

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАССЫ ТРУБОПРОВОДА НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА

П.Е. Каргашин, Б.А. Новаковский, В. А. Чепайкин, М.А. Каргашина
Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова, Географический факультет,
кафедра картографии и геоинформатики
Москва, Россия,
p.e.kargashin@mail.ru, dcaph@mail.ru, chepaykin_vit@mail.ru, m.kargashina@mail.ru

PIPELINE ROUTING BASED ON GIS-ANALYSIS

P. E. Kargashin, B.A. Novakovskiy, V. A. Chepaykin, M.A. Kargashina
Lomonosov MSU, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics
Moscow, Russia, Москва, Россия,
p.e.kargashin@mail.ru, dcaph@mail.ru, chepaykin_vit@mail.ru, m.kargashina@mail.ru

Abstract. The fuel and energy complex of the country depends on the development of the transport system. Pipelines are the most economic type of hydrocarbon transportation. But its construction takes a lot of time. Errors on any stage of pipeline construction lead to negative material, environmental, and political consequences. Nowadays GIS can help with pipeline route direction and minimize its influence on the environment. Recommended methods of analysis are adapted to several Russian regions – Yakutia, Amur and Chita regions.

Перемещение углеводородного сырья осуществляется различными видами транспорта: трубопроводным, железнодорожным, водным, автомобильным. Каждый из данных видов транспорта имеет свои экономические преимущества, обусловленные объемом перевозимой продукции, дальности её доставки, а также транспортной инфраструктурой территории прохождения маршрута. Основным видом стал трубопроводный транспорт, вследствие низкой себестоимости, удобства эксплуатации, высокой степени автоматизации процесса, а также всесезонности.

Решение о проектировании и строительстве магистральных трубопроводов принимают, когда выявлены или имеются перспективные углеводородные месторождения, сырье которых целесообразно подавать в районы для дальнейшей переработки или другого использования. Намеченные принципиальные направления транспортирования углеводородов требуют технико-экономического обоснования (ТЭО), выполненного на основании утвержденной схемы развития топливно-энергетической промышленности и подтверждающего экономическую эффективность капитальных вложений и хозяйственную необходимость проектирования и строительства магистральных трубопроводов.

Главными задачами ТЭО являются: выбор оптимальной трассы, определение мест расположения перекачивающих станций, расчет капитальных вложений, эксплуатационных издержек, приведенных затрат и так далее. При составлении такого обоснования необходимо иметь представление о начальной и конечной точке магистрального трубопровода. Предварительно они определяются путем сложных гидравлических расчетов, однако впоследствии, после выбора оптимальной трассы трубопровода, они уточняются. Кроме того, стоит отметить, что на начальных стадиях проектирования выбор расположения площадок перекачивающих станций не предусматривается. Предполагается, что при любом варианте прохождения трассы расстояние между перекачивающими станциями должно быть равно оптимальному. Оптимальная дистанция определяется по результатам гидравлических расчетов, где в качестве исходных параметров выступают диаметр труб и производительность трубопроводной системы.

Анализ основных факторов, влияющих на стоимость единицы длины трубопроводов показывает, что они подразделяются на два типа: непосредственно технические параметры трубопроводов (диаметр, рабочее давление, конструктивные схемы укладки и так далее) и факторы окружающей среды (природные и экономико-географические условия). Именно эти два типа в конечном итоге влияют на стоимость сооружения линейной части и на выбор окончательного маршрута трассы. При этом очевидно, что на этапе предварительного проектирования именно трассы трубопровода учет факторов окружающей среды является определяющим.

