

УДК 910.1

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ КАК ИНСТРУМЕНТ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ

Ишук А.А.

Практически все многообразие методов и подходов, применяемых сегодня в области ГИС анализа, направлено на то, чтобы получить ответ на два основных вопроса:

- 1) Где находятся объекты с заданными свойствами?
- 2) Какие факторы определяют местоположение объектов данного типа?

По сути, на те же вопросы, только более пространно, приходится отвечать и при выполнении операций картографического моделирования. В частности, при оценке пригодности территории. Вообще, понятие пригодности территории в пространственном моделировании трактуется достаточно широко: от пригодности для развития жилой зоны или выращивания винограда, до «пригодности» к разработке месторождения или проживания определенного типа животных. В тех случаях, когда пространственное моделирование имеет целью определение местоположения или степени пригодности объектов в соответствии с определенной концепцией оценки местности, вводится понятие концептуальной модели или модели пригодности территории. С помощью моделей этого типа сегодня ведется поиск возможностей расширения жилых и рекреационных зон, локализация участков для выращивания определенных сельскохозяйственных культур, разработки месторождений, строительства торговых центров или школ, оптимизация трасс трубопроводов, определение мест возможного обитания животных и т.д.

Целью данной работы является обобщение существующего опыта реализации средствами ГИС концептуальных моделей местности для решения задач комплексной оценки территории.

Реализация моделей данного типа связана, как правило, с созданием сложных многофакторных структур, учитывающих пространственную неоднородность, вес (значимость) каждого фактора и пространственные взаимосвязи между объектами. Поэтому реализация концептуальных моделей предъявляет достаточно высокие требования, как к ГИС-специалистам, так и к используемому программному обеспечению.

Из наиболее важных требований к специалистам, решившим использовать ГИС в области концептуального моделирования, можно выделить понимание топологии объектов, умение использовать методы оверлейного и дистанционного анализа, классификации, математики карт, построения пространственных запросов для растровых и векторных моделей данных, а также работы со статистическими поверхностями. Существенным также является знание основ факторного анализа,

основная идея которого, собственно, и реализуется средствами ГИС в процессе концептуального моделирования.

При выборе программного обеспечения следует отдавать предпочтение системам с одинаково хорошо развитым аналитическим инструментарием для растровых и векторных моделей данных, особенно в области средств оверлейного анализа и математики карт. Не случайно, большинство известных ГИС-реализаций моделей такого типа выполнено на платформе ESRI, обеспечивающей необходимый выбор и удобство использования указанных средств.

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ МОДЕЛИ

ГИС-аналитик должен четко представлять себе, какой информацией он располагает, поскольку именно полнотой и качеством исходной информации определяется принципиальная возможность получения решения заявленного качества. К сожалению, заказчик не всегда в состоянии оказать ему полноценную помощь в этом вопросе. «Почвы лучше песчаные», - скажет агроном, - «И чтобы не очень круто, но и не болото, конечно». Только ГИС-аналитик в этом случае понимает, что за словами «лучше песчаные» стоит проблема оцифровки карт почв, за понятием «не очень круто» - скрупулезная работа по созданию и анализу модели рельефа, а за термином «не болото» - вечная проблема классификации: что такое «не болото»? Входят ли в данном случае в понятие «болото» орошаемые территории, сезонно подтопляемые и т.д.?

Необходимо также помнить, что **ожидаемая точность результатов моделирования не может быть выше точности исходных данных**. Зато обратная ситуация встречается нередко. Располагая данными достаточной точности и плотности наблюдений, в процессе анализа мы иногда обнаруживаем их слабую сопоставимость ввиду применения различных методик отбора. Значительный отсев данных и снижение точности возникает также вследствие неграмотной пространственной привязки. Часто можно наблюдать избыточную характеристику одних элементов на фоне отсутствия информации о других, не менее важных и т.д. Только учитывая все перечисленные компоненты, можно оценить качество ожидаемого результата.

Бывает, что в результате оценки приходится увеличивать затраты на получение данных или снижать требования к проектируемой модели. Иногда даже приходится признать невозможность получения требуемого результата в рамках предложенных заказчиком условий.

