

УДК 910.1

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИС
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СТОИМОСТИ ТРАСС ПРОЕКТИРУЕМЫХ
КОММУНИКАЦИЙ**

Ищук А.А., Швайко В.Г., Курбацкий А.С.

При выборе вариантов проектируемых трасс коммуникаций специалисты решают целый ряд типовых задач, связанных с детальной оценкой физико-географических, ландшафтных, инженерно-геологических и др. условий исследуемой территории. В их числе, обычно определение реальной длины трассы с учетом рельефа; подсчет и классификация пересечений трассы с объектами гидрографии, дорожной сети и т.д.; оценка удаленности каждого участка будущего строительства от транспортных коммуникаций и населенных пунктов; учет удорожания строительства в зависимости от геологического строения и покрытия земли (пески, болота, выходы коренных пород и т.д.) и многие другие задачи, требующие кропотливого сопоставления пространственного положения различных объектов территории исследований.

Сложность и трудоемкость процесса определения такого рода параметров вынуждают исследователей ограничивать число исследуемых вариантов до 2-х – 3-х наиболее очевидных. По тем же причинам, оценка наиболее сложных характеристик на стадии выбора трассы производится только на качественном уровне (непригодно, условно пригодно, пригодно) или вовсе ограничивается двумя крайними категориями: «можно – нельзя».

Наряду с этим, возможности пространственного анализа современных аналитических систем класса ArcGIS, дают возможность автоматизировать такие трудоемкие операции как подсчет и классификация пересечений объектов, оценка удаленности и затрат на преодоление расстояний по дорожной сети или бездорожью, расчет интегрированной стоимости строительства и т.д. Кроме того, инструменты пространственного моделирования ГИС дают возможность комплексной оценки каждого элементарного участка исследуемой трассы с учетом широкого спектра характеристик территории [6].

Не случайно, в практике предприятий нефтегазовой промышленности и телекоммуникаций, ГИС сегодня находят все более широкое применение. Об этом свидетельствует и ряд публикаций в специализированных изданиях [1-5]. Однако, за исключением исследований российской компании РАО «РОСНЕФТЕГАЗСТРОЙ» [5], мало кто из исследователей обращает внимание на возможности применения растрового анализа ГИС в данной сфере. А ведь именно по этой схеме (ячейка сетки – элемент числовой матрицы) еще в 70-х – 80-х годах прошлого века эффективно применялись сеточные пространственные модели, позволяющие количественно

оценить в каждой точке пространства влияние многих факторов одновременно. Современные технологии позволили многократно увеличить разрешение сеток, автоматизировать процесс ввода данных и интерпретации результатов моделирования.

О применении растрового и векторного анализа ГИС для создания моделей пригодности территории подробно освещено в публикации «Концептуальные модели местности, как инструмент комплексной оценки территорий» [6]. Целью настоящей статьи является рассмотрение методических особенностей пространственного моделирования интегрированной стоимости объектов территории средствами растрового анализа ГИС на примере реального проекта центра «ГИС-Аналитик» по выбору трассы проектируемого газопровода Туркменистан-Украина.

Постановка задачи

При обосновании выбора трассы проектируемого газопровода Туркменистан-Украина ОАО «Нефтегазстрой-Украина» поручило Центру «ГИС Аналитик РИАЦ ИНТЕК» провести комплексную оценку нескольких вариантов трассы с целью выбора оптимального. Основным критерием оценки была определена интегрированная стоимость строительства трубопровода, то есть, стоимость с учетом влияния фиксированного набора характеристик территории.

В качестве области исследований была выбрана территория, вмещающая три предварительных варианта проектируемой трассы, предлагаемых заказчиком (рис.1):



Рис. 1. Варианты прохождения трасс проектируемого газопровода Туркменистан-Украина

- вариант обхода Каспийского моря с севера, с максимальным использованием существующих коридоров трубопроводов через Туркмению, Казахстан, Россию, Украину;

- вариант пересечения Каспийского моря, с выходом на нефтегазоносные районы и коридоры существующих трубопроводов Ставропольского края;

- вариант пересечения Каспийского моря с максимальным использованием существующих коридоров трубопроводов (осложняет данный вариант необходимость прохода через территорию сложной политической ситуации – Чеченскую республику).