Таким образом, для проектирования трассы трубопровода на основе геоинформационного анализа перед нами стоит задача определения всего многообразия факторов природного и антропогенного происхождения, влияющих на маршрут трассы, следовательно, на ее длину и, соответственно, на удорожание строительства. Перспективным подходом к решению этой задачи является учет и анализ всех ныне действующих нормативно-правовых актов, регламентирующих все этапы строительства и эксплуатации трубопроводных систем. В первую очередь речь идет о СНиП 2.05.06-85 (2000) «Магистральные трубопроводы», федеральном законе Российской Федерации №7 «Об охране окружающей среды», Лесном и Водном Кодексах РФ, а также о ряде других СНиПов, федеральных законах и сводах правил. Кроме того, стоит учесть, что на данный момент нет полностью разработанных и единогласно принятых классификаций, характеризующих географические особенности различных типов природных факторов и их взаимосвязей,

которые учитывали бы профильные нормативные законодательные акты Российской Федерации и могли бы полностью обеспечить математические решения автоматизированного трассирования трубопроводов.

Также на данный момент в свободном доступе практически отсутствуют среднemasштабные тематические карты, позволяющие дать полную характеристику тестового полигона даже в устаревшем варианте. Кроме того, в свободном доступе нет конкретных цифр, показывающих стоимостные характеристики влияния факторов окружающей среды на строительство трубопроводов. Учитывая вышеизложенные проблемы, решено разработать собственную методику, которая учитывала бы данные проблемы и нивелировала бы их последствия.

Выполнение такого исследования невозможно без проведения ряда экспериментов на тестовых участках в различных масштабах. На выбранной территории обязательно должен находиться уже существующий или спроектированный магистральный трубопровод с четко фиксируемыми точками начала и конца трассы. Для данного эксперимента началом и концом тестового участка трубопровода могут являться и промежуточные перекачивающие станции. Кроме того, важно, чтобы изучаемая территория находилась в достаточно разнородной природной среде. Данное обстоятельство позволит проверить работу методики с дифференцированными данными. Такой территорией, на наш взгляд, является территория, включающая в себя несколько субъектов Российской Федерации: юго-западную часть Республики Саха (Якутия), северную часть Читинской области, восточную часть Иркутской области, а также северо-восток Республики Бурятия. Помимо достаточно разнообразных природных факторов окружающей среды присущих данному полигону, важной его особенностью является прохождение на его территории трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан», а также наличие планов по строительству вдоль него нитки газопровода.

Нами были выделены компоненты окружающей среды, оказывающие влияние на строительство трубопровода на данной территории: рельеф, тектонические разломы и сейсмическая активность, гидрографическая сеть, грунты, растительность, антропогенные объекты. Как видно, первые пять компонентов имеют природное происхождение. Однако целесообразно выделить также категорию объектов запретных для строительства, в которую могут попасть как природные, так и антропогенные объекты. В эту категорию следует отнести Государственный природный заповедник «Олекминский».

При проведении геоинформационного анализа важно выделить эталон строительства трубопровода у данной местности. За идеальный участок для строительства мы принимаем территорию, для которой нет законодательных и финансовых предпосылок для увеличения стоимости проекта на конкретно взятом участке местности.

Идеальная территория характеризуется по всем компонентам природной среды и ее параметры определены на основе строительной нормативной документации и справочника базовых цен. В СНиПах существуют классификации условий для строительства трубопроводов и для идеального участка выбираем минимальные значения для каждого фактора природной среды. В ряде случаев необходимо воспользоваться справочником базовых цен для уточнения характеристик идеальной территории, то есть такие условия, где затраты на строительство будут самыми низкими.

То есть, под идеальной для строительства территорией следует понимать плоскую или слабоклонную поверхность (уклон до пяти градусов) с луговой растительностью, без водных объектов, не заболоченную, не сложенную вечномерзлыми грунтами, с сейсмичностью менее 6 баллов, не занятую какими-либо антропогенными объектами. Для всех участков, не удовлетворяющих заданным критериям необходимо ввести специальный коэффициент, показывающий осложнение строительства в таких условиях.

