческих решений// Вестник КГНУ «Проблемы математики и информатики». Труды Междунар. научной конференции. Серия 3. Вып. 4. – Бишкек, 2000.

Д. Ч. Джамгырчиев,
к. географ.н., доцент,
КНУ им. Ж. Баласагына

Ландшафтно-экологическая инфраструктура территории как основа устойчивого природопользования Кыргызстана

Экономика Кыргызстана в первую очередь базируется на использовании природно-ресурсного потенциала территории и знании ее внутренней (ландшафтной) инфраструктуры. Выявление экологического состояния инфраструктуры строится на эколого-ландшафтном анализе, картографировании современного состояния ландшафтов, а также оценке их изменений под все более усиливающимся антропогенным воздействием.

Экологическая направленность ландшафтных исследований обусловлена значительным ухудшением состояния окружающей человека среды, и в особенности в горных районах. Большую роль в возникновении и пространственном развитии экологических проблем в горных регионах играет ландшафтная структура территории, характеризующаяся территориальной обособленностью, резко выраженной вертикальной дифференциацией геосистем, сложностью геологического строения, подавляющим господством крутых и неустойчивых форм рельефа, резкими контрастами абсолютных высот и экспозиций склонов, частыми изменениями мезо- и микроклиматических условий и т.д.

В связи с этим одним из важнейших вопросов в эколого-ландшафтных исследованиях горных территорий является оценка ландшафтных комплексов, их естественного потенциала, степени антропогенного изменения, экологического риска, их устойчи-