

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи



Черноморец Лев Сергеевич

**Критерии инженерной оценки рельефа при
строительстве газотранспортных систем в
Европейской части России**

Специальность 25.00.25 – геоморфология и эволюционная география

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

МОСКВА – 2019

Работа выполнена на кафедре геоморфологии и палеогеографии
географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

Научный руководитель –

*Болысов Сергей Иванович, доктор
географических наук, профессор*

Официальные оппоненты –

*Ефремов Юрий Васильевич, доктор
географических наук, профессор, член
Всероссийской общественной
организации «Русское географическое
общество»*

*Тикунов Владимир Сергеевич, доктор
географических наук, профессор,
заведующий лабораторией комплексного
картографирования географического
факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,*

*Шварев Сергей Валентинович,
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, заведующий
лабораторией геоморфологии
Института географии РАН*

Защита диссертации состоится «28» ноября 2019 г. в 15 часов на
заседании диссертационного совета МГУ.11.04 Московского
государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: Москва,
ГСП-1, Ленинские горы, д.1, Географический факультет, 21 этаж, ауд. 2109.

E-mail: malyn2006@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной
библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на
сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/236046990/>

Автореферат разослан «24» октября 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.11.04,
кандидат географических наук



А.Л. Шныпарков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования.

Удаленность газовых месторождений от потребителя вызывает необходимость строительства магистральных газопроводов, предназначенных для перемещения газа из районов добычи к пунктам потребления. Они образуют газотранспортные системы (ГТС), под которыми понимается совокупность взаимосвязанных газопроводов и сопутствующих им сооружений. Вокруг газа фокусируются социально-политические интересы России и ее окружения в последние десятилетия, поэтому именно для строительства ГТС оценка рельефа представляется актуальной.

С середины XX века представление о человеке как об агенте, преобразующем рельеф и другие компоненты ландшафтов, стало признаваться сообществом ученых. Недостаточное понимание взаимоотношений общества и рельефа приводит к экономическим ущербам, экологическим катастрофам и другим проблемам. Однако методические основания конкретно для инженерной оценки рельефа участков прохождения линейных сооружений приводятся в ограниченном числе публикаций. Чтобы охарактеризовать влияние инженерных свойств рельефа территории на строительство ГТС, необходимо выявить критерии инженерной оценки. Существующие в нормативных документах критерии далеко не всегда учитывают основные свойства рельефа, обуславливающие геоморфологическую безопасность ГТС, в связи с чем необходим критический анализ этих свойств и отбор оптимальных критериев для разных масштабных уровней.

При этом Европейская часть России (ЕЧР) представляет собой транзитную область между основными потребителями российского газа – странами Европы, и основным его источником – месторождениями Западной Сибири, поэтому инженерно-геоморфологические исследования в связи со строительством ГТС особенно актуальны именно в этом регионе.

Объектом данного исследования является рельеф Европейской части России. **Предметом** являются значимые при строительстве газотранспортных систем инженерно-геоморфологические свойства территории.

Цель и задачи исследования. Цель данной работы – систематизировать критерии инженерной оценки рельефа для строительства магистральных газопроводов на территории Европейской части России и опробовать их на примере участков существующих и проектируемых ГТС (для разных масштабных уровней). Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать агенты и условия (факторы) рельефообразования в Европейской части России, определив соотношение осложняющих строительство инженерно-геоморфологических условий района с существующей сетью газопроводов;
- отобрать и систематизировать на основе имеющихся нормативных документов и научно-практических разработок критерии оценки рельефа при строительстве ГТС в разных масштабах и применить их на конкретных примерах;
- выявить возможные ограничения, связанные с применением критериев в зависимости от масштабных уровней рассмотрения территории;
- провести комплексную инженерно-геоморфологическую оценку условий строительства ГТС в Европейской части России (на разных масштабных уровнях), результаты которой могут быть практически применимы при региональном планировании;
- оценить, используя отобранные критерии, территорию прохождения направлений экспорта газа, перспективных при современной социально-экономической ситуации.

Материалы и методы исследования.

Исследование базируется на совокупности данных, включающих материалы собственных полевых геолого-геоморфологических и ландшафтных исследований автора и его коллег на объектах ГТС в 2011-2015 гг., литературные и фондовые данные. В работе использовались материалы инженерных изысканий в районах прохождения газопроводов, дистанционные материалы (данные радарной съемки SRTM и GTOPO30, топографические и тематические карты и схемы разного масштаба, векторные данные Digital Chart of the World (DCW), ресурсы программы Google Earth), а также общая и отраслевая нормативная документация строительной индустрии.

Основными методами исследования являются следующие: картографический, сравнительно-географический, полевое геоморфологическое и ландшафтное картографирование, морфометрический и статистический анализ, морфолитогенетический анализ, геоинформационный анализ, дешифрирование космических снимков.

Графические и расчетные построения выполнялись с помощью программ MS Office, ArcGIS, MapInfo, AutoCAD, Corel Draw, Global Mapper и другого программного обеспечения.

Научная новизна работы. Автором систематизированы критерии инженерно-геоморфологической оценки применительно к строительству газопроводов в Европейской части России. Выбраны определяющие критерии для разных уровней инженерной оценки рельефа при строительстве ГТС – мелкомасштабного, регионального и локального. Показано на конкретных примерах участков ГТС, что от масштабного уровня оценки зависит применимость критериев разных групп.

Составлена комплексная карта инженерно-геоморфологической оценки условий строительства ГТС в Европейской части России. Проведена инженерная оценка рельефа для участков размещения ГТС в Саратовской области и в Краснодарском крае. Также автором произведена оценка рельефа для двух перспективных направлений экспорта газа в пределах Европейской части РФ – северного и южного.

Теоретическая значимость работы состоит в расширении представлений об инженерно-геоморфологической обстановке обширного региона. Выявлен оптимальный набор критериев инженерной оценки рельефа при строительстве ГТС для разных масштабных уровней на примере ЕЧР. Методическую ценность представляет собой предложенный автором подход к комплексной инженерной оценке рельефа и исследование геоморфологической однородности субъектов РФ.

Практическая значимость работы. Материалы, полученные при исследовании, могут быть полезны для решения ряда прикладных задач. К таковым можно отнести общерегиональное планирование строительства ГТС, выбор оптимальной трассы для трубопроводов, проектирование мероприятий по инженерной подготовке и инженерной защите сооружений, разработка проектов рекультивации нарушенных земель, планирование мониторинга участков ГТС при строительстве и эксплуатации газопроводов и иные задачи. В пределах ЕЧР выявлены более благоприятные геоморфологические условия для развития северного направления экспортных трубопроводов (по сравнению с южным).

Результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ при чтении лекций по курсам «Введение в прикладную геоморфологию» и «Инженерная геоморфология».