Стоит отметить, что весовые коэффициенты к природным факторам задавались с учетом ранее выполненных работ по сходной тематике, анализа ГОСТов и СНиПов, «Справочника базовых цен на проектные работы» и специализированной литературы, а также экспертной оценке проектировщиков и строителей нефтепровода «ВСТО». Большинство весовых коэффициентов получено расчетным путем. По «Справочнику базовых цен на проектные работы» взяты стоимостные характеристики прокладки трубопровода, относительная разность которых в процентном отношении и является искомой величиной. Стоит отметить, что осложняющий коэффициент распространяется не только на сам природный или антропогенный фактор, но еще и на буферную зону вокруг него, которая дается в соответствии с действующими законодательными актами. Таким образом, весовые коэффициенты задаются как процент увеличения стоимости прокладки трубопровода на территории, осложненной для строительства конкретным природным или антропогенным фактором, по сравнению с идеальной территорией для прокладки.

Подробнее рассмотрим выделенные нами факторы. Рельеф местности может значительно осложнить строительство трубопровода. Для данной работы в качестве осложняющего элемента был выбран уклон местности – согласно СНиП этот показатель делится на 7 градаций, которым согласно расчетам добавляется усложняющий коэффициент [Рыльский, 2009].

К опасным явлениям и процессам на изучаемой территории мы отнесли землетрясения, а, следовательно, и связанные с ними тектонические разломы. Так как общепризнанной карты сейсмической активности на территории России нет, то в качестве карты сейсмической опасности использованы данные [Имаев, Имаева, Гриб, 2008], позволяющие выявить зоны возникновения очагов землетрясений и определить параметры их сейсмического потенциала. Итого выделено 6 градаций.

Грунты влияют как на условия строительства, так и на последующую эксплуатацию трубопроводных систем. Особенно большую значимость данному фактору на изучаемой территории придает распространение на большей части полигона многолетнемерзлых грунтов и различных типов болот. Для данного фактора выделено 6 градаций.

Гидрографическая сеть. Реки и озера всех типов, встречающихся на территории, являются естественными преградами. Как правило, пересечение водного объекта ведет к значительному удорожанию строительства в точке перехода и, кроме того, Водный кодекс РФ предусматривает различные санитарные зоны водоемов, что также ведет к усложнению строительства. Анализ показателей позволил выявить 7 градаций.

Наличие на территории кустарниковой или, тем более, древесной растительности ведет к удорожанию строительства. Вызвано это, прежде всего, необходимостью валки леса, его вывоза, корчевания и утилизации, а также отнесением леса к различным категориям и формам собственности. Осложняющие коэффициенты определены для 6 градаций и даны на основании породного состава растительности (древесные, кустарниковые породы, гари, вырубки и так далее).

Последний из рассматриваемых факторов – антропогенные объекты. Вокруг всех объектов антропогенного происхождения есть запретная для строительства зона и они должны быть обойдены при трассировании на определенном расстоянии. В некоторых случаях антропогенные объекты имеют только осложняющий коэффициент (например, угольный разрез «Нерюнгринский»). Стоит отметить, что линейные антропогенные объекты отнесенные в ранг запретных для строительства, подразумевают, что запрет на строительство в буферной зоне возможен только если трубопровод проходит параллельно данному объекту, однако если прокладка трубопровода происходит под углом свыше 60 градусов, то оно возможно. Данный факт необходимо учитывать при непосредственном трассировании на этапе технико-экономического обоснования.

Таким образом, для проектирования трассы трубопровода создан перечень факторов, значительно влияющих на удорожание строительства. Для их учета при проведении эксперимента они были поделены на несколько градаций на основе нормативной и технической документации. Как видно, рассмотрено большое количество природных и антропогенных характеристик территории, что позволит качественно выполнить поставленную задачу. При этом необходимо отметить, что все представленные факторы различного происхождения полностью соответствуют нормативным законодательным актам, регулирующим строительство трубопроводов, являются необходимым и достаточным, минимумом для реализации задачи автоматизированного трассирования маршрута трубопровода.

