

*Мякота Вячеслав Геннадьевич, инженер,
Игнатов Владимир Сергеевич, магистр техн. наук, Белорусский
национальный технический университет, г. Минск, Беларусь*

***Опасные геологические процессы как критерий геоэкологической
оценки безопасности трасс магистральных трубопроводов
Республики Беларусь***

Dangerous geological processes as criterion geoeological estimat

В представленной статье описываются опасные геологические процессы, которые влияют на безопасное функционирование трасс магистральных трубопроводов и выступают в качестве одного из критериев при геоэкологической оценке их безопасности. Определены основные районы распространения опасных геологических процессов в пределах трасс магистральных трубопроводов. Выявлен самый опасный и безопасный магистральный трубопровод, проходящий по территории Республики Беларусь.

In presented article are described dangerous geological processes, which influence upon safe operating the routes main pipe line and act as, one of the criterion geoeological estimations to their safety. The main regions of the spreading the dangerous geological processes are determined within routes main pipe line. It is revealed the most dangerous and safe main pipe line with standpoint given criterion.

Трубопроводный транспорт в настоящее время занимает одно из главных место по транспортировки жидких и газообразных веществ, поэтому очень остро стоит вопрос об его безопасном функционировании. По территории Беларуси проходит ряд магистральных трубопроводов, представленных газопроводами: Торжок-Минск-Ивацевичи; Щорс-Гомель-Минск-Вильнюс; «Ямал-Европа»; Ивацевичи-Брест; Кобрин-Брест-госграница и нефтепроводом «Дружба». Общая протяженность газопроводов по территории Республики Беларусь составляет 7220,4 км, в одноконтинентном исчислении – 3009,6 км, а протяженность нефтепровода – около 2500 км.

Безопасность функционирования магистральных трубопроводов регламентируется рядом нормативных документов [1,2].

Проблема изучения безопасного функционирования магистральных трубопроводов в Республике Беларусь развивается по трем направлениям: оценка состояния труб магистральных трубопроводов, безопасное функционирование их при проявлении опасных геологических процессах, воздействие магистральных трубопроводов на окружающую среду. В публикациях по первому направлению большое внимание уделяется диагностики и техническому состоянию труб [3,4]. Второе направление базируется на научных работах, связанных с изучением влияния неблагоприятных процессов, протекающих в геологической среде на здания и сооружения [5]. Третье направление связано с изменениями в окружающей среде, которые происходят в результате аварий на магистральных трубопроводах и влияния продуктов транспортировки на природную среду [6].

Наибольшее развитие данные направления получили в Российской Федерации. Это связано, прежде всего, с увеличением числа аварий на трассах магистральных трубопроводов на территории РФ и большого экологического ущерба. Также это создало необходимость разработки методических рекомендаций по оценке степени риска на магистральных нефтепроводах [7]. Согласно им выделяются несколько факторов влияния на безопасность магистральных трубопроводов: внешние антропогенные воздействия (минимальная глубина заложения магистрального трубопровода, защищенность наземного оборудования, состояние охранной зоны магистрального трубопровода и др.), эксплуатационные (дефект труб и сварных швов), коррозия металлических труб, природные (вероятность перемещений грунта или размыва подземного перехода) и др.

Проявление опасных геологических процессов в пределах трасс магистральных трубопроводов является одним из главных критериев при проведении геоэкологической оценки их безопасного функционирования.

Целью статьи является установление особенностей проявления опасных геологических процессов на трассах магистральных трубопроводов в Республике Беларусь. Для этого понадобилось решить 3 задачи:

1. Охарактеризовать опасные геологические процессы, влияющие на безопасность магистральных трубопроводов.
2. Установить размер и распространение опасных геологических процессов в пределах трасс магистральных трубопроводов.
3. Выявить степень опасности каждого опасного процесса для магистральных трубопроводов.

Основным методом исследования выступил картографический метод. Он заключался в наложении карты магистральных трубопроводов на карты возможного проявления опасных геологических процессов: агрессивности грунтовых вод, распространения и просадочности лёссовых пород Беларуси, карта распространения карстующихся пород.

Основные опасные геологические процессы, влияющие выступающие в качестве критериев геоэкологической оценки трасс магистральных трубопроводов, следующие: карст, просадочность лёссовых пород, оползневые процессы, агрессивность грунтовых вод. Эти процессы проявляются с различной интенсивностью во всех регионах Беларуси, т.к. с точки зрения инженерно-геологических условий территория Беларуси отличается значительной сложностью.

Карст. Карстовые проемы, проявляющиеся в оседании и проседании (при радиусе кривизны поверхности соответственно более 1 км и менее 1 км), протекающие без нарушения сплошности массива длительное время (оседания до нескольких лет) [5]. На рис. 1 показано пересечение магистральных трубопроводов с областями карстопоявления.

Оползни. Особенно высока вероятность возникновения осыпей и оползней при переходе магистральных трубопроводов через русла рек и возникновении напряженности на трубопроводах.

Переработка береговых склонов наиболее интенсивно идет в период прохождения паводков, когда вначале наступает максимум скоростей, затем – максимум расходов и, наконец, – максимум уровней. Наибольшая сила воздействия на прибрежные склоны начинается в момент, когда паводок вступает в максимум расходов. В это время возникают предельные скорости циркуляции воды в реке. Скорость воды у дна вследствие трения меньше, чем у поверхности реки. Поэтому у поверхности результирующая сила давления не в состоянии обеспечить движение частиц воды по окружности с большей скоростью и вода «отбрасывается» к дальнему (от центра

поворота) берегу. На этом участке, как и в месте, где река делает поворот, происходит интенсивная переработка склона. И если в этом месте происходит пересечение магистрального трубопровода рекой, то вероятность аварии увеличивается.

Просадочность лессовидных отложений. На территории Беларуси лессовидные породы занимают около 10% площади и распространены южнее главного пояса конечных морен, в основном, отдельными участками и островами. Они приурочены к Оршано-Могилёвскому плато, Минской и Новогрудской возвышенностям.

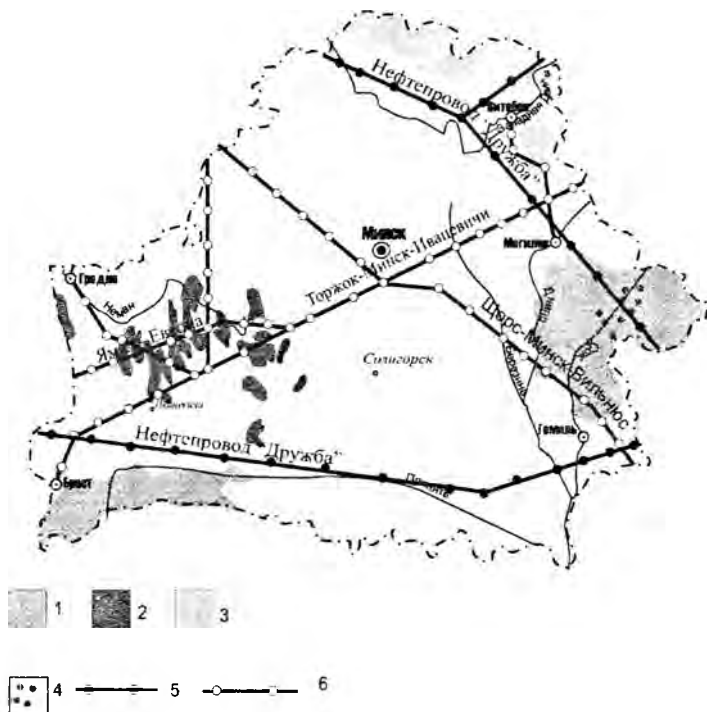


Рис. 1 Схема распространение областей карстопроявлений по трассам магистральных трубопроводов:

1 – Верхнемеловые отложения, представлены мергельно-меловыми породами с глубиной залегания 20–50 м; 2 – Верхнемеловые отторженцы породы в конечно-мооренных образованиях, представлены мергельно-меловыми породами; 3 – Долмиты франского яруса с глубиной залегания до 20 и 50 м; 4 – открытые карстовые формы; 5 – магистральные нефтепроводы; 6 – магистральные газопроводы

Мозырско-Брагинской и Копыльской грядам. Залегают лессовидные отложения в комплексе с другими генетическими типами отложений – моренными, флювиогляциальными, озерными, аллювиальными и др. Приурочены к склонам моренных гряд и платообразным участкам водоразделов рек с абсолютными отметками 140–150 м. Мощность отложений варьирует в диапазоне от 0,5 до 10 и более метров [8]. На рис. 2 видно пересечение магистральных трубопроводов с областями распространения лессовидных пород.

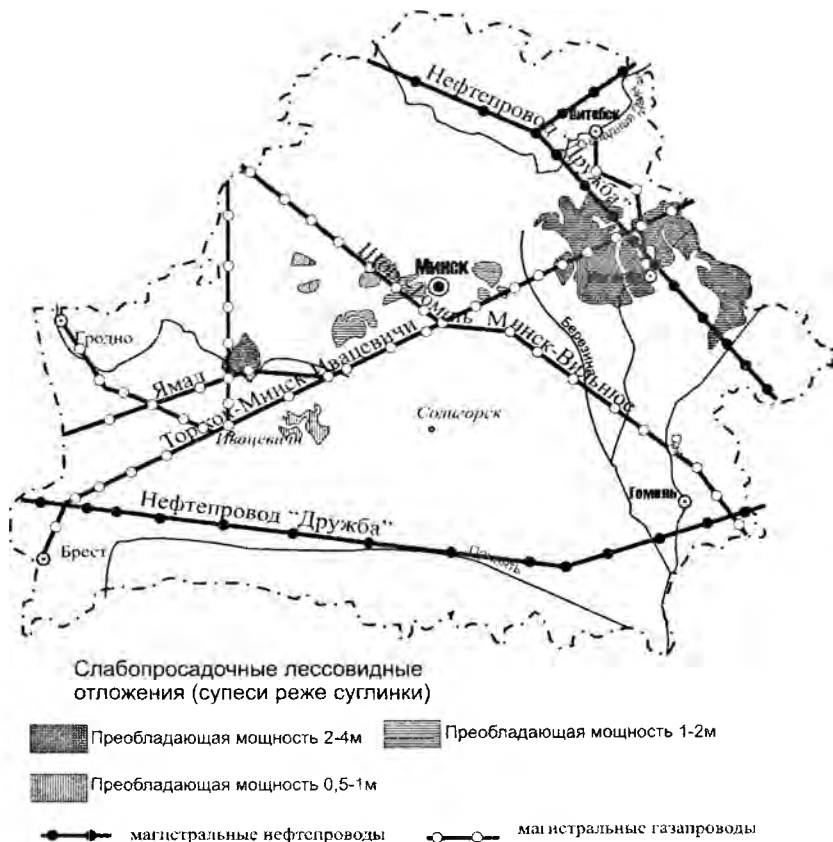


Рис. 2. Схема пересечения магистральных трубопроводов с областями распространения лессовидных отложений

Агрессивность грунтовых вод. В пределах Республики Беларусь выделяется 4 геолого-гидрохимические зоны, характеризующиеся определенными закономерностями распространения грунтовых вод с выраженными показателями агрессивности по отношению к бетонным конструкциям (рис. 3) [9].

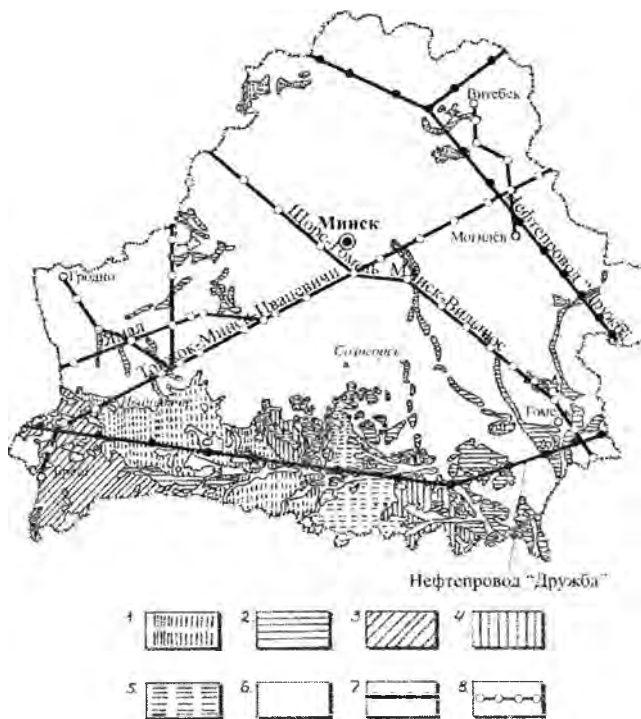


Рис. 3. Схема проявления агрессивных подземных вод в пределах трасс магистральных трубопроводов:

1 – Площади распространения грунтовых вод с преобладающим углекислотным типом агрессивности; 2 – площади распространения грунтовых вод с преобладающим карбонатным типом агрессивности; 3 – площади распространения грунтовых вод, обладающих общекислотным и углекислотным типом агрессивности; 4 – площади распространения грунтовых вод, обладающих карбонатным и углекислотным типами агрессивности; 5 – Площади распространения грунтовых вод, обладающих общекислотным, карбонатным и углекислотным типами агрессивности; 6 – Площади распространения грунтовых вод преимущественно не агрессивных; 7 – нефтепроводы; 8 – газопроводы

Первая зона охватывает северную часть страны (бассейн реки Западная Двина), где на общем фоне преимущественно неагрессивных вод фрагментарно выделяются небольшие участки (на севере Белорусского Поозерья, в районе Бешенковичей и Шумилино), воды которых содержат повышенное количество CO_2 и относятся к водам с углекислотным типом агрессивности. Характерна принадлежность к этому виду агрессивности грунтовых вод, заключенных в отложениях различных генетических типов – современных аллювиальных отложений пойм, древнеаллювиальных, внутриморенных и болотных отложений

Вторая зона охватывает всю центральную и юго-восточную часть Беларуси и характеризуется распространением преимущественно неагрессивных грунтовых вод за исключением вод, приуроченных к древнеаллювиальным отложениям крупных рек. На отдельных участках (территориально сопряженных с древнеаллювиальными) агрессивными являются флювиогляциальные и болотные водоносные горизонты. Основным видом агрессивности в этой зоне в указанных отложениях (участки надпойменных террас р. Немана, Березины, Сожа и Днепра) является карбонатный тип агрессивности.

Третья зона – юго-западная часть республики (бассейн р. Зап. Буг), для которой характерно широкое распространение грунтовых вод, обладающих одновременно общекислотными и углекислотными типами агрессивности. Стратиграфически эти воды приурочены ко всем характерным горизонтам – болотным, озерно-аллювиальным, древнеаллювиальным, флювиогляциальным, нередко и моренным.

Четвертая зона охватывает практически всю центральную часть Белорусского Полесья и характеризуется повсеместным распространением грунтовых вод, обладающих различным типом агрессивности и их разнообразным сочетанием. На рисунке 3 показана картасхема распространения агрессивных подземных вод и трасс магистральных трубопроводов.

Как показано на рис. 1, 2, 3 магистральные трубопроводы пересекают все области распространения опасных геологических процессов. Как видно из табл. 1 показано процентное соотношение участков трасс магистральных трубопроводов, расположенных в областях проявления опасных геологических процессов.

Проявление опасных геологических процессов
на трассах трубопроводов

Трубопроводы	Опасные геологические процессы, %		
	Карст	Просадочность лессовых пород	Агрессивные подземные воды
Нефтепровод «Дружба»			
Широтная ветка	–	–	60
Меридиональная ветка	23	9	18
Газопроводы			
Торжок–Минск–Ивацевичи	9	26	2
Щорс–Гомель–Минск–Вильнюс	11	2	8
Ямал–Европа	29	8	3
Ивацевичи–Брест	15	–	100
Витебск–Могилёв	13	10	6
Ивацевичи – государственная граница Литвы	3	9	9

Широтная ветка нефтепровода «Дружба» почти на всем своем протяжении пересекает территории с агрессивными грунтовыми водами, которые представлены всеми типами. Удельный вес для области распространения преимущественно карбонатного типа агрессивности составляет 15% от протяженности нефтепровода, общекислотный карбонатный и углекислотный тип агрессивности занимает около 6% территории трассы, области распространения карбонатного и углекислотного типа агрессивности – около 4%, области с преобладанием углекислотного типа агрессивности – около 20% и области общекислотного типа агрессивности – около 15%. Трубопровод пересекает несколько крупных водных преград: р. Сож, Днепр и Припять (в двух местах), Уборть, Ствига, Горынь, Ясельда в местах пересечения которых возможны проявления оползней и подработка берегов.

Меридианальная ветка нефтепровода «Дружба» проходит через области с распространением агрессивных грунтовых вод, лессовидных отложений и карстопроявления. На долю агрессивных грунтовых вод с преимущественно карбонатным типом агрессивности приходится около 10%, а на территории распространения карбонатного и углекислотного типа агрессивности – около 8%, около 23% длины нефтепровода приходится на верхнемеловые отложения, а 9% – на лессовидные отложения, мощностью 2–4 м. Трасса нефтепровода пересекает следующие водные преграды: р. Бесядь, Проня, Днепр, Западная Двина (в двух местах), Дисна.

Газопровод Торжок–Минск–Ивацевичи пересекает лессовидные отложения мощностью 2–4 метра в трех местах, мощностью 1–2 м в одном месте. Суммарная доля длины трассы с областями распространения лессовидных отложений составляет – 26% из них 1% приходится на территории с мощностью лессовидных отложений 1–2 м, 25% – соответственно с мощностью 2–4 м. Область карстопроявлений, представленная верхнемеловыми отторженцами занимает 9% длины трассы. Агрессивные подземные воды на трассе газопровода представлены общекислотным, карбонатным и углекислотными типами агрессивности. На своём пути газопровод проходит через несколько водных преград: р. Березина, Свислочь, Птичь, Уса, Нёман.

Трасса магистрального газопровода Щорс–Гомель–Минск–Вильнюс на своем протяжении пересекает территории с распространением лессовидных отложений мощностью 1–2 м, которые занимают 2% длины трассы газопровода. В пределах трассы встречаются карстовые проявления, представленные верхнемеловыми отложениями, на которые приходится 11% длины газопровода. На своем пути газопровод пересекает районы с распространением грунтовых вод с преобладающим карбонатным типом агрессивности, несколько водных преград: рр. Сож, Днепр, Березина, Свислочь, Вилия, Птичь.

В пределах трассы газопровода Ямал–Европа располагаются области распространения лессовидных отложений, занимающих 8% длины трубопровода. Районы областей карстопроявления, представленных верхнемеловыми отторженцами занимают 29% длины. Газопровод пересекает несколько небольших водных объектов, среди которых наиболее крупные р. Щара, Рось, Нарев.

Трасса газопровода Ивацевичи–Брест пересекает районы распространения карста, состоящие из верхнемеловых отторженцев и верхнемеловых отложений. На их долю приходится 7 и 8% длины трассы соответственно. Половину трассы занимают области распространения грунтовых вод, обладающих кислотным, карбонатным и углекислотными типами агрессивности, а вторую половину – области распространения грунтовых вод, обладающих общекислотным и углекислотным типами агрессивности. Среди водных преград надо отметить пересечение газопроводом водохранилища Селец.

На трассе газопровода Витебск–Могилёв лессовидные отложения мощностью 2–4 м занимают 10% длины трассы, а участки с распространением карстующихся пород, представленные доломитами франского яруса – 13%. В пределах трасы встречаются области распространения грунтовых вод, обладающих общекислотным, карбонатным и кислотным типами агрессивности. На пути газопровода располагается одна водная преграда – р. Днепр.

Чтобы оценить опасность территории с проявлением опасных геологических процессов при геоэкологической оценке трасс магистральных трубопроводов, следует выявить наиболее подверженные к опасным геологическим процессам магистральные трубопроводы и влияние процессов на их трубопроводы. Для достоверной оценки влияния опасных геологических процессов, используется мера изменения состояния сооружения (по сравнению с проектным) в процессе его эксплуатации, обозначаемая термином «стабильность» (S).

Показатель стабильности варьирует в пределах от 1 до 0, причём значение $S=1$ соответствует полному отсутствию деформаций сооружения, превышающих предусмотренные проектом, а при $S=0$ сооружение выходит из строя в результате развития инженерно-геологических процессов табл. 1. В табл. 2 представлена эволюция разрушения магистральных трубопроводов, оцениваемая показателем стабильности.

В Республике Беларусь под влиянием многих, в том числе, и перечисленных выше факторов происходит изменение стабильности магистральных трубопроводов.

Наименее безопасный с точки зрения распространения опасных геологических процессов является газопровод Щорс–Гомель–Минск–Вильнюс. Неблагоприятные участки занимают около 21% протяженности газопровода.

Состояние подземных газопроводов в зависимости от стабильности (S) [10]

S	Состояние подсистемы сооружений	Возможные дефекты газопровода
1	Газопровод полностью соответствует проекту	—
0,7	Газопровод обнажён частично	Разрушение гидроизоляции, покрытия за счёт солнечной радиации, активизация коррозии; потенциальная возможность разрушения соседних ниток при аварии одной из них
0,5	Газопровод обнажён полностью	То же, что при $S = 0,7$, кроме того газопровод не заземлён, подвижен создаются условия для развития скрытых дефектов трубы
0,3	Газопровод обнажён полностью, арки, змейки	То же, что при $S = 0,5$; кроме того возможна работа трубы с напряжениями выше допустимых
0,1	Газопровод обнажён полностью, арки, змейки с гофрами	То же, что при $S = 0,3$, кроме того возможно течение материала трубы
0	Разрыв газопровода	

К магистральным трубопроводам, где суммарная доля опасных участков превышает 50% относятся: нефтепровод «Дружба», газопровод Ивацевичи–Брест. Газопровод Ивацевичи–Брест является наиболее подверженными воздействию опасных геологических процессов, так как полностью проходит по территориям с их распространением.

Наиболее опасными для функционирования магистрального трубопроводного транспорта являются территории с распространением агрессивных подземных вод. На этих территориях происходит длительное воздействие на изоляцию и бетонное основание трубопроводов (при надземной укладке).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Республики Беларусь о промышленной безопасности опасных производственных объектов №363-З от 10.01.2000.
2. Правила охраны магистральных трубопроводов. – Минск, 2006.
3. Липский, В.К. Особенности оценки рисков при декларировании опасностей магистральных трубопроводов / В.К. Липский, А.Г. Кульбей, А.И. Вечёра // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: тезисы докладов. – Минск, 2003. – Ч. 1. – С. 110–111.
4. Станкевич, А.В. К вопросу о выборе типа системы обнаружения утечек в системах магистрального трубопровода / А.В. Станкевич // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: тезисы докладов. – Минск, 2003. – Ч.2. – С. 95–95.
5. Колпашников, Г.А. Система предупреждений появления и развития аварийных ситуаций в строительстве трубопроводов в связи с проявлением опасных геологических процессов / Г.А. Колпашников, Н.Н. Баранов, В.Г. Мякота // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риск. Материалы международного семинара. – Пинск, 2007. – С. 229–232.
6. Хомич, В.С. Загрязнения почв нефтепродуктами в Беларуси / В.С. Хомич // Природные ресурсы. 2005. – №2. – С. 43–52.
7. Методическое руководство по оценке степени риска на магистральных нефтепроводах: Сер. 27, вып. 1. – М.: государственное предприятие Научно-технический центр по безопасности промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 96 с.
8. Колпашников, Г.А. Происхождение и свойства лессовидных отложений в Республике Беларусь / Г.А. Колпашников // Международная научно-техническая конференция, Геотехника Беларуси: наука и практика: сб. – Минск, 2003. – №3-4. – С. 273–278.
9. Колпашников, Г.А. Агрессивность грунтовых вод Белорусского Полесья / Г.А. Колпашников, Р.И. Ленкевич // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2004. – № 3. – С. 4–7.
10. Невечера, В.Л. Принципы инженерно-геологической оценки территории для обоснования литомониторинга объектов газовой промышленности / В.Л. Невечера, В.В. Пендин // Инженерная геология. – 1991. – №1. – С. 121–132.