Методически работа была подразделена на следующие этапы:

- подготовка информационной базы модели;
- моделирование поверхности интегрированной стоимости;
- пространственный анализ вариантов проектируемых трасс.

Интересно, что первые 2 этапа, являясь подготовительными, заняли около 80% времени реализации проекта. А вот последний – взрыв эффективности и многообразия решений. За ничтожно малое, по сравнению с традиционными методами, время исследователь получает возможность оценить практически неограниченное количество вариантов. По сути, время оценки каждого последующего регламентируется только временем ввода нового варианта трассы. Как здесь не вспомнить слова Мишеля Гудчильда, сотрудника Национального Центра Географической Информации и Анализа Калифорнийского университета: «Процесс пространственного анализа напоминает растяжение резиновой ленты, где долгая и тягучая работа по оцифровке элементов карт, формированию баз данных, выявлению ошибок и трансформированию информации в различные системы координат всплывает, наконец, эффективным результатом или находкой наилучшего решения».

Подготовка информационной базы модели.

Как правило, собранные пространственные данные находятся в различных форматах. Например, цифровая модель рельефа (ЦМР) может храниться как в виде растровой (GRID), так и в виде векторной (TIN) моделей данных. А вот результаты анализа рельефа (уклоны, аспекты, зоны видимости...) обычно получают в растровом виде. Аналогичный формат имеют такие отображения непрерывных явлений [7], как дистанционные поверхности, поверхности плотности загрязнения, глубин залегания подземных вод и т.д. Другая часть информации – элементы топографических или тематических электронных карт, полученные путем векторизации и др. – существует в векторном виде.

Подготовка информационной базы растровой модели обычно включает в себя три этапа: 1 – сбор и систематизация пространственных данных; 2 – приведение данных к растровому формату; 3 – реклассификация растровых покрытий для приведения к единой шкале категорий. Поскольку первый этап является обязательным элементом любого ГИС-проекта и не отражает методических особенностей растрового моделирования, в рамках данной публикации его рассмотрение можно опустить.

Приведение данных к растровому формату.

В ГИС применяется два основных способа приведения данных к растровому формату: интерполяция и конвертирование. При всем многообразии методов интерполяции суть данного процесса в современных ГИС сводится к расчету значений ячеек раstra непрерывной статистической поверхности по дискретным значениям векторных объектов (точек измерения, изолиний, границ или центроидов полигонов). Путем интерполяции в данном проекте были получены такие растровые покрытия как цифровая модель поверхности рельефа и ее производная – карта уклонов; дистанционные поверхности удаленности от транспортных коммуникаций, населенных пунктов, существующих месторождений и др.

При конвертировании векторных данных в растр мы, по сути, проводим пространственное наложение векторного покрытия на равномерную сетку (растр). При этом значения характеристик векторного покрытия автоматически присваиваются пикселям раstra, пространственно совпадающим с соответствующим векторным объектом. Обычно в растр переходят значения только одного значимого поля исходного покрытия. Например, типа растительности (рис. 2).

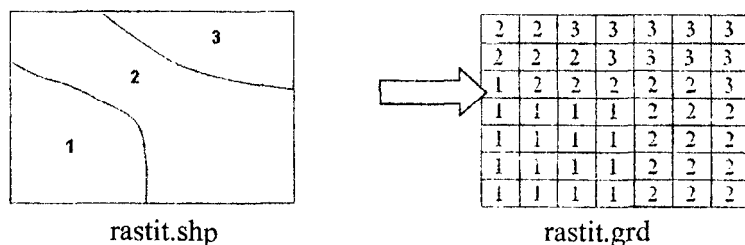


Рис.2. Конвертирование данных из векторного формата в растровый

Для решения задач данного проекта указанным способом были получены растровые покрытия типов растительности и почв, водных объектов, транспортных систем и инженерных коммуникаций с учетом категории; коридоров существующих трубопроводов, проходящих по территории Казахстана, Российской Федерации и Украины и др.