Необходимо отметить, что для выполнения задачи проектирования трассы трубопровода на основе геоинформационного анализа все вышеуказанные данные, а также сопутствующие им метаданные, после их обработки и согласования, внесены в созданную в программном пакете ArcGIS тематическую базу данных (рис.1). Далее проводились работы по созданию первичных и итоговых GRID-поверхностей территории по осложняющим строительству коэффициентам (рис.2).



Рис.1. Принципиальная схема тематической базы данных

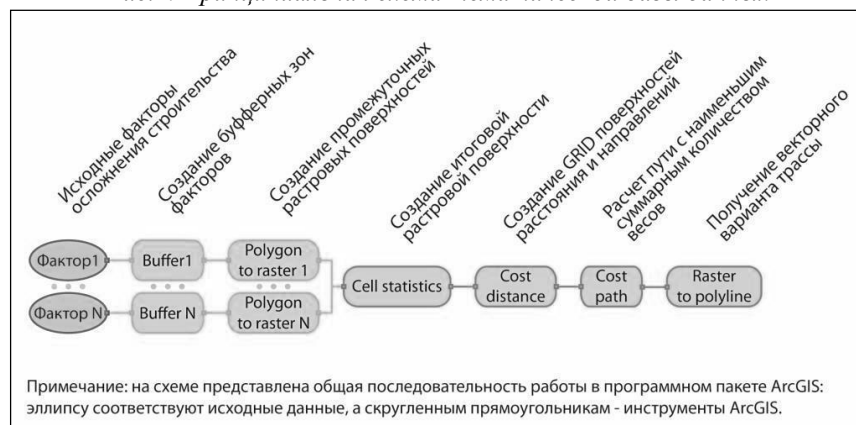


Рис.2. Принципиальная схема использования инструментов ArcGIS для автоматизированного проектирования трассы трубопровода

Полученные растровые слои были суммированы, то есть складывались значения соответствующих ячеек раstra. В результате были получены промежуточные GRID-поверхности, которые характеризовали территорию с точки зрения осложнения строительства трубопровода конкретными природными или антропогенными факторами (например, GRID-поверхность осложнения прокладки трубопровода за счет сейсмичности и тектонических разломов). Затем промежуточные весовые поверхности суммировались в окончательную GRID-поверхность, по которой и производилась автоматизированное нахождение трассы трубопровода.

Таким образом, в результате выполнения комплекса работ, включающего как обработку исходных данных, так и непосредственно автоматизированное трассирование трубопровода, получен оптимальный с точки зрения законодательства и финансовых вложений маршрут трассы трубопровода.

Такой подход апробирован нами на имеющихся фактических данных. Удачным способом проверки является сравнение созданной по предложенной методике трассы с уже существующей. Поэтому в качестве тестового объекта была выбрана территория между населенными пунктами Ленск и Сковородино, чтобы сравнить полученные результаты с участком существующей трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан».

После выполнения всех операций был получен первый вариант трассы трубопровода (рис.3). Как видно трасса этого варианта в целом отражают рисунок трассы нефтепровода «ВСТО». Однако можно заметить, что в первом варианте на определенном отрезке пути трасса, полученная автоматизированным путем, делает крюк, приближая трассу к «Г-образной» форме. После анализа всех факторов был сделан вывод о том, что данная форма трассы напрямую связана с сейсмическими характеристиками территории: большая часть маршрута проложена по территории с меньшей сейсмичностью (рис.4). Именно поэтому и было принято решение об изменении расчетных весовых значений для фактора сейсмичности и создания второго варианта трассы.

Видно, что второй вариант трассы более сильно коррелирует с существующей трассой нефтепровода «ВСТО», однако он смещен к югу, что приближает трубопровод к Олекминскому заповеднику (минимальное расстояние – 10 километров, в то время как от ВСТО до заповедника 30 километров). Но учитывая, что все реки, которые пересекает второй вариант полученной трассы, либо сами текут, либо впадают в реки текущие в обратном от заповедника направлении, становится понятно, что вероятность загрязнения углеводородами территории заповедника вследствие аварии чрезвычайно низка.