Положения, выносимые на защиту:

1. В пределах Европейской части России для оценки условий строительства газотранспортных систем применим набор инженерно-геоморфологических критериев: морфометрических, литологических, морфодинамических и смешанных.
2. Применимость отобранных критериев зависит от масштабного уровня инженерно-геоморфологической оценки районов размещения объектов ГТС.
3. Субъекты Европейской части России группируются в пять классов по параметрам проявления инженерно-геоморфологических условий, осложняющих строительство ГТС.
4. Северное экспортное направление строительства ГТС более благоприятно по критериям инженерно-геоморфологической оценки в сравнении с южным направлением.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов обеспечивается значительным объемом фактического материала (в первую очередь –

собранного лично автором, в том числе во время полевых работ) и совокупностью используемых в работе методов.

Основные результаты работы доложены автором и опубликованы в материалах научно-практических конференций: международная конференция «Природные опасности: связь науки и практики» (Саранск, 2015); всероссийская научная конференция («VII Щукинские чтения») «Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике» (Москва, 2015); всероссийская научно-практическая конференция «Эколого-географические исследования в речных бассейнах» (Воронеж, 2014); конференция молодых специалистов, аспирантов и студентов «Инженерные изыскания в строительстве» (Москва, 2013), международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ» (Москва, 2016).

По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных п. 2.3 «Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова».

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 199 наименований (из них 14 – на иностранных языках). В ней содержится 171 страница текста, 29 таблиц, 50 рисунков.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.н., профессору С.И. Болысову.

Автор признателен д.г.н. Ю.Г. Симонову, к.г.н. Ю.Р. Беляеву, к.г.н. Т.Ю. Симоновой и к.г.н. И.С. Воскресенскому за многократные консультации и ценные замечания по работе, а также техническому директору ООО «Глобал Марин Дизайн» к.г.н. А.В. Волкову за идеи, поддержку и профессиональный взгляд. Кроме того, автор благодарен сотрудникам кафедры геоморфологии и палеогеографии, повлиявшим на его становление как специалиста-геоморфолога, и лично заведующему кафедрой д.г.н., профессору А.В. Бредихину; сотрудникам ООО «Питер Газ», ООО «КФС-Групп» и ООО «Глобал Марин Дизайн» за предоставление материалов для работы и консультации; к.г.н. М.В. Маркелову, А.М. Могиревскому, В.В. Филиппову за помощь в сборе материалов при полевых работах; Е.В. Селезневой, Л.М. Арчаговой, Л.Е. Удалову за консультации по работе в геоинформационных системах.

Автор выражает искреннюю признательность своим родителям, к.г.н. С.С. Черноморцу и О.С. Леонтьевой, а также И.К. Тука, без поддержки и участия которых завершение работы было бы невозможно.

Автор благодарен всем, кто участвовал и помогал ему в выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Состояние изученности проблемы

Исследование состояния изученности показало, что научные разработки находят большое количество приложений к строительству ГТС. При этом изучаются не только свойства непосредственно поверхности земли (уклоны, высоты и т.д.), но и другие условия, с которыми геоморфологи также сталкиваются при работе (литологические, сейсмические, мерзлотные, гидрометеорологические и т.д.).

В то же время методические основания конкретно для инженерной оценки рельефа участков прохождения линейных сооружений приводятся в ограниченном числе публикаций. Этот вопрос предстоит проработать дальнейшими исследованиями.

Существует ряд возможных подходов для реализации дифференциальной и комплексной инженерно-геоморфологической оценки, опробованных в географии и смежных дисциплинах. Среди комплексных оценок представлены методики, связанные: 1) с комплексным рассмотрением разных критериев (например, комплексным картографированием) и/или 2) с расчетом комплексных показателей, предполагающих нормирование свойств. При этом некоторые методики предполагают ранжирование свойств и введение для них весовых коэффициентов, определяемых разными путями.

Изучение работ, посвященных геоморфологическим оценкам, позволило определить подход к ним для данного исследования.

Глава 2. Условия и факторы размещения газотранспортных систем в ЕЧР

Европейская часть России в течение многих столетий активно осваивалась человеком. Именно здесь проходит большая часть магистральных газопроводов России. По этим причинам данная территория выбрана для исследования рельефа в приложении к строительству газотранспортных систем.

Оценивание на мелкомасштабном уровне проводилось для всей европейской территории страны. В ее состав входит более 50 субъектов РФ в 5 федеральных округах. Для применения критериев инженерной оценки рельефа на региональном и локальном уровне выбраны объекты газотранспортных систем соответственно в Саратовской области и в Краснодарском крае.

В данной работе Европейская часть России рассматривается в пределах своих сухопутных границ. Районы прохождения морских ГТС не включены в данное исследование, поскольку технология строительства трубопроводов и свойства обстановки в море обладают спецификой (в том числе инженерно-геоморфологической), требующей отдельного рассмотрения. Ввиду относительной изолированности и отрыва от основных ГТС ЕЧР Калининградская область в работе не рассматривалась.

Объект региональной оценки. Саратовское Поволжье представляет собой территорию на юго-востоке Приволжской возвышенности. Проектируемый газопровод (ПГ) в Саратовской области располагается на пути одного из перспективных направлений экспорта газа (южноевропейского). При этом средняя высота вдоль участков направления в пределах Саратовской области (ок. 200-210 м) ближе других субъектов соответствует средним высотам по всей Европейской части России (расчет проводился с использованием данных топографической съемки ГТОРО30). Таким образом, выбор объекта для региональной оценки обусловлен осредненными гипсометрическими свойствами. Кроме того, как было установлено далее в рамках мелкомасштабной оценки, Саратовская область является одним из немногих субъектов РФ, где менее половины площади занято условиями, осложняющими строительство ГТС. Автор принимал участие в полевых геоморфологических исследованиях для строительства данного участка.

В пределах Саратовской области участок ПГ располагается к западу от р. Волги, имеет длину около 170 км и проходит через Петровский, Аткарский, Татищевский и Лысогорский районы. На протяжении значительной части саратовского участка проектируемая линия газопровода дублирует уже существующий газопровод «Починки – Изобильное».

Объект локальной оценки. Для крупномасштабной оценки был выбран участок строящегося магистрального газопровода в Краснодарском крае. Объект располагается в предгорьях Большого Кавказа вблизи побережья Черного моря, которое здесь характеризуется рядом особенностей.

Приморское положение региона определяет его важную роль в развитии экспорта газа из России в страны Европы в обход транзитеров. Именно этот район является областью выхода в море действующих и проектируемых морских экспортных газопроводов. Автор и его коллеги участвовали в работах по проектированию и обеспечению строительства рассматриваемого объекта; в частности, в проектировании мероприятий по инженерной подготовке [Черноморец, Волков, 2015]. Это позволяет использовать материалы детальных инженерных изысканий для инженерно-геоморфологической оценки по разным критериям.

Глава 3. Методические основания для разработки критериев инженерной оценки рельефа

При прикладных инженерно-геоморфологических исследованиях необходимо учитывать те из критериев, которые важны для проектировщиков и строителей. Строительная деятельность предъявляет к рельефу определенный набор требований, часто закрепляемых в нормативных документах.

Прямо или косвенно инженерно-геоморфологические условия строительства затрагиваются в ряде нормативов, основным из которых является СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы». Требования к рельефу при строительстве трубопроводов

находят отражение и в зарубежных стандартах (ISO 13623:2009 «Нефтяная и газовая промышленность. Системы трубопроводного транспорта»).

Кроме того, в России и за рубежом существуют научно-практические разработки в области строительства ГТС, в которых затрагиваются инженерные свойства рельефа [Евдокимов, 1985; Симонов, Кружалин, 1993; Волков, 2009; Mohitpour et al., 2003].

Обобщенный по данным источникам итоговый перечень возможных критериев для инженерной оценки рельефа при строительстве ГТС включает в себя критерии нескольких групп: морфометрические, литологические, морфодинамические и смешанные (Таблица 1).

Таблица 1 – Критерии инженерной оценки рельефа Европейской части РФ

Группы критериев оценки	Критерии
Морфометрические	
	Уклоны (крутизна склонов)
	Расчлененность
Литологические	
	Выходы скальных грунтов
	Наличие карстующихся грунтов
	Наличие просадочных грунтов
Морфодинамические	
	Сейсмические условия
	Наличие разломов
	Развитие опасных экзогенных процессов
Смешанные	
	Наличие и характер переходов через водные преграды (в том числе развитость пойменно-руслового комплекса)
	Мерзлотные условия
	Заболоченность
	Существующая транспортная инфраструктура

Совокупность характеристик условий, учитываемых при строительстве ГТС, может проявляться (и учитываться в оценке) на разном масштабном уровне неодинаково. С.Б. Кузьмин [2014] отмечает необходимость оценки геоморфологических процессов и риска природопользования на разных пространственно-таксономических уровнях, однако указывает на невозможность сделать это на единой критериальной основе. Это подтверждается и совокупностью рассмотренных в данном исследовании характеристик условий, учитываемых при строительстве ГТС. Отобранные критерии могут проявляться (и учитываться в оценке) на разном пространственном масштабе неодинаково.

К примеру, очевидна дифференциация всей Европейской части России по уровню ожидаемой интенсивности землетрясений. Однако на уровне территории прохождения

отдельного объекта ГТС различий в сейсмичности может не быть. С другой стороны, пространственная изменчивость многих значимых критериев инженерной оценки рельефа настолько велика, что ее сложно отразить на картах мелкого масштаба. Так, обычно масштаб геологических карт в атласах (в частности, карт четвертичных отложений) даже для охвата отдельных субъектов РФ заставляет генерализировать подразделения, в результате чего не всегда возможно определить литологические свойства грунтов (просадочность, размываемость, подверженность карсту и т.д.) в пределах конкретного контура. Те же проблемы возникают при попытке оценить в мелком масштабе распространение выходов скальных грунтов, проявлений большинства опасных экзогенных процессов, затопляемых территорий вдоль водных объектов.

По причине того, что некоторые критерии (степень горизонтального расчленения, переходы трубопроводов через водные объекты и др.) сложно учесть без привязки к конкретным объектам, площадная инженерно-геоморфологическая оценка Европейской части России в мелком масштабе дополнена сравнительной оценкой районов вдоль линий прохождения двух перспективных экспортных направлений (см. главу 5).

Глава 4. Инженерно-геоморфологическая оценка газотранспортных систем в Европейской части России

После рассмотрения оснований для инженерной оценки рельефа и определения перечня критериев необходимо опробовать их на разных масштабных уровнях.

Мелкомасштабная оценка. В качестве единиц разделения территории была выбрана сетка субъектов РФ. На данный момент в пределах Европейской части России расположено 54 из них (три города федерального значения рассмотрены в рамках содержащих их субъектов).

Рассматривались следующие критерии: 1) уклоны, 2) распространение карстующихся и 3) просадочных пород, 4) мерзлотные и 5) сейсмические условия, 6) расчлененность и 7) заболоченность. В качестве меры для сравнения субъектов по критериям использована относительная (в процентах) площадь проявления градации признака в пределах каждого субъекта. Площади были рассчитаны автором по материалам различных источников (в основном мелкомасштабных карт в атласах) в программе ArcGIS.

По каждому из выбранных критериев была дана частная оценка. Были составлены таблицы, в которых каждому субъекту по каждому критерию присваивались баллы в соответствии с площадью проявления осложняющего признака (Таблица 2).

Одним из способов сочетания разных критериев является их картографическое наложение и создание комплексных карт оценки. Поскольку для мелкомасштабного уровня исследования территориальных единиц с точки зрения строительства ГТС комплексное оценивание целесообразно и имеет смысл, такая карта была составлена автором (Рисунок 1).

В качестве меры для комплексной оценки, помимо площади проявления, использовалось разнообразие (количество) проявляющихся в их пределах условий, осложняющих строительство (из семи рассматриваемых). Кроме того, при составлении комплексной оценочной карты необходимо было дополнительно учесть, если в пределах субъекта имеется экстремальное проявление условия. Впрочем, было признано нецелесообразным делать это для двух критериев из семи: а) для грунтов лёссового состава (при дифференциальной оценке не выделялся экстремальный уровень проявления этого условия), и б) для карстующихся пород (их ареалы представлены в 48 субъектах из 54, т.е. почти во всех).

Таблица 2 – Характеристики балльных оценок по субъектам

Баллы	Характеристика распространенности осложняющего условия	Дифференциальная оценка условий строительства
0	Площадь проявления равна нулю (осложняющее условие в данном субъекте не проявляется)	Простые
1	Площадь проявления более 0, но менее 50%	Осложненные
2	Площадь проявления более 50%, но не покрывает всю территорию субъекта (менее 100%)	Сложные
3	Осложняющее условие распространено на всей территории субъекта (100%)	Очень сложные

Таким образом, на карте отражены три основных параметра: 1) относительная площадь проявления осложняющих условий в пределах субъекта (отражалась максимальная из площадей, представленных на территории по материалам дифференциальных оценок); 2) экстремальная степень проявления осложняющих условий; 3) разнообразие (количество) осложняющих условий. Дополнительно также оценивалась внутренняя геоморфологическая однородность субъектов (см. схему-врезку на Рисунке 1).

Исследование сочетания осложняющих условий в пределах субъектов показало, что нет ни одного субъекта, в котором бы какое-то из семи исследованных условий не проявлялось на всей его площади. Во многом это обусловлено почти повсеместной распространенностью карстующихся пород.

По этой причине, а также потому, что само наличие карстующихся пород еще не свидетельствует об активности карстовых процессов, данные по площади их распространения исключались из рассмотрения (по первому из трех параметров).

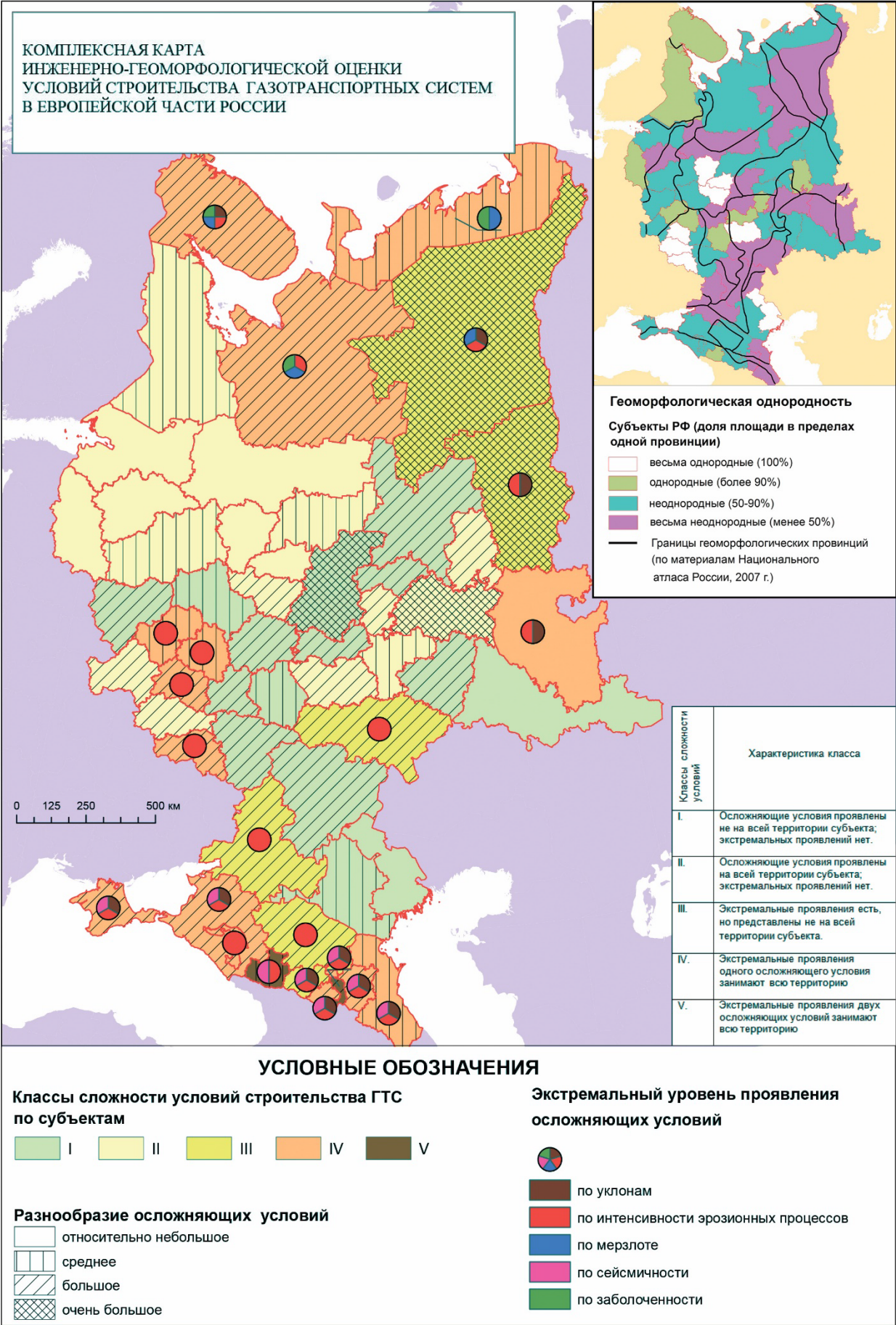


Рисунок 1 – Инженерно-геоморфологическая оценка условий строительства газотранспортных систем в Европейской части России.

Статистическая обработка и анализ данных по 54 субъектам РФ, полученных на этапе дифференциальной оценки, выявили следующие особенности:

1. В 32 субъектах встречаются осложняющие строительство условия, но **экстремальные проявления** этих условий на их территории **не представлены**.
2. В 17 из них осложняющие условия занимают 100% территории субъекта, и лишь в одном из них (Рязанская область) – менее 50%.

Кроме того:

3. В 22 субъектах **встречаются экстремальные проявления** осложняющих условий.
4. В 16 из них экстремальное проявление хотя бы одного из условий распространено на 100% площади.
5. В 2 из них экстремальное проявление двух условий распространено на 100% площади.

Эти свойства массива данных по субъектам позволили выделить классы сложности (Таблица 3).

Таблица 3 – Классы сложности условий строительства ГТС по субъектам РФ.

Экстремальные проявления осложняющих условий	Классы сложности условий	Характеристика класса	Названия субъектов (областей, республик и т.д.)
Не представлены	I.	Осложняющие условия проявлены не на всей территории субъекта; экстремальных проявлений нет.	Рязанская область, Астраханская область, Оренбургская область, Московская область, Тамбовская область, Республика Калмыкия, Смоленская область, Липецкая область, Воронежская область, Волгоградская область, Мордовия, Марий Эл, Кировская область, Самарская область, Нижегородская область
	II.	Осложняющие условия проявлены на всей территории субъекта; экстремальных проявлений нет.	Ленинградская область, Псковская область, Новгородская область, Вологодская область, Ярославская область, Ивановская область, Республика Карелия, Тверская область, Костромская область, Ульяновская область, Брянская область, Курская область, Владимирская область, Пензенская область, Чувашия, Удмуртия, Татарстан
Представлены	III.	Экстремальные проявления есть, но представлены не на всей территории субъекта.	Саратовская область, Ростовская область, Ставропольский край, Кабардино-Балкария, Пермский край, Республика Коми
	IV.	Экстремальные проявления одного осложняющего условия занимают всю территорию	Ненецкий автономный округ, Дагестан, Мурманская область, Краснодарский край, Башкортостан, Калужская область, Северная Осетия – Алания, Чеченская республика, Крым, Орловская область, Белгородская область, Адыгея, Архангельская область, Тульская область
	V.	Экстремальные проявления двух осложняющих условий занимают всю территорию	Карачаево-Черкессия, Ингушетия

В таблице субъекты внутри этих классов сортированы (ранжированы) по баллу

максимальной площади проявления осложняющего условия и по возрастанию количества (разнообразия) проявляющихся осложняющих условий.

Региональная оценка. Трасса проектируемого газопровода проходит по правобережному (относительно Волги) участку Саратовской области, пересекая территории четырех административных районов – Петровского, Аткарского, Татищевского и Лысогорского. Участок газопровода имеет протяженность около 170 км и в геоморфологическом отношении располагается в пределах Приволжской возвышенности. Линия газопровода пересекает 36 водотоков, наиболее крупными из которых (с севера на юг) являются реки и ручьи: Медведица, Мокрая, Озерки, Малый и Большой Колышлей, Малая Идолга, Идолга, Сухая Двоенка, Карамыш, Б. Копенка, М. Копенка, Мокрая Песковатка.

При инженерных изысканиях на трассе газопровода в соответствии с рядом нормативных документов «зоной возможного влияния» (ЗВВ) трубопровода считалась трехкилометровая полоса по 1,5 км от оси в обе стороны. Несмотря на то, что такая буферная зона постоянна по ширине и не учитывает изменения рельефа вдоль трассы, она пригодна для решения многих задач.

Наложение контуров с карты четвертичных отложений на ЗВВ позволило произвести сегментацию трассы по литологическим условиям на районы трех типов, которым соответствуют определенные комплексы рельефа:

- 1) Дочетвертичные отложения под приводораздельными поверхностями междуречий – **95 км²** в пределах ЗВВ (**20%** от общей площади).
- 2) Нерасчлененные элювиально-делювиальные отложения (суглинки, щебень) на междуречьях и склонах речных долин – **306 км²** в пределах ЗВВ (**66%** от общей площади).
- 3) Современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения (пески, суглинки, глины) в комплексах речных долин – **64 км²** (**14%**).

В результате было выделено 18 районов ЗВВ с разными морфолитологическими условиями. Данное генерализованное районирование является по своей сути геоморфологическим, поэтому оно было использовано в дальнейшем при анализе других критериев (нелитологических).

При морфометрических исследованиях, в первую очередь, чаще всего строится гипсометрическая карта территории. Гипсометрическая карта ЗВВ построена по данным радарной топографической съемки SRTM. Большая часть саратовского участка проходит по высотам 200-250 м. При этом распределение несколько смещено в сторону больших высот, что можно связать с тяготением выбора трассы к приводораздельным пространствам.

По цифровой модели рельефа были рассчитаны уклоны в пределах ЗВВ проектируемого газопровода. При анализе ЗВВ при данном разрешении модели не было обнаружено участков с очень сложными условиями строительства по уклонам. Единственный участок со сложными условиями выявлен на правом склоне долины р. Карамыш.

Максимальная густота расчленения зафиксирована к югу от р. Идолги на ее левобережье. Оценка вертикального расчленения проводилась с использованием методики расчета пласта эрозии, разрабатывавшейся И.С. Воскресенским под руководством профессоров С.С. Воскресенского, Г.С. Ананьева и д.г.-м.н. В.П. Полеванова. Рассчитанный как превышение линии соединения водоразделов над линией соединения тальвегов в створе водотоков на профиле пласт эрозии изменяет свою мощность от 1 м к югу от долины р. Медведицы до 116 м в районе долины р. Карамыш. Средняя величина превышения водоразделов над тальвегами составила около 20 м.

В соответствии с Общим сейсмическим районированием ОСР-2015 В саратовский участок трассы ПГ расположен в ареале менее 6 баллов. Тектоническая карта в Атласе Саратовской области [1978] отражает отсутствие в пределах трассы и ЗВВ разломных зон.

Инженерные изыскания, проводившиеся летом 2011 г. на территории саратовского участка ПГ, включали описание опасных экзогенных геоморфологических процессов и гидрогеологических явлений (ОЭГП и ГЯ). По собранным автором и его коллегами полевым материалам была составлена карта ОЭГП и ГЯ. При работе над ней использовались топографические карты масштаба 1:200 000 и космические снимки разного разрешения.

Общая площадь ЗВВ составляет около 494,6 км². Области возможного проявления делювиального смыва и массового смещения обломочного чехла занимают 34,3 км² или 6,9% от ЗВВ, а участки возможного развития блоковых движений на склонах – 5,7 км² (1,2%). Суффозионно-просадочные явления при полевых изысканиях зафиксированы в 9 местах. Площадная пораженнность территории опасными гидрогеологическими явлениями (процессами подтопления, затопления и заболачивания) составила 8,37 км² (1,7% от ЗВВ).

Общая длина эрозионных врезов по карте составила более 70 км. При этом большая часть врезов (73 вершины из 115) являются заросшими и/или неактивными. Активные («свежие») врезы составили 26,5% от общей длины. Тем не менее, потенциальная активизация эрозии на стабилизировавшихся участках не исключается при начале строительства сооружения.

Кроме оценки территории, в пределах которой непосредственно производится строительство сооружений, важно учитывать необходимость доставки к ней материалов, строительной техники и рабочих. Поскольку большая часть трассы расположена в коридоре существующего газопровода «Починки – Изобильное», на большом протяжении (всего около 110 км от трассы) уже имеются вдольтрассовые проезды. Более всего обеспечен проездами

участок трассы в Лысогорском районе. На нем же зафиксирована и наибольшая плотность подъездов автодорог (в среднем примерно 1 подъезд на 8 км).

Комплексное рассмотрение факторов, влияющих на сложность строительства проектируемого газопровода, показало, что наиболее трудные для строительства участки располагаются на переходах трубопровода через водотоки. В совокупности с анализом распространения скоплений (сочетаний) ОЭГП и ГЯ различного генезиса это позволило дать комплексную инженерно-геоморфологическую оценку по выделенным ранее морфолитологическим районам прохождения трассы (Рисунок 2).

Локальная оценка рельефа предполагает использование материалов, полученных в ходе специальных исследований территории размещения конкретных сооружений. Выбранный объект в Краснодарском крае включает в себя: 1) линейную часть (области укладки ниток трубопроводов, с площадками размещения строительной техники, подъездными автодорогами и иными сопутствующими объектами) и 2) площадные объекты (производственные площадки, отводимые в долгосрочное пользование на этапе эксплуатации объекта). Максимальные отметки рельефа достигают 180 м над уровнем моря в северо-восточной части полосы отвода, спускаясь до 70 м и менее в конечной точке участка. Протяженность полосы вдоль трассы составляет около 2,4 км (площадь чуть более 420 тыс. м²). В юго-восточной (начальной по ходу газа) части расположена площадка размещения средств очистки и диагностики трубопровода. Поскольку полоса временного отвода под строительство выражается в крупном масштабе, локальная оценка по сути производится для площадного (хотя и вытянутого по длине) объекта.

По уклонам (крутизне склонов) на локальном масштабном уровне оказалось удобнее всего провести разбивку (районирование) участка, т.к. в данном предгорном районе крутизна склонов изменяется в довольно широких пределах. Полоса отвода включает в себя участки выровненных поверхностей (11,8% от общей площади), пологих склонов (29,9%), склонов средней (54,6%) и повышенной (3,7%) крутизны. Участок повышенной крутизны приурочен к единственному водотоку (временному), пересекающему полосу отвода (в данном районе такие эрозионные формы называют «щелями»).

Ввиду немногочисленности эрозионных форм в пределах полосы отвода исследование расчлененности в данном масштабе оказалось нецелесообразным. Попытка расчета расчлененности по длине горизонталей также не прибавила информации для оценки по сравнению с районированием по уклонам. Вместе с тем, оказалось возможным исследовать такой морфологический параметр, как форма профиля склона. Особое значение для противоэрозионного проектирования имеет форма поперечного профиля, в зависимости от которой склоны подразделяются на типы: прямые, рассеивающие (поперечно-выпуклые) и собирающие (поперечно-вогнутые).

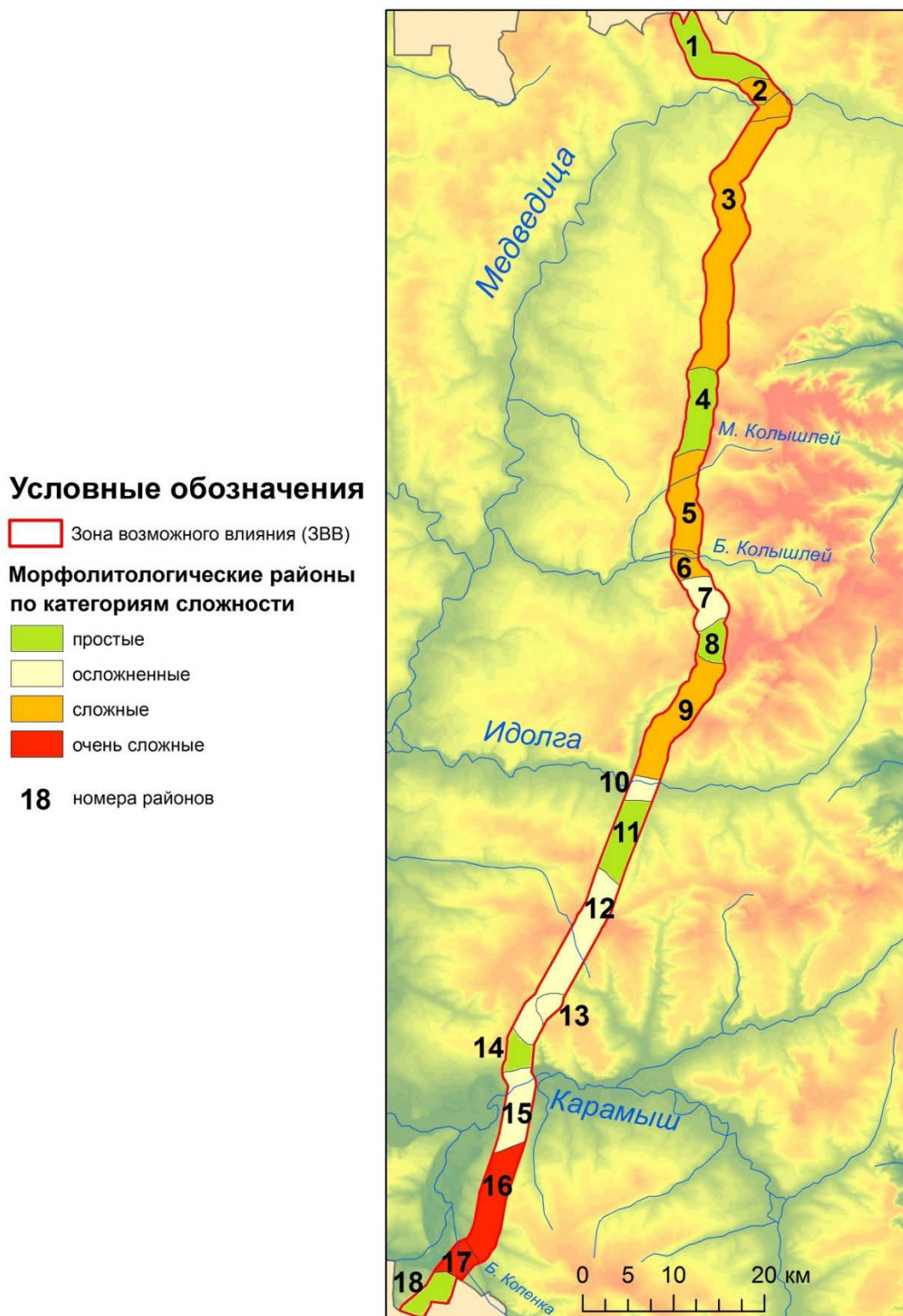


Рисунок 2 – Комплексная инженерно-геоморфологическая оценка районов прохождения проектируемого газопровода в Саратовской области

Наиболее значимыми для дифференциации полосы временного отвода критериями инженерно-геоморфологической оценки на данном объекте оказались уклоны (крутизна склонов), выходы скальных грунтов и потенциальное развитие опасных экзогенных процессов.

Глава 5. Инженерно-геоморфологическая оценка для перспективных направлений экспорта газа

В перспективе страны Европы, скорее всего, будут продолжать импорт российского газа. Очевидной проблемой поставок на сегодня являются транзитные государства. Поэтому, по всей видимости, наиболее перспективными направлениями экспорта будут маршруты, обходящие их. Доставить топливо потребителям напрямую можно посредством морских газопроводов.

Поставки газа в страны Европы в обход транзитных государств удобнее всего реализовывать через такие субъекты РФ, как Ленинградская область и Краснодарский край. Неслучайно именно они являются отправными точками североευропейского («Северный поток», «Северный поток – 2») и южноевропейского (нереализованный «Южный поток» и его преемник «Турецкий поток») газопроводов, призванных обеспечить альтернативный путь поставки российского газа в Европу в обход сухопутных соседей-транзитеров.

Обеспечение подачи газа в морские газопроводы будет осуществляться в основном за счет ресурсов месторождений Западной Сибири по магистральным газопроводам Европейской части России. Поэтому представляется актуальным провести сравнительную инженерно-геоморфологическую оценку в пределах Европейской части РФ двух экспортных направлений – южного и северного.

Для оценивания были разработаны две условные интегральные газотранспортные линии (Рисунок 3), ведущие на север (в Ленинградскую область) и на юг (в Краснодарский край). Выбор линий трассировки двух оцениваемых направлений проводился на основе трасс существующих систем магистральных газопроводов в пределах региона. Это связано с наличием уже построенной инфраструктуры, необходимой для строительства и дальнейшего развития ГТС.

Северное экспортное направление (СЭН) было проложено в сторону Выборгского района Ленинградской области. Общая протяженность СЭН составляет около 2440 км. Южное направление (ЮЭН) в пределах Европейской части связывает месторождения Западной Сибири с побережьем Черного моря (Краснодарский край), протягиваясь в юго-западном направлении примерно на 2610 км.

Обширный пространственный охват рассматриваемых объектов ограничивает возможность инженерной оценки рельефа мелкомасштабным уровнем. Мерой критериев сравнительной оценки для СЭН и ЮЭН выступают не площади районов, занятых осложняющими строительством условиями (как было в случае с субъектами РФ), а протяженность участков трассы.

Оценка и сравнение СЭН и ЮЭН по морфометрическим показателям осуществлялось с использованием цифровой модели, построенной по данным съемки ГТОРО30.



Рисунок 3 – Схема трассировки северного и южного экспортных направлений в пределах Европейской части России

Трасса СЭН, начинаясь в районе Полярного Урала, по большей части проходит по территории Северорусской провинции Русской равнины. Абсолютные высоты вдоль трассы не превышают 300 м. Минимальные высоты соответствуют уровню Балтийского моря, а средняя высота вдоль трассы около 130 м.

Более контрастен и в целом более возвышен рельеф южного направления. Трасса ЮЭН также начинается на Урале, но в его более южной части (Средний Урал). Далее она пересекает такие регионы, как Приволжская возвышенность, Кумо-Манычская впадина, а затем идет к Черноморскому побережью Кавказа. При средней высоте около 150 м максимальные высоты вдоль трассы превышают 500 м.

Для характеристики уклонов вдоль трасс двух направлений использовались материалы мелкомасштабной морфометрической оценки территории Европейской части РФ, описанной в главе 4. Расчлененность территории вдоль трасс рассчитывалась по аналогии с региональной оценкой в Саратовской области. Векторные слои водотоков для оценивания расчлененности были взяты из данных DCW – Digital Chart of the World (Цифровая карта мира). Номинальный масштаб DCW равен 1 : 1 000 000.

Вдоль СЭН наиболее расчлененные участки тяготеют к рекам, спускающимся с Урала. Территория прохождения трассы ЮЭН наиболее расчленена в окрестностях перехода через долину Волги и в Краснодарском крае.

Трасса СЭН не пересекает участки с сейсмичностью более 6 баллов согласно картам ОСР-2015 В. Вдоль ЮЭН, напротив, протяженность таких участков составляет почти половину. Наиболее сейсмически опасные участки (более 8 и более 9 баллов) тяготеют к Кавказу: протяженность составляет 98 км (почти 4% трассы) и 56 км (2%) соответственно.

Для оценки мерзлотных условий использовались материалы Экологического Атласа России [2002]. Трасса СЭН проходит по территории с развитием многолетнемерзлых пород. Протяженность участков, где они распространены, составляет более 480 км (20% от общей длины). При этом 8% трассы проходит по области распространения сплошной мерзлоты. Трасса ЮЭН не встречает на своем пути участки с многолетнемерзлыми породами.

По данным DCW трассы СЭН и ЮЭН пересекают 101 и 119 водотоков соответственно. Пересекаемые водные объекты неодинаковы по своим параметрам. Поскольку протяженность переходов обычно считается между отключающими кранами трубопровода, которые устанавливаются вне зоны затопления паводковыми водами, имеет значение ширина пойменно-руслового комплекса (ПРК) вдоль трассы. Общая протяженность таких переходов для СЭН составила 19,6 км, для ЮЭН – 12,7 км.

Оценка направлений по распространению карстующихся пород и заболоченности вдоль трассы проводилась по материалам Национального атласа РФ [2007]. Поскольку характер карстовых процессов во многом определяется климатическими условиями, которые в северных районах не способствуют их интенсивному развитию, ЮЭН оценивается как менее благоприятное направление по сравнению с СЭН. При этом расчеты показывают, что СЭН расположено в существенно более сложных условиях по заболоченности, чем ЮЭН.

СЭН не пересекает ареалы грунтов преимущественно лессового состава. По этому признаку оно является более благоприятным, чем ЮЭН, вдоль которого представлено несколько обширных участков таких грунтов общей протяженностью около 1170 км.

Для обеспечения строительства важно наличие подъездов к строительным площадкам. Доступ к трассе необходим не только при строительстве, но и на этапах эксплуатации (для устранения аварий, мониторинга). Данные DCW по автомобильно-железнодорожной инфраструктуре показали, что вдоль СЭН в данном масштабе рассмотрения имеется меньше подъездов, чем вдоль ЮЭН. При этом подъезды автодорог к СЭН расположены ближе к железным дорогам, несмотря на меньшую их плотность.

По каждому из рассмотренных критериев инженерно-геоморфологической оценки можно сделать частный вывод о том, какое из двух рассматриваемых направлений по нему является более благоприятным для газотранспортного освоения. Южное направление пролегает в обстановке, более благоприятной по мерзлотным условиям, распространению карстующихся пород, количеству и протяженности переходов через водные преграды и развитию

транспортной инфраструктуры. Северное направление располагается на территории, более удобной для строительства с точки зрения уклонов, густоты расчленения и сейсмических условий. Кроме того, СЭН имеет существенно меньшую протяженность по сравнению с ЮЭН (примерно на 170 км).

Для комплексной инженерной оценки рельефа было решено использовать некоторые коэффициенты из «Справочника базовых цен на проектные работы» по объектам газовой промышленности [1999]. Хотя стоимость разработки проектной документации (ПД) не тождественна стоимости строительства, она во многом определяется сложностью технических решений для строительства в конкретных условиях и, в конечном счете, зависит от районов размещения сооружений. В данном случае стоимостные коэффициенты используются лишь как основание для комплексной оценки инженерно-геоморфологических условий, позволяющее установить их соотношение.

Общий эффект инженерно-геоморфологических признаков (ЭГ), таким образом, рассчитывался по формуле:

$$ЭГ = У + Л + М + С + Б + В + Н + О, \quad \text{где}$$

У – вклад в стоимость разработки ПД участков со сложными условиями по уклонам;

Л – вклад участков с грунтами преимущественно лессового состава;

М – вклад участков с многолетнемерзлыми грунтами;

С – вклад участков с сейсмичностью 7-9 баллов;

Б – вклад участков с широким распространением болот;

В – вклад участков переходов через водные преграды;

Н – вклад участков с наложением друг на друга двух осложняющих условий;

О – остаточный вклад (участки, не относящиеся к обозначенным категориям).

Протяженность участков с разными инженерно-геоморфологическими условиями вдоль трасс СЭН и ЮЭН и коэффициенты, учитываемые при их соотношении, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Протяженность участков СЭН и ЮЭН с разными условиями и соотношение направлений в соответствии с базовой ценой разработки ПД

Осложняющие условия	Протяженность, км		Действия, осуществляемые с базовой ценой (БЦ)
	СЭН	ЮЭН	
Наложение друг на друга двух осложняющих условий (Н)	64,1	124,0	К БЦ применяется двойной коэффициент $1,3 \times 1,3 = 1,69$
Высокие уклоны (У)	0,0	191,1	БЦ увеличивается на 0,550 на каждый километр трассы
Грунты лессового состава (Л)	0,0	1169,2	К БЦ применяется коэффициент 1,3
Заболоченность (Б)	145,7	0,0	
Сейсмичность 7-9 баллов (С)	0,0	319,8	
Сплошное распространение мерзлоты (М)	206,2	0,0	
Переходы через водные преграды (В)	19,6	12,7	БЦ рассчитывается по особым справочным показателям
Остаток трассы (О)	2175,9	794,8	-
Итоговое соотношение	0,83	1	

Таблица показывает, что совокупный вклад критериев инженерной оценки рельефа в стоимость разработки ПД по южному направлению выше, чем по северному. Разница между СЭН и ЮЭН составляет приблизительно 17%.

Таким образом, совокупная оценка инженерно-геоморфологических особенностей территории пролегания направлений показала, что северное направление располагается в более благоприятных условиях по критериям инженерной оценки рельефа территории, чем южное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы. В рамках данной работы удалось рассмотреть рельеф Европейской части России в одном из прикладных аспектов – инженерно-геоморфологической оценке при строительстве газотранспортных систем. В результате проведенного диссертационного исследования были выбраны, систематизированы и опробованы критерии, по которым может производиться инженерная оценка рельефа для целей сооружения газопроводов. Поставленные в работе цели и задачи можно считать реализованными:

1) Рассмотрены условия и факторы рельефообразования Европейской части России и их соотношение с существующей сетью магистральных газопроводов.

2) Выделено четыре группы критериев: морфометрические, литологические, морфодинамические и смешанные. К морфометрическим критериям отнесены уклоны и расчлененность территории. Литологические критерии включают такие особенности территории размещения объектов ГТС, как наличие выходов скальных, карстующихся и просадочных грунтов. Сейсмические условия района, наличие разломов и участки развития опасных экзогенных процессов относятся к критериям морфодинамической группы. К критериям смешанной группы отнесены переходы через водные преграды, мерзлотные условия, заболоченность и транспортная инфраструктура территории.

3) Установлено, что применимость отобранных критериев оценки зависит от масштаба рассмотрения инженерно-геоморфологических свойств района строительства. Исходя из этого, выделены три масштабных уровня инженерно-геоморфологической оценки данной территории – мелкомасштабный, региональный и локальный.

4) На каждом уровне оценки ее критерии опробованы на примерах районов размещения объектов ГТС. Мелкомасштабное оценивание проведено для всей европейской территории страны. Результатом этой работы является составленная комплексная оценочная карта инженерно-геоморфологических условий строительства, где дана оценка по субъектам РФ в пределах региона (субъекты сгруппированы в 5 классов сложности).

5) Проведено сравнение двух интегральных перспективных экспортных направлений в границах Европейской части России.

Основные выводы. Анализ исходных и полученных в ходе исследования материалов по инженерно-геоморфологическим свойствам территории в применении к строительству ГТС позволяет сделать следующие выводы:

1. На сегодняшний день разработаны методологические основания инженерной геоморфологии: основные положения направления, его предмет, цели и методы. Достаточно высока региональная геоморфологическая изученность Европейской части России. В литературе также встречаются методические основания для инженерной оценки рельефа, в том числе участков прохождения линейных сооружений. Практически не представлен в опубликованных работах социально-геоморфологический взгляд на современное состояние и перспективы развития газотранспортных систем в Европейской части России.

2. Установлено, что при мелкомасштабном рассмотрении на преимущественно равнинной территории Европейской России связи рельефа с фактическим размещением ГТС выражены слабо или вообще не выявляются. Реальное влияние рельефа на выбор трассы начинает проявляться только на региональном масштабном уровне.

3. На объекте, выбранном для региональной оценки рельефа (газопровод в Саратовской области), наиболее сложные в инженерно-геоморфологическом отношении участки представлены на переходах долин рек. Комплексы рельефа (склоны и днища долин, чередующиеся с междуречными пространствами) определяют дифференциацию по литологическим и морфодинамическим условиям вдоль трассы. Северная часть территории прохождения трассы более благоприятна по расчлененности рельефа.

4. На объекте крупномасштабной (локальной) оценки (район прохождения газопровода в Краснодарском крае) основную роль в дифференциации полосы отвода играют морфометрические критерии и их производные, в то время как пространственная изменчивость большинства литологических, морфодинамических и смешанных критериев не позволяет дифференцировать территорию.

5. Современная социально-экономическая и политическая обстановка позволяет утверждать, что наиболее перспективными направлениями экспорта газа через Европейскую часть России являются направления выхода к морским газопроводам в Ленинградской области (северное направление) и Краснодарском крае (южное направление). Комплексная оценка показала, что территория прохождения южного направления является менее благоприятной для строительства, чем северного (по инженерно-геоморфологическим критериям).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в рецензируемых научных изданиях в соответствии с п. 2.3 «Положения о присуждении ученых степеней в МГУ им. М.В. Ломоносова»:

1. Черноморец Л.С. Критерии инженерной оценки рельефа при строительстве газотранспортных систем // Естественные и технические науки. № 9, 2015. С. 81-87.
2. Черноморец Л.С. Комплексная инженерная оценка рельефа для строительства газотранспортных систем в Европейской части России // Геориск. Т. XII, № 2, 2018. С. 54-63.
3. Черноморец Л.С. Региональная инженерная оценка рельефа района прохождения проектируемого газопровода в Саратовской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Т. 329, № 9, 2018. С. 153-163.

Прочие публикации:

4. Черноморец Л.С. Анализ особенностей рельефа при выделении и районировании зоны влияния линейного сооружения // Инженерные изыскания в строительстве (Материалы Девятой научно-практической конференции молодых специалистов) М.: ПНИИИС, 2013. С. 152-155.
5. Черноморец Л.С. Бассейновый подход при анализе зоны влияния линейных сооружений // Эколого-географические исследования в речных бассейнах (Материалы IV всероссийской научно-практической конференции). Воронеж: ВГПУ, 2014. С. 145-147.
6. Черноморец Л.С. Инженерно-геоморфологическая оценка условий строительства газотранспортных систем в Европейской части России // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2016» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс]. М.: МАКС Пресс, 2016.
7. Черноморец Л.С., Волков А.В. Геоморфологические аспекты инженерной подготовки территории и обеспечение безопасности строительства // Природные опасности: связь науки и практики (материалы II Международной научно-практической конференции, Саранск, 23-25 апреля 2015 г.). Саранск: изд. Мордовского ун-та, 2015. С. 480-482.
8. Черноморец Л.С., Волков А.В. Инженерная подготовка территории как фактор обеспечения геоморфологической безопасности площадных объектов капитального строительства // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике (материалы Всероссийской научной конференции «VII Щукинские чтения»). М.: МАКС Пресс, 2015. С. 307-309.
9. Черноморец Л.С., Волков А.В. Опыт проектирования мероприятий по инженерной подготовке территории строительства объекта газотранспортной системы в прибрежной зоне Черного моря. // Нефтегазовое дело. 2015, № 6. С. 75-93.