Реклассификация растровых покрытий.

Целью реклассификации является приведение всех растровых покрытий к единой шкале категорий. Например, категории пригодности или, как в данном случае, стоимости. Для оценок стоимости, как показал опыт наших работ, гораздо удобнее группам пикселей соответствующей категории присваивать значение коэффициентов изменения стоимости. Для выполнения данного проекта их величины были разработаны экспертами института Укргазпроект в соответствии с существующими строительными нормативами и опытом предыдущих исследований в данной области.

Известно, например, что строительство трассы на болотистых грунтах ведет к удорожанию проекта в 1,8 раза, а на песках – в 1,3 раза. Соответственно в растровом покрытии типов почв пиксели, расположенные в пределах болотистых грунтов должны получить значение 1,8, а в пределах песков – 1,3. Такого рода

преобразования необходимо провести со всеми растровыми покрытиями, участвующими в определении интегрированной стоимости трассы. Это даст возможность использовать каждый слой модели в качестве корректирующего множителя к исходной стоимости.

Моделирование поверхности интегрированной стоимости.

Пространственное моделирование выполнялось с помощью базовых средств растрового анализа, содержащихся в приложении Spatial Analyst ArcGIS 8.3.

Каждому слою назначался соответствующий корректирующий коэффициент, позволяющий учитывать и оперативно корректировать вклад каждого из факторов на формирование интегрированной стоимости.

Интегрированная стоимость определялась как функция от начальной стоимости трассы (стоимости, зависящей только от технических характеристик коммуникации) по формуле:

$$C_sum.grd = C_init.grd * (soil.grd * K1) * (transp.grd * K2)^*, \text{ где}$$

$C_sum.grd$ – результирующий растровый слой, каждый пиксель которого содержит вычисленную интегрированную стоимость строительства трассы в данной точке;

$C_init.grd$ – исходный растровый слой, каждый пиксел которого содержит начальную стоимость трассы без учета осложняющих строительство факторов;

$soil.grd$, $transp.grd$... – растровые слои, содержащие в каждом пикселе информацию о коэффициенте изменения стоимости в зависимости от класса содержащихся в них объектов (например, каждый пиксель, попадающий в площадь развития песков получает значение 1.3, болот – 1.8 и т.д.).

$K1$, $K2$... - корректирующие коэффициенты, позволяющие легко изменять влияние (вес) каждого фактора на интегрированную стоимость.

Скобки в данном случае не несут математической нагрузки, а являются элементами, помогающими визуально связать каждый фактор с его корректирующим коэффициентом.

Таким образом, в результате моделирования мы получаем в пределах площади исследований растровое покрытие, каждый пиксель которого содержит рассчитанное значение стоимости строительства трассы.

Пространственный анализ вариантов проектируемых трасс.

В процессе оценки стоимости каждого варианта трассы остается лишь найти сумму пикселей результирующего растрового слоя $C_sum.grd$, которые пересекаются линией очередного рассматриваемого варианта. Кроме цифры стоимости варианта исследователи получают результаты пространственного анализа, характеризующие различные аспекты расположения каждого из вариантов проектируемых трасс (Таблица 1).

Результаты пространственного моделирования, проведенного в рамках данного проекта, проиллюстрированы на рисунке 3. Как видим, самый длинный вариант оказался самым дешевым.

Таблица 1

Факторы, определяющие стоимость	ед. изм.	Маршрут № 1	Маршрут № 2	Маршрут № 3
Длина участков, попадающих в створ существующих коридоров	км	1420	700	1140
Максимальная транспортная удаленность (на суше)	км	15	11	12
Протяженность пересечения крупных водных преград	км	4	327	302
Количество пересечений крупных рек (30-100м)	шт	2	3	2
Количество пересечений мелких рек (<30м)	шт	15	12	10
Количество пересечений железных дорог	шт	5	8	7
Количество пересечений автострад и улучшенных шоссе	шт	0	6	3
Количество пересечений шоссе	шт	4	10	7
Количество пересечений улучш. грунтовых и грунтовых дорог	шт	15	34	14
Участки, проходящие по лесам	км	14	14	49
Участки, проходящие по болотистым почвам	км	40	39	25
Участки, проходящие по пескам	км	544	395	285
Средний угол наклона	град	0	1	1
Максимальный угол наклона	град	4	5	7
Участки с уклонами более 18 град	%	0	0	0
Участки с уклонами 8 - 18 град	%	0	0	0
Участки с уклонами менее 8 град	%	100	100	100
Высота средняя	м	73	74	88
Высота максимальная	м	336	336	506
Высота минимальная	м	-117	-126	-176
Длина маршрута	км	2251,86	1881,58	2008,99