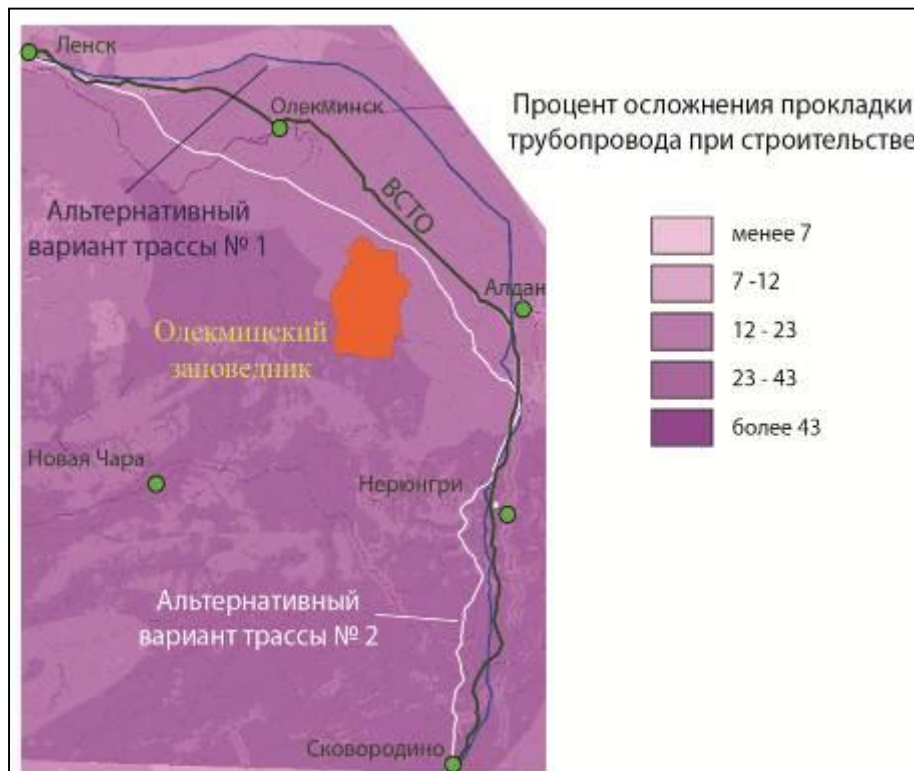


Рис.3. Положение двух вариантов трассы трубопровода относительно существующего

МОДЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

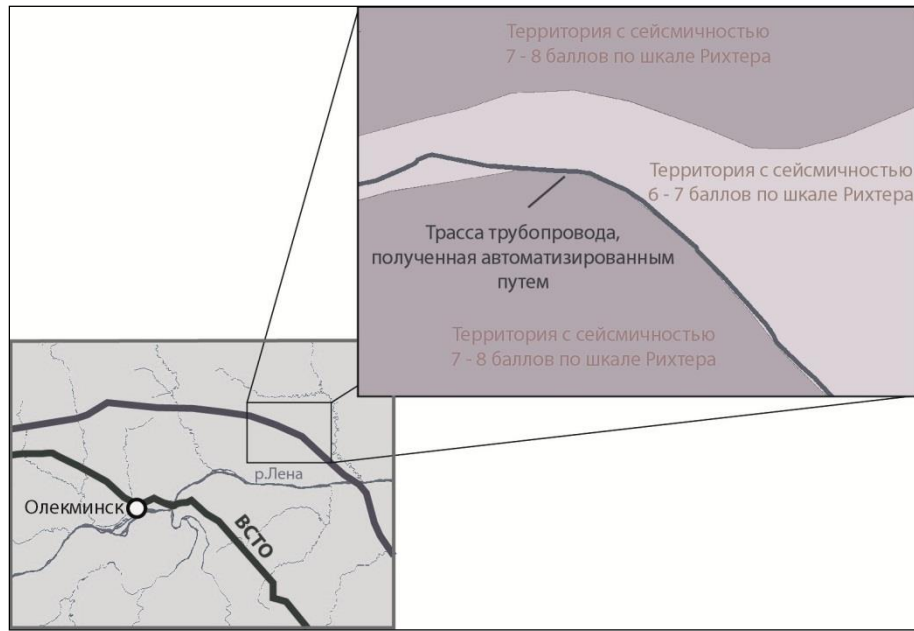


Рис.4. Приуроченность альтернативной трассы трубопровода к территории с меньшей сейсмичностью

Общепринятым методом оценки качества проложенной трассы трубопровода является комплексная оценка трассы по конкретным характеристикам. Поэтому было произведено сравнение существующей трассы «ВСТО» с двумя вариантами трасс, полученных автоматизированным путем (в табл. 1 представлены несколько ключевых факторов).

Таблица 1. «Характеристики трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» и двух трасс, полученных автоматизированным путем»

Параметр сравнение трасс	ВСТО	Трасса, полученная автоматизированным путем, 1 вариант	Трасса, полученная автоматизированным путем, 2 вариант
Длина, км	1205,51	1268,62	1174,80
Количество пересеченных разломов	3	3	3
Длина трассы, проходящей по территории с сейсмичностью более 8 баллов, км	450,71 (37,3% от всей длины трассы)	447,00 (35,2% от всей длины трассы)	478,35 (40,7% от всей длины трассы)
Длина трассы, проходящей по территории с сейсмичностью более 7 баллов, км	1029,35 (85,4% от всей длины трассы)	638,44 (50,3% от всей длины трассы)	1073,48 (90,8% от всей длины трассы)
Длина трассы, проходящей по болотам 2 типа, км	43,7 (3,6% от всей длины трассы)	13,8 (1,1% от всей длины трассы)	12,9 (1,1% от всей длины трассы)
Длина трассы, проходящей по многолетнемерзлым грунтам островного распространения	685,93 (56,9% от всей длины трассы)	534,09 (42,1% от всей длины трассы)	552,25 (46,7% от всей длины трассы)
Площадь леса, подлежащего рубке, га	11603	11055	10847
Количество переходов через реки длиной более 50 км	21	17	18
Количество переходов через реки длиной более 10 км, но менее 50 км	64	53	40
Количество переходов через реки длиной менее 10 км	37	21	34
Количество пересечений железных дорог	2	2	3
Количество пересечения дорог 1 категории	2	0	0
Количество пересечения дорог 3 категории	2	2	2
Количество пересечения проселочных дорог	25	19	23

МОДЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Безусловно, при наличии данных о конкретных стоимостях и сметных документаций, можно было бы оценить каждую из характеристик в денежном эквиваленте и получить наиболее рациональный вариант трассы. Однако и без этих справочных сведений можно сделать ряд выводов. Прежде всего, отметим, что оба альтернативных варианта трассы превосходят существующую трассу по большинству сравниваемых показателей. Так оба варианта трассы лучше по:

- Длине трассы, проходящей по болотам;
- Длине трассы, проходящей по многолетнемерзлым грунтам островного распространения;
- Площади леса, подлежащего рубке;
- Количеству переходов через реки;
- Количеству переходов через проселочные дороги и дороги 1 категории.

Не считая равных показателей, отметим, что первый вариант трассы уступает существующей трубопроводной системе только длиной. Это впрочем, является сильной негативной характеристикой этого варианта с точки зрения финансовых вложений на строительство. В то время как второй вариант трассы по этому же показателю лучше ВСТО. Но второй вариант трассы более опасен из-за нахождения 91% процента трассы в сейсмически активной зоне с возможностью землетрясений более 7 баллов (впрочем, в такой зоне лежит и 86% ВСТО).

Стоит отметить, что нефтепровод «ВСТО» явно приурочен к населенным пунктам (Олекминск, Алдан). Видимо, это объясняется следующей причиной: в малозаселенной Якутии прокладка трубопровода и строительство нефтеперекачивающих станций в необжитых районах ведет к увеличению затрат на строительство и обслуживание нефтепровода за счет строительства новых дорог и транспортных расходов на доставку персонала и техники до места работ. Приуроченность же к городам, помимо уменьшения транспортных издержек, несет также сильный социально-экономический эффект. Однако, в созданной методике подобные социальные (создание рабочих мест и так далее) и экономические (в первую очередь, речь идет о транспортной доступности территории) показатели не учтены в силу невозможности создания объективных весовых коэффициентов.

Тем не менее, обе альтернативных трассы превосходят существующую по сумме исходных факторов, поэтому для дальнейшей работы предварительный итог автоматизированного трассирования признан удовлетворительным.

Для того чтобы выбрать итоговый вариант из двух трасс, полученных путем применения разработанной методики, был произведен их сравнительный анализ, по результатам которого выявилось небольшое преимущество по количеству лучших показателей у первого варианта трассы. Однако, при более подробном анализе выясняется, что длина трассы, от которой зависит увеличение или уменьшение затрат, в том числе, на земляные работы, трубы и сопутствующие строительству факторы, второго варианта на порядок превосходит первый вариант. Таким образом, этот фактор должен иметь одну из ключевых ролей при выборе трассы трубопровода. С другой стороны остальные параметры разнятся не сильно, за исключением количества переходов через реки длиной более 10 км, но менее 50 км, но и в данном случае сравнение в пользу второго варианта. Безусловно, минусом второго варианта трассы является прохождение его большей, по сравнению с первым вариантом трассы, части на территории с потенциальной сейсмической опасностью в 8 баллов. Однако, абсолютный показатель в километрах не слишком значителен и, как было показано выше, последствия аварии не причинят вреда охраняемым территориям. Поэтому, исходя из финансовой целесообразности, в качестве основного варианта для дальнейшей работы выбраны весовые коэффициенты второго варианты трассы.

После апробации методики для больших территорий и сравнения полученного результата с исходными данными было принято решение о применении созданного алгоритма действий для автоматизированного трассирования в условиях более мелких по площади территорий. Для этого был выбран тестовый полигон от города Алдана до города Нерюнгри - именно поблизости от этих двух городов, вероятно, и будут построены компрессорные станции газопровода - где условно были заданы начальная и конечная точки трассы газопровода. Стоит отметить, что согласно существующим предварительным изысканиям обе точки определены к западу от нефтепровода «ВСТО», что изначально практически исключает восточную часть полигона из процесса автоматизированного трассирования, так как законодательно закреплен фактический запрет на пересечение газопроводов и нефтепроводов (кроме того, между ними должно быть не менее 1000 метров расстояния). Также отметим, что, помимо единых для всех вариантов автоматизированного трассирования источников данных (например, данных дистанционного зондирования), непосредственно в работе были использованы картографические материалы более крупного, по сравнению с трассированием на более крупной по площади территории, масштабного ряда от 1: 200 000 (топографические карты) до 1: 1 000 000 (карты тектоники, мерзлоты, дорожной сети).

После выполнения всех операций и с учетом весовых коэффициентов рассмотренных выше была получена возможная трасса газопровода (рис.5).