Мировой опыт показывает, что этапу подготовки исходных данных необходимо выделять существенное время, зачастую составляющее 40% - 80% всего времени, отпущенного на аналитические исследования. К сожалению, уровень развития геоинформатики на Украине вносит свои, часто неожиданные, осложнения. Много времени отнимает, например, одна из основных проблем отечественной цифровой картографии – топологическая некорректность данных. Не все производители карт понимают и выполняют элементарные требования к топологии объектов. Проще говоря, производитель электронных карт сегодня должен понимать, что ГИС не

может включать в пространственный анализ самопересекающиеся полигоны или перекрывающиеся в пределах одного слоя. Невозможно также построить корректную модель рельефа, если направление оцифровки элементов речной сети случайное и т.д.

Таким образом, купив готовую карту у солидной организации, можно неожиданно обнаружить ее непригодность для использования в концептуальной модели без длительной, часто ручной работы по нахождению и исправлению ошибок топологии.

Существенное время необходимо также отводить на создание и проверку корректности модели рельефа – важнейшего материала для классификации территории по крутизне и ориентации склонов, определению зон видимости, затопления, подтопления, высотному районированию и т.д. Вообще говоря, такие наукоемкие элементы, как цифровые модели рельефа или DEM (Digital Elevation Model), карты распределения загрязнения, поверхности залегания подземных вод и т.д. лучше приобретать в готовом виде у фирм, имеющих серьезный опыт в их создании.

Результатом успешного завершения этапа подготовки информационной базы модели должна стать геоинформационная структура, обеспечивающая полноту, необходимую точность, сопоставимость на пространственной основе и взаимосвязность всей информации, необходимой для данной концептуальной модели.

СОЗДАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА МОДЕЛИ

Как решается конкретная проблема вообще, как правило, известно. То есть концепция, как таковая, в большинстве случаев имеется. Поэтому вопрос чаще всего стоит в реализации данной концепции средствами ГИС. На этом этапе, с одной стороны, очень важно понимать проблему целиком, даже если заказчик ограничивает вашу работу конкретным участком. Дело в том, что заказчик не всегда представляет возможности ГИС, в то время как ГИС-аналитик не всегда может самостоятельно охватить суть всей проблемы. Как показывает опыт, такая ситуация нередко приводит к нерациональному использованию геоинформационных ресурсов. Поэтому вопрос: «А что Вы, собственно, хотите получить в результате?» на начальном этапе работы совершенно не праздный.

С другой стороны, чтобы выявить количество и перечень факторов, определяющих решение данной проблемы, необходима ее существенная детализация. По возможности необходимо выделить:

- все известные факторы, определяющие исследуемое явление;
- факторы, которые являются наиболее существенными для решения данной задачи;

- факторы, которые реально можно исследовать и включить в модель за отпущенные время и деньги, с учетом доступности и степени секретности отдельных видов информации.

Последний пункт особенно важен, поскольку результаты его выполнения смогут определить принципиальную возможность решения данной задачи на предложенных условиях, а также выяснить, что и с какой точностью мы получим в результате.

На этапе разработки алгоритма модели существующий или разработанный аналитиком подход должен быть переведен на язык логических и математических операторов пространственного анализа. Например, при выполнении совместного проекта Украинского центра менеджмента земли и ресурсов (УЦМЗР) и Севастопольского института СИНЕКО «Комплексная оценка территории Юго-Западного Крыма с целью экологической защиты территорий и оптимизации использования природных ресурсов средствами ДЗЗ и ГИС» была принята следующая общая концепция оценки.

Развитие городской территории допускается в намеченных областях на участках, где имеются почвы, пригодные для строительства домов с фундаментами; которые не попадают в зоны развития оползневых и обвальных явлений; не попадают в пределы заповедников, охранных зон рек, археологических раскопок и территорий, подчиненных министерству обороны. Причем везде, где возможно, необходимо сохранять почвы высшего качества для ведения сельского хозяйства. Следует также учесть, что нормативные акты позволяют местной администрации запрещать урбанизацию областей, предназначенных для других целей.

Одним из самых простых вариантов реализации такой концепции будет провести геометрическое наложение данных различных слоев, принимая имеющиеся в них объекты как исключаяющие факторы (Рис. 1).

Существенным недостатком такого метода при всей простоте и доступности является однозначность получаемых результатов: или «да» или «нет», что не дает возможности учесть различные степени ограничения.

