

## ГЕОИНФОРМАТИКА

## Метод автоматизированного формирования системы пространственно-распределенных трасс линейно-протяженных объектов на неосвоенных или малоосвоенных территориях с использованием геоинформационных технологий

**The automated formation of the system of the spatially-distributed slopes of the linear objects on developed or under-developed areas using gis-technologies**

**Ключевые слова:** линейно-протяженный объект – linear-extended object; концептуальная информационная модель – conceptual information model; квалиметрическая оценка – qualimetric evaluation; дерево свойств – the properties tree; экспертный метод парных сравнений – the expert method of pair comparisons; алгоритм Дейкстры – Dijkstra's algorithm.

В статье рассматривается метод автоматизированного формирования системы пространственно-распределенных трасс линейно-протяженных объектов с использованием геоинформационных технологий, основанный на принципах квалиметрической оценки сложноорганизованных объектов и алгоритме Дейкстры для нахождения оптимального маршрута трассы.

The article considers the method of automated formation of system of the spatially-distributed slopes of the linear objects with the use of geoinformation technologies, based on the principles of qualimetric evaluation of complex objects and Dijkstra's algorithm for finding the optimal route.

В настоящее время одним из важнейших направлений хозяйственной деятельности в пределах неосвоенных и малоосвоенных территорий является прокладка новых трасс линейно-протяженных объектов, под которыми понимаются инженерные сети (газопроводы, теплосети, линии ЛЭП), дороги и другие объекты, характе-

**КАРМАНОВ / KARMANOV D.**

**Дмитрий Викторович**

(kdemo@yandex.ru)

кандидат технических наук, заместитель генерального директора ЗАО «Институт телекоммуникаций» по разработке геоинформационных систем, Санкт-Петербург

**ОСИПОВ / OSIPOV A.**

**Алексей Георгиевич**

(zoyaks@yandex.ru)

кандидат географических наук, преподаватель кафедры картографии Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

ризующиеся значительным превышением длины над шириной.

При создании трасс линейно-протяженных объектов оказываются негативные воздействия на окружающую природную среду, основными из которых являются: 1) механическое повреждение и сведение растительного покрова в полосе строительства, в том числе вырубка ценных пород деревьев; 2) нарушение режима обитания диких животных и традиционных путей их миграции; 3) сокращение пастбищных площадей; 4) загрязнение поверхностных и грунтовых вод и т.д.

Например, при сведении растительного покрова увеличивается протаивание грунта и как следствие активизируются эрозионные процессы, так в тундре и лесотундре на трассах линейно-протяженных объектов проложенных по песчаным и супесчаным грунтам скорость роста оврагов достигает 15–20 м. в год, что приводит к деградации почвенного и растительного покровов.

Исходя из вышеизложенного следует, что одной из актуальнейших задач предпроектных исследований при создании трасс линейно-протяженных объектов является выбор экологически безопасного и экономически обоснованного маршрута трассы, заключающийся в оптимизации прокладки линейного объекта по заданным критериям между двумя или более точками.

Для решения этой задачи необходима разработка научно-методических основ как оценки пригодности территории для прокладки трассы с учетом экономических и природоохранных факторов, так и выбора оптимального маршрута трассы с учетом заданных ограничений. Эта оценка должна выполняться на основе картографической информации с использованием геоинформационных технологий, позволяющих в интерактивном или автоматизированном режимах обрабатывать в короткие сроки большие объемы пространственно-распределенной информации и представлять результаты обработки в виде специальных карт различного тематического содержания.

В настоящей статье изложен метод автоматизированной подготовки предпроектных решений о возможных маршрутах прокладки трасс линейно-протяженных объектов в пределах неосвоенных и малоосвоенных территорий с использованием геоинформационных технологий. Он является одной из мер, направленных на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей природной средой, обеспечивающих сохранение и восстановление природных ландшафтов, снижающих прямое или косвенное влияние результатов антропогенной деятельности на природу и здоровье человека.

В основу разработанного метода заложены следующие принципы:

1) *принцип системности*. Оценка природной среды и выбор трассы линейно-протяженного объекта должны базироваться на теории системного анализа. Реализация данного принципа обеспечивает рассмотрение каждого показателя, участвующего в оценке не изолированно, а в виде одного из элементов создаваемой природно-технической системы.

2) *принцип экологической безопасности*. При оценке пригодности территории должна учитываться устойчивость природной среды к антропогенным нагрузкам, возникающим как в период строительства линейно-протяженного объекта, так и в период его эксплуатации.

3) *принцип приоритетности оцениваемых показателей*. При оценке должна учитываться степень влияния каждого показателя на пригодность территории для прокладки трассы линейно-протя-

женного объекта, т.е. должно быть выполнено ранжирование оцениваемых показателей по их важности.

3) *принцип единства оценки*. Оценка в пределах всей трассы линейно-протяженного объекта должна производиться по одним и тем же показателям (их виду и числу), имеющим единые квалитетические шкалы (оценочные градации). При этом число градаций должно выбираться таким образом, чтобы обеспечивалась достоверность оценки.

4) *принцип экономической целесообразности*. Выбор трассы линейно-протяженного объекта должен осуществляться с учетом экономических факторов, обеспечивающих минимизацию затрат на выполнение строительных работ и эксплуатацию трассы.

Сущность метода автоматизированной подготовки предпроектных решений о возможных маршрутах прокладки трасс линейно-протяженных объектов в пределах неосвоенных и малоосвоенных территорий состоит в оценке пригодности природных ландшафтов для прокладки трассы в условиях информационного дефицита и автоматизированном выборе оптимального маршрута с использованием геоинформационных технологий. Его структурно-логическая схема включает в себя шесть основных блоков (рис. 1).

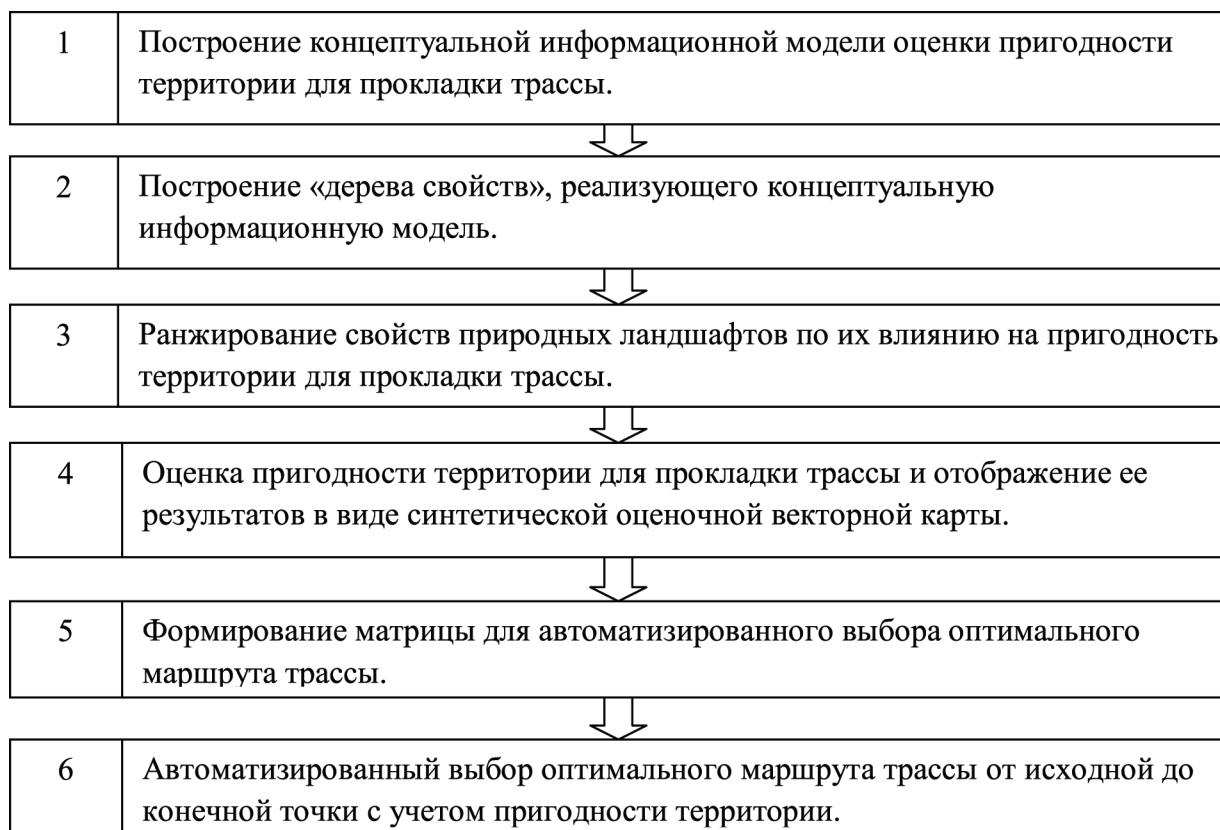
Кратко рассмотрим содержание каждого из них.

*Построение концептуальной информационной модели оценки пригодности территории для прокладки трассы*. Включает в себя определение перечня свойств природных ландшафтов, характеризующих пригодность территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта. Для решения этой задачи необходимо формализовать на уровне обобщенного представления информационное содержание предметной области, которое представляет собой концептуальную информационную модель. Процесс построения концептуальной модели сводится к разбивке предметной области на ряд локальных участков, получению локальных моделей и объединению их путем абстрагирования в обобщенную модель.