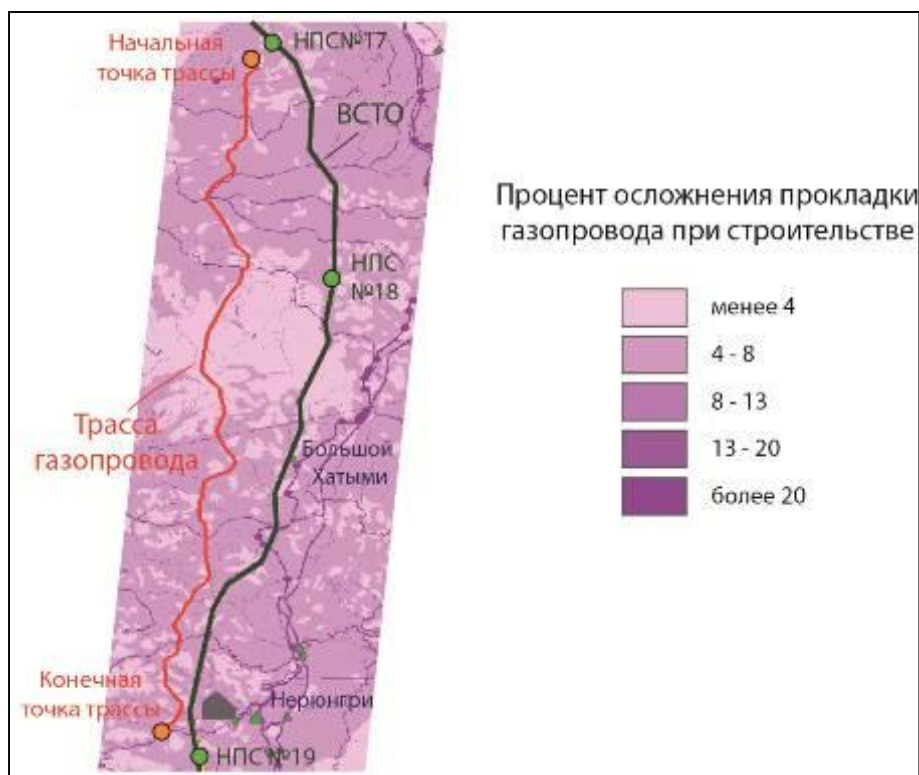


Рис.5. Оптимальный маршрут трассы газопровода

В данной работе представлены результаты разработанной методики проектирования трассы трубопровода на основе геоинформационного анализа территории. Созданные с помощью методики, основанной на применении средств автоматизации и экспертных работ, трассы трубопроводов, показывают достаточно хорошее качество исполнения, в том числе и по сравнению с существующей трассой. При этом необходимо понимать, что в работе учтен только необходимый минимум природных и антропогенных факторов, определенных согласно требованиям нормативных актов и документов. Таким образом, при появлении в свободном доступе новых данных о стоимостных характеристиках конкретных факторов строительства и картографических материалов на территорию исследования будут созданы условия для получения более точной оценки возможной трассы прокладки трубопровода.

Важной положительной чертой предложенной методики является быстрота получения разнообразных вариантов трасс на конкретную территорию. При этом отличительной чертой разработанного алгоритма действий является его применимость как к большим по площади полигонам, так и к сравнительно небольшим территориям. При этом время, которое необходимо затратить на перестроение модели данных (пересчет результирующей весовой поверхности с учетом изменений весовых коэффициентов для промежуточных GRID-поверхностей) для проработки различных вариантов трассы, составляет порядка двух часов, что несоизмеримо меньше, чем экспертное проложение трассы без использования современных технологий.

Отметим, что в данной работе практически не рассмотрен экологический аспект строительства магистральных трубопроводов с точки зрения возможного воздействия на окружающую среду строительства, эксплуатации трубопровода и предполагаемых аварийных ситуаций [Каргашин, 2008]. Однако данная проблема является предметом отдельного исследования, учитывающим многолетние наработки в данной области.

Библиографический список

1. Имаев В.С., Имаева Л.П., Гриб Н.Н., Сейсмогенерирующие структуры Байкало-Патомского и Алдано-Станового блоков (анализ трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан»): Монография. – Нерюнгри: Изд-во Технического Института (ф) ЯГУ, 2008. – 211 с.
2. Каргашин П.Е. Картографическое обеспечение экологического мониторинга строительства магистральных газопроводов // Геодезия и картография. 2008, №3, с.31–35
3. Рыльский И.А. Влияние факторов географической среды на автоматизированное трассирование трубопроводов. – М.: МАКС Пресс, 2009. –192 с.