В реальных оценках обычно используется весь арсенал логических и математических операторов, а также весовые коэффициенты, отражающие вклад каждого фактора в формирование суммарной пригодности участка территории. Процесс назначения весовых коэффициентов достаточно субъективен, поскольку, определяя данную величину, исследователь чаще всего исходит из собственных представлений или опыта предыдущих работ. Впрочем, в формировании данного параметра могут принимать участие также строительные и санитарные нормативы или такие количественные характеристики участков, как стоимость.



Рис.1. После геометрического наложения запрещенными для строительства окажутся те участки, на которых действует хотя бы одно из ограничений

Назначение весовых коэффициентов производится обычно на этапе выполнения анализа, поскольку данный процесс требует уточнений и корректировок уже в процессе моделирования. Как показывает опыт, реализацию такого алгоритма, учитывая большое количество градаций в пределах каждого слоя и необходимость использования функций картографической алгебры, удобнее проводить в растровых системах. Для наглядности лучше провести классификацию объектов каждого слоя по степени пригодности, используя одну для всех слоев шкалу классов (например, от 1 до 10). В таком случае, применив операцию математического наложения, мы получим максимальные значения результирующего слоя в наиболее пригодных местах. На рисунке 2 показано применение данного метода для оценки пригодности территории в зависимости от устойчивости почв (soil.grd) и наличия оползневых явлений (landslide.grd).

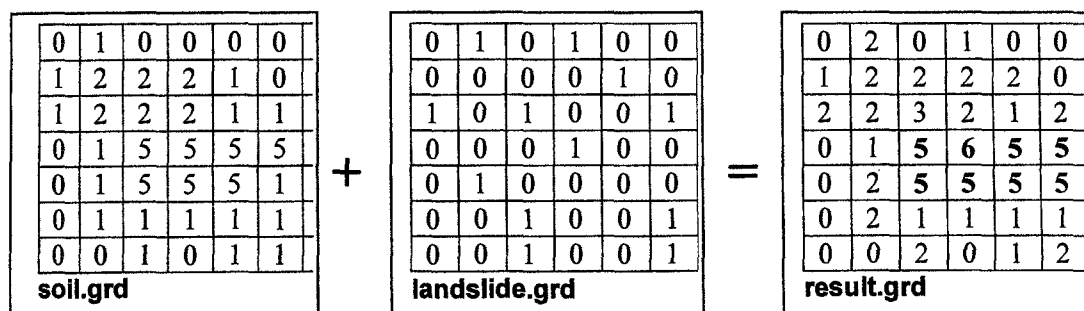


Рис. 2. Применение операции математического наложения. Выделенным шрифтом в результирующем покрытии показаны наиболее пригодные участки

Обратите внимание, как изящно можно реализовать такую модель средствами растрового калькулятора Spatial Analyst даже с учетом весовых коэффициентов каждого слоя (например, **0,5** – для почв и **0,85** – для оползневых явлений):

$$\text{soil.grd} * 0.5 + \text{landslide.grd} * 0.85$$

Впрочем, не стоит обольщаться и сразу пытаться поместить в выражение все имеющиеся факторы. Не забывайте, что впереди еще поиск ошибок и регулировка весовых коэффициентов. Поэтому составлять и отлаживать сложное выражение лучше поэтапно, добавляя факторы блоками по 3 – 4 слоя. Каждый блок при этом удобно выделять скобками.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Очень наглядным примером реализации данного подхода к комплексной оценке пригодности территории является процесс моделирования оптимальной трассы проектируемого трубопровода. Эта задача очень трудоемка для решения вручную, без применения современных технологий.

Применение средств пространственного анализа ГИС позволяет существенно расширить перечень анализируемых факторов, повышая вместе с тем оперативность и точность расчетов. При этом открывается возможность проводить оптимизацию трассы не в узком коридоре вдоль линии, принятой на этапе обоснования инвестиций, а по всей территории региона строительства. При выполнении оптимизации используются данные о рельефе, углах наклона и экспозиции склонов, кривизне поверхности, высотах, характеристиках грунтов, сейсмичности и геологическом строении, растительности и прочим характеристикам, примерный перечень которых дается в таблице 1.