В качестве примера, содержание предметной области может быть разбито на участки локальных свойств на основе природных факторов, которые объединены в следующие группы:

1. характеристики рельефа;
2. грунт;
3. гидрологические особенности ;
4. растительность;
5. опасные природные явления;
6. инфраструктура территории.

# ГЕОИНФОРМАТИКА



**Рис. 1.** Структурно-логическая схема метода автоматизированной подготовки предпроектных решений о возможных маршрутах прокладки трасс линейно-протяженных объектов на неосвоенных и малоосвоенных территориях

*Построение «дерева свойств», реализующего концептуальную информационную модель.* Дерево свойств представляет собой иерархическую структуру, в которой свойства вышестоящих уровней связаны со свойствами нижестоящих уровней, являющихся первичными [1, 2, 3]. Самый нижний нулевой уровень дерева свойств является комплексным свойством, характеризующим степень пригодности территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта. Разбиение свойств производится до тех пор, пока не образуется уровень, содержащий либо элементарные свойства, которые нельзя дальше делить, либо квазиэлементарные свойства которые делить уже нецелесообразно.

*Ранжирование свойств природных ландшафтов по их влиянию на пригодность территории для прокладки трассы.* Процесс ранжирования свойств включает в себя два этапа: 1) определение ненормированных коэффициентов весомости (важности) свойств природных ландшафтов по их влиянию на пригодность территории для прокладки трассы; 2) расчет нормированных коэффициентов весомости (важности).

Ненормированные коэффициенты определяются для всех свойств участвующих в оценке, для этого используется экспертный метод парных сравнений, подробно изложенный в работе [4]. Его выбор обусловлен простотой проведения экспертизы и достоверными результатами экспертного анализа. При реализации данного метода экспертам последовательно предъявляются пары альтернатив, в каждой из которых предлагается выбрать более предпочтительное решение. После проведения экспертизы рассчитывается относительная согласованность мнений экспертов, которая сравнивается со средними согласованностями, определенными для случайных матриц, если расхождение между ними находится в интервале от 0 до 10%, то результаты экспертного опроса считаются приемлемыми, в противном случае экспертам предлагается пересмотреть свои суждения.

Нормированные коэффициенты весомости (важности) свойств рассчитываются путем перемножения средних ненормированных коэффициентов весомости отдельных свойств иерархически связанных друг с другом на дереве свойств, для этого используется следующая зависимость:



$$P_j = \bar{P}_{j1} \times \dots \times \bar{P}_{jn}, \quad (1)$$

где  $P_j$  – нормированный коэффициент весомости (важности)  $j$ -го элементарного (квазиэлементарного) свойства;  $\bar{P}_{j1}, \bar{P}_{jn}$  – средние ненормированные коэффициенты весомости (важности)  $i$ -го и  $n$ -го уровней «дерева свойств» иерархически связанных в пределах одной ветви с  $j$ -м элементарным (квазиэлементарным) свойством;  $n$  – количество уровней в дереве свойств.

*Оценка степени пригодности территории для прокладки трассы и отображение ее результатов в виде синтетической оценочной векторной карты.* Оценка степени пригодности территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта включает в себя создание для каждого элементарного и квазиэлементарного свойства аналитической электронной факторной карты, под которой понимается графическое отображение пространственно-привязанной информации о пригодности территории по анализируемому свойству. Затем путем суммирования аналитических факторных карт с использованием операции «топологический оверлей», изучаемая территория делится на расчетные участки, представляющие собой однородные элементарные ареалы, в пределах, которых каждый из анализируемых элементарных и квазиэлементарных свойств имеет только одно значение.

Степень пригодности расчетного участка для прокладки трассы, определяется путем суммирования произведений нормированных коэффициентов весомости (важности) элементарных и квазиэлементарных свойств его характеризующих на относительные значения их показателей. Расчеты производятся по следующей зависимости [3]:

$$K_p^0 = \sum_{j=1}^n R_{pj} \times P_j, \quad (2)$$

где  $K_p^0$  – показатель, характеризующий степень пригодности  $p$ -го расчетного участка для прокладки трассы линейно-протяженного объекта;  $R_{pj}$  – относительное значение показателя характеризующего  $j$ -ое элементарное (квазиэлементарное) свойство  $p$ -го расчетного участка;  $P_j$  – нормированный коэффициент весомости (важности)  $j$ -го элементарного (квазиэлементарного) свойства.

Самой высокой степенью пригодности обладает тот расчетный участок, у которого показатель  $K_p^0$  имеет наибольшее значение. Индекс «0» при показателе  $K_p^0$  означает, что оценка дается применительно к самому низкому (нулевому) уровню в иерархии свойств, т.е. применительно

к степени пригодности расчетного участка в целом. При этом соотношение оценок пригодности расчетных участков для прокладки трассы будет точно отражать действительность только в том случае, когда их оценка производится по полному дереву свойств, без исключения из него свойств одинаковых в сравниваемых расчетных участках.

Относительные значения показателей элементарных и квазиэлементарных свойств рассчитываются согласно следующим зависимостям:

$$R_{pj} = W_{pj} / W_{jэ} \quad \text{при } W_{pj} < W_{jэ}, \quad (3)$$

$$R_{pj} = W_{jэ} / W_{pj} \quad \text{при } W_{pj} > W_{jэ}, \quad (4)$$

где  $R_{pj}$  – относительное значение показателя характеризующего  $j$ -ое элементарное (квазиэлементарное) свойство  $p$ -го расчетного участка;  $W_{pj}$  – абсолютное значение показателя характеризующего  $j$ -ое элементарное (квазиэлементарное) свойство  $p$ -го расчетного участка;  $W_{jэ}$  – эталонное абсолютное значение показателя характеризующего  $j$ -ое элементарное (квазиэлементарное) свойство, т.е. лучшее для прокладки трассы линейно-протяженного объекта в пределах изучаемой территории;  $R_{pj}$  – изменяется в пределах от 0 до 1 ( $0 < R_{pj} < 1$ ).

Для получения более точных относительных значений показателей, характеризующих элементарные и квазиэлементарные свойства, приведенные выше линейные зависимости, следует заменить нелинейными.

Абсолютные значения показателей определяются двумя способами: 1) количественными методами, если возможны измерения анализируемого показателя; 2) качественными методами, если показатель не поддается методам физических измерений.

По результатам оценки создается электронная векторная синтетическая карта пригодности территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта.

*Формирование матрицы для автоматизированного выбора оптимального маршрута трассы.* Для выбора оптимального маршрута трассы необходимо электронную синтетическую карту пригодности территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта перевести из векторной в регулярно-ячеистую модель данных, которая представляет собой совокупность регулярных пространственных (территориальных) ячеек правильной геометрической формы. Она основана на способах квантования пространства с помощью регулярных сеток, каждый элемент

которых может быть описан неограниченным набором атрибутов. Важным свойством регулярно-ячеистой модели данных является неразрывная связь между пространственной и атрибутивной информацией в единой прямоугольной матрице, положение элементов которой определяется номерами строки и столбца.

Пространственным разрешением регулярно-ячеистой модели является величина принятой ячейки. В зависимости от решаемой задачи она может изменяться от 1 метра до нескольких сотен метров. Конечные размеры ячеек регулярной сетки зависят как от желаемой точности модели, так и от технических возможностей вычислительной техники.

Преобразование векторной модели пространственных данных в растровую модель **называется растеризацией**. При растеризации необходимо, чтобы набор атрибутов оставался постоянным в пределах одной ячейки, однако, в общем случае, граница ареалов не попадает ни в один из узлов регулярной сетки, поэтому необходимо предусмотреть методику выбора наиболее «значимой» характеристики данного участка для назначения ячейке. Наиболее адекватным является метод ранжирования характеристик всех попадающих характеристик в пределах одной ячейки и выбор характеристики с наибольшей площадью.

*Автоматизированный выбор оптимального маршрута трассы от исходной до конечной точки с учетом пригодности территории.* Для нахождения оптимального маршрута трассы применяется алгоритм Дейкстры, позволяющий определять кратчайшее расстояние от одной из вершин графа до всех остальных. Поскольку степень пригодности территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта представлена в дискретном виде, для использования этого алгоритма была определена связность ячеек сетки в виде шаблона «ферзя», что позволяет минимизировать целевую функцию. При этом основными правилами построения графа связности ячеек сетки являются: 1) центры ячеек сетки служат узлами графа; 2) связи между соседними ячейками служат дугами графа. Граф связности строится как соединение фиксированного количества соседних ячеек сетки его дугами. Присваивание степени пригодности территории для прокладки трассы линейно-протяженного объекта на каждой дуге осуществляется по изотропной модели, в которой все значения пригодности рассчитываются с учетом местоположения узла на сетке.

### Литература

1. *Азгальдов Г.Г.* Теория и практика оценки качества товаров. – М.: Экономика, 1982. – 135 с.
2. *Арефьев Н.В.* Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика / Н.В. Арефьев, В.П. Бреусов, Г.К. Осипов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 533 с.
3. *Осипов А.Г.* Многокритериальная оценка земельных ресурсов на основе квалиметрического анализа // Региональная экология – 2003. – № 1-2. – С. 31 – 39.
4. *Осипов Г.К., Присяжнюк А.С., Осипов А.Г., Симонов Ю.Н.* Методика формирования плана создания открытых цифровых навигационных карт и планов городов на территорию Российской Федерации // «Информация и космос» №1–2013– С. 41 – 48.