* Поскольку результаты данного исследования являются собственностью ОАО Нефтегазстрой-Украина, приведенные на данном рисунке значения отражают лишь относительные соотношения реальных затрат на строительство каждого варианта.

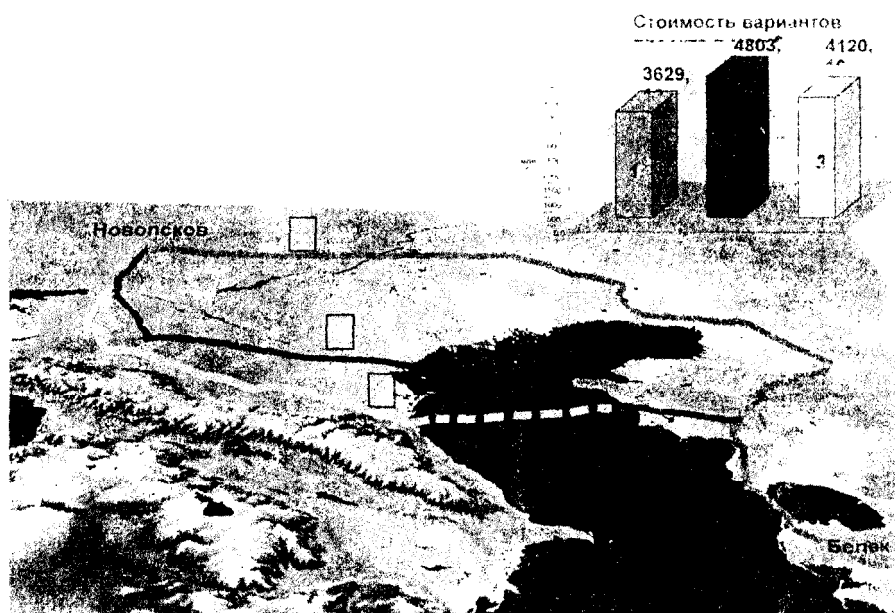


Рис. 3. Оценки стоимости* вариантов трасс

Список литературы

1. Гончаренко С.В., Гуральник М.Л., Фетман Н.Я., О некоторых подходах в проблеме ГИС и инженерные сети // Информационный бюллетень ГИС Ассоциации России №5(12) 1997г. - С. 28
2. Материалы Первого учебно-практического семинара «Инженерные коммуникации и ГИС», Москва, 14-17.10 1997 г.
3. Ю.Королев, И. Кащинекая, ГИС и телекоммуникации // ArcREVIEW №1 (8), ДАТА+, г. Москва, 1999 г. - С.7-8
4. А. Глазовский, Выбор маршрута нефтепровода Баку - Джейхан // ArcREVIEW №4 (27), ДАТА+, г. Москва, 2003 г. - С. 15
5. Корсей С.Г., Дьякова Н.Б., ГИС-технологии в трубопроводном транспорте // ArcREVIEW №1(24), ДАТА+, г. Москва, 2003 г. - С. 20-21
6. А.А. Ишук, Коннегуальные модели местности, как инструмент комплексной оценки территорий // Ученые записки Таврического университета им. В.И. Вернадского, т.15 (54), №1, География, 2002 г. - С. 94-101.
7. О.О. Ишук, М.М. Коржнев, О.С. Кошляков, Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : Навчальний посібник // За ред. акад. Д.М. Гродзинського. К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2003. - С 119-123.

Статья поступила в редакцию 13 мая 2004 г.