

28. White W.B., Liu Z. Non-Linear alignment of El Nino to the 11-yr solar cycle // *Geophys. Res. Lett.* – 2008. – V. 35. L19607. – P. 6, doi: 10.1029/2008GL034831.

29. Панин Г.Н., Выручалкин Т.Ю., Соломонова И.В. Особенности климатических изменений в средних и

высоких широтах Северного полушария // *Электронный журнал «Георесурсы, геоэнергетика, геополитика»*. – 2010. – Вып. 2(2). – С. 1–13.

Поступила в редакцию 23.05.2014

УДК 614.8

Анализ причин и последствий аварий протяженных линейных технических систем

Т.А. Капитонова, Г.П. Стручкова

Рассмотрены особенности эксплуатации протяженных линейных технических систем в условиях холодного климата, анализ рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, предложены геоинформационные подходы для составления специализированных карт геоэкологической направленности, являющиеся частью системы предупреждения и минимизации ущербов от возможных природно-техногенных аварий и катастроф.

Ключевые слова: протяженные линейные технические систем, анализ рисков, чрезвычайная ситуация, геоинформационные системы.

Features of operation of extended linear technical systems in conditions of cold climate, risk analysis of emergency situations have been considered. Geoinformation approaches for drawing up specialized maps of geoeological orientation that are part of the system of prevention and minimization of damages from possible natural and technogenic accidents and disasters have been suggested.

Key words: extended linear technical systems, risk analysis, emergency situation, geoinformation systems.

Линейные технические системы: магистральные трубопроводы, железнодорожные пути отличаются по сравнению с другими видами транспорта значительной протяженностью, а также высокой уязвимостью от агрессивных воздействий со стороны внешней среды. Кроме того, по длине трассы меняются конструктивно-технологические параметры и эксплуатационные условия, что ведет к изменению вдоль трассы, как интенсивности аварий, так и сценариев их развития и величины ущерба.

При эксплуатации протяженных линейных технических объектов возникают аварии и чрезвычайные ситуации, связанные с нарушением технологических регламентов и режимов при строительстве и эксплуатации, заводскими дефектами оборудования и материала, опасными природными явлениями и взаимодействием технологических элементов с природной средой, человеческим фактором.

В настоящее время на территории Якутии ведется интенсивное строительство третьей нитки газопровода Мастаах–Берге–Якутск, нефтепровода ВСТО, железной дороги Беркакит–Якутск–Магадан.

Главной опасностью при возникновении аварий на данных объектах являются выбросы в атмосферу химических веществ, пожары, причинение вреда населению и природным объектам.

Железнодорожный транспорт является потенциальным источником возникновения чрезвычайных ситуаций с большим числом пострадавших, значительным материальным ущербом, наступлением неблагоприятных экологических последствий.

При анализе факторов риска необходимо учитывать не только вопросы диагностики и контроля технического состояния линейных природно-технических объектов, но и влияние на них природной и геологической среды.

При определении роли природных и опасных геологических процессов в возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций, присущих климатическим условиям Севера, следует учитывать следующие процессы, которые часто служат причиной аварии на техногенном объекте [1–3]:

КАПИТОНОВА Тамара Афанасьевна – к.ф.-м.н., ученый секретарь ИФТПС СО РАН, kapitonova@iptpn.usn.ru; СТРУЧКОВА Галина Прокопьевна – к.т.н., в.н.с. ИФТПС СО РАН, g.p.struchkova@iptpn.usn.ru.

1) метеоэкологические, связанные с погодными и климатическими явлениями (ураган, ливни, снегопады, смог и др.);

2) геоэкологические, связанные с проявлением геолого-геоморфологических явлений (землетрясение, термокарст, термоэрозия, осыпь, оползень, просадка);

3) гидроэкологические (паводок, подъем – падение уровня грунтовых вод, их загрязнение).

Причины возникновения опасных геологических процессов при строительстве и эксплуатации линейных сооружений (железных дорог, трубопроводов) в условиях криолитозоны – нарушение в процессе строительства поверхностного растительного покрова и почвенно-дернового горизонта. В результате техногенного нарушения теплообмена в ландшафтах происходит изменение условий поверхностного и подземного стоков. При нарушениях технологии строительства линейных природно-технических объектов происходит перекрытие естественных путей стока поверхностных вод, что ведет к заболачиванию, связанному с условиями прохождения трассы через мари, аласы, долины рек и ручьев, характеризующихся слабой дренажирующей способностью грунтов. Заболачивание приводит к резкому изменению несущей способности оттаявших грунтовых масс, которое приводит к просадкам, подтоплению и деформациям линейных систем.