Таблица 1

Перечень факторов, принимаемых в расчет при анализе трассы

№	Учитываемые факторы	Принцип классификации
1	Уклон местности (град)	по СНиП (<8; 8-18; >18)
2	Кривизна поверхности	экспертная оценка
3	Абсолютная высота (м)	экспертная оценка
5	Геологическое строение	экспертная оценка, СНиПы
6	Крепость грунтов (интегр. по слоям)	экспертная оценка
8	Военные объекты	есть/нет
9	Водоохранные зоны	есть/нет
10	Охраняемые территории	по степени запрета
11	Коммуникации	по удаленности от дорог
12	Инфраструктура территории	по стоим. земли
14	Промышленные объекты	уровню
15	Населенные пункты	по удаленности от н/п
16	Обвально-осыпные процессы	есть/нет
17	Лавинная опасность	есть/нет
18	Растительность в зоне строительства	по стоимости устранения
19	Наличие зон затопления	есть/нет
20	Наличие зон тектонических разломов	есть/нет

Ввиду значительного количества рассматриваемых факторов модель реализуется средствами растрового анализа ГИС. В процессе анализа десятки осложняющих строительство факторов группируются в соответствующие растровые слои в формате GRID. В пределах каждого слоя объекты классифицируются по степени влияния. Каждому слою (фактору) присваивается соответствующий весовой коэффициент. Таким образом, каждый пиксель слоя получает результирующее значение, состоящее из значения данного класса, умноженного на весовой коэффициент данного фактора.

Ценовые характеристики и степень влияния каждого фактора получают от экспертов, ранее принимавших участие в проектировании, строительстве и в последующей эксплуатации трубопроводов данного типа.

Суммарное значение стоимости каждого пикселя результирующего слоя определяется как сумма значений пикселей всех слоев с учетом их весовых коэффициентов. Наибольшие значения пикселей соответствуют наибольшей интегральной стоимости строительства. Использование функции CostPath (Spatial Analyst) позволяет построить по поверхности результирующего слоя путь наименьших затрат. Рассчитанная таким образом линия минимальных затрат может служить основой для детальной разработки трассы проектируемого трубопровода (рис. 3).

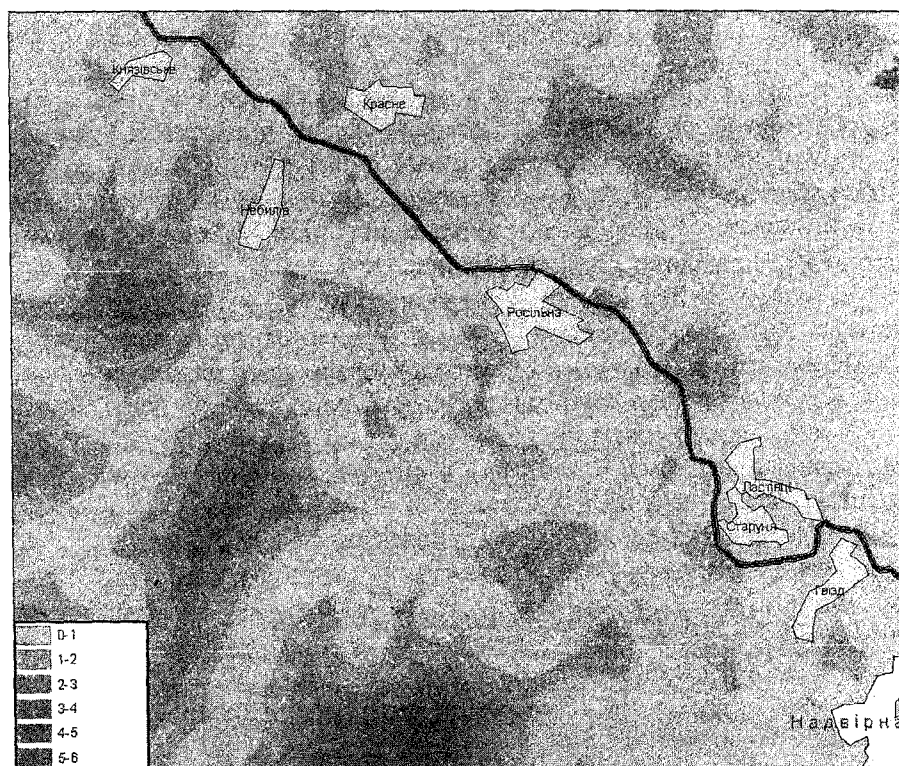


Рис. 3. Пример использования функции CostPath (Spatial Analyst) для определения пути наименьших затрат по результирующей поверхности затрат при проектировании трассы нефтепровода «Надвирна – Долина», проходящего по западным областям Украины

Статья поступила в редакцию 16 мая 2003 г