Опасные геологические процессы, вызванные техногенным влиянием, отличаются от природных расположением, непосредственно связанным с инженерным сооружением, большой интенсивностью проявления, более быстрым протеканием во времени, направлением, отличным от свойственного аналогичным природным явлениям в данной местности, а часто и противоположным ему.

Анализ опасных геологических процессов на протяженных линейных объектах должен учитывать преобладающий механизм взаимодействия (механическое, тепловое, коррозионное).

Общую последовательность развития разрушения трубопровода можно представить следующим образом. В результате циклических напряжений, созданных опасными геологическими экзогенными процессами, перепадами температуры окружающей среды и колебаниями рабочего давления за время эксплуатации трубопровода, около дефектов (пор, непроваров, шлаковых включений и т.д.) накапливаются повреждения, которые служат зародышем магистральной трещины. При механическом нагружении конструкции размеры уже имеющихся в металле начальных дефектов увеличиваются, а также зарождаются и развиваются трещины

около других дефектов. Агрессивная среда также существенно ускоряет развитие трещин под механическим напряжением [4].

Для оценки коррозионной агрессивности грунтов используется большое количество показателей: гранулометрический состав грунтов, влажность, ионный состав водной вытяжки, электрическое сопротивление грунтов (ρ), кислотность (pH), концентрация молекулярного водорода (rH_2), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) [5]. Однако в криолитозоне не все показатели имеют одинаковую значимость для оценки активности коррозии.

Рельеф, как и растительность, определяют различную увлажненность грунтов по трассе, что влияет на доступ кислорода к трубопроводу и величину разности потенциалов «труба – земля» вдоль трубопровода. Чем больше неоднородность в пределах какого-либо ландшафтного типа факторов, определяющих степень аэрации, тем более коррозионно-опасным должен быть данный ландшафтный тип (таблица). Поскольку существует тесная связь между степенью аэрации и величиной окислительно-восстановительного потенциала, постольку степень неравномерности распределения величины Eh вдоль трубопровода может иметь решающее значение для коррозии металла, из которого он изготовлен [6].

Очень эффективным показателем коррозионной агрессивности грунтов в области криолитозоны является амплитуда колебания показателя Eh . При этом неоднородность Eh в криолитозоне может дополнительно возрасти за счет чередования вдоль газопровода талых и мерзлых зон, а также, возможно, и вследствие неоднородности криогенного строения грунтов [6].

Наличие в металле водорода также значительно понижает трещиностойкость и хладостойкость металлов, при этом играют роль следующие факторы: локальная коррозия в вершине возникшей трещины адсорбционное понижение прочности металла в результате абсорбции на его поверхности компонентов среды. Различают два основных вида коррозии под механическим напряжением: коррозионное рас-

Стандартное отклонение (ΔEh) окислительно-восстановительного потенциала в различных ландшафтных типах

Ландшафтный тип	ΔEh , мВ
Лес	57
Тундра	78
Торфяник	104
Болото	108

трескивание (разрушение металлов под совместным воздействием статической нагрузки и агрессивности среды) и коррозионная усталость (разрушение при одновременном воздействии периодической нагрузки и агрессивной среды).

Особенно интенсивно коррозионное растрескивание протекает в сероводородосодержащих средах, в которых при взаимодействии металла и сероводорода выделяется водород. Ионы водорода в ходе катодного процесса восстанавливаются на поверхности металла, часть из них поступает в металл и способствует его коррозионно-механическому разрушению (процесс охрупчивания) [7].

Причины аварий разнообразны, но есть факторы, присущие специфике трубопроводного транспорта – высокий уровень внутренних напряжений, циклические нагрузки, гидравлические удары и железнодорожного – большие скорости движения, слабое сцепление металлических колес поезда с рельсами, а также высокая масса поездов, наличие электрического тока высокого напряжения (до 30 кВ); многообразие поражающих факторов и возможность их комбинированных сочетаний.

Поражающими факторами рассмотренных аварий являются:

- ударная волна;
- тепловое излучение и горячие продукты горения;
- токсичные продукты горения;
- осколки разрушенного оборудования, емкостей, обрушение зданий и конструкций;
- загрязнение водной и воздушной среды, почв и грунтов при разливе токсичных продуктов.

При анализе взаимного влияния природно-техногенных факторов учитывается весь комплекс ландшафтных природных факторов, рельеф, растительность, почвы, поверхностные и грунтовые воды, снежный и ледовый покров [8].

Итак, влияние природных и геологических факторов может вызвать следующие причины разгерметизации магистральных трубопроводов:

- создание напряжений в теле конструкции, связанных с механическим перемещением, провисанием, перекручиванием из-за изменения рельефа поверхности (протаивание и размывка грунтов);
- создание сложно деформированного состояния конструкции, вызываемого пучением грунтов при промерзании и осадке, связанным с оттаиванием и замерзанием при циклических сезонных мерзлотных процессах;
- внешняя и внутренняя коррозия.

В качестве примера пространственного отображения комплексного взаимодействия факторов с линейными протяженными объектами бы-

ли рассмотрены участки нефтепровода ВСТО–1 с развитием термокарста 3-й категории опасности с учетом коррозионной опасности, величина которой оценивалась в баллах в зависимости от ландшафтного типа участка. Участки с развитием термокарста были выявлены, и их категория опасности была оценена в ходе аэровизуального обследования трассы и подтверждена в ходе полевых работ, физико-механические свойства грунтов были получены в результате инженерно-геологических изысканий.

Одним из этапов анализа рисков является определение уязвимости территории развития чрезвычайной ситуации и их последствий. Характер нефтяного загрязнения существенно определяется рельефом и почвенно-гидрологическими особенностями местности и сезонностью. Возвышенные, изрезанные долинами ручьев ландшафты с холмисто-увалистым рельефом обуславливают небольшие площади разливов и вытянутую форму нефтяного пятна. Наибольшие по площади разливы имеют место на верховых олиготрофных болотах с высоким уровнем грунтовых вод. Уязвимость по отношению к нефтяному загрязнению характеризуется ярко выраженной сезонностью.

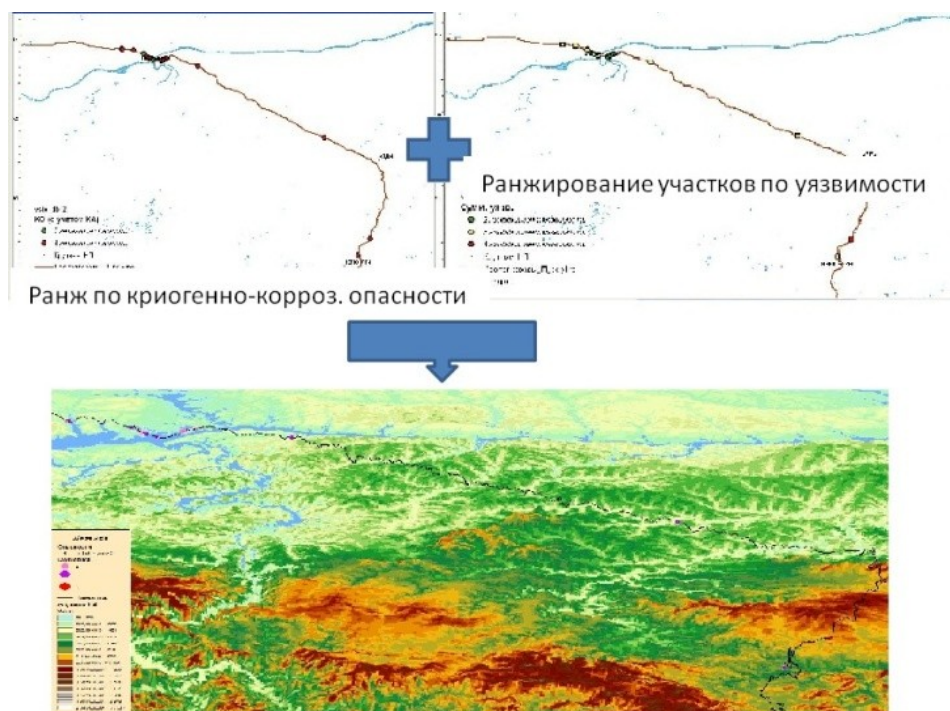
По результатам обследования [9] выделено три основных типа ландшафтов, имеющих существенные различия по плотности загрязнения и характеру распределения загрязнителя:

- дренированный холмисто-увалистый ландшафт возвышенности и высоких уровней поймы;
- ландшафт водораздельных пространств с рельефом и высокой степенью заболоченности;
- плоский ландшафт низких уровней поймы рек.

Доля загрязненных земель на дренированных территориях с увалистым рельефом в 4,2 раза меньше таковой на заболоченных пространствах. Выравненность рельефа, высокий уровень грунтовых вод, несвоевременность ликвидации аварий ввиду ограниченной транспортной доступности способствуют широкому растеканию нефти и незначительному проникновению загрязнителя в глубину почвенного профиля.

В качестве примера потенциально опасные участки территории прохождения магистрального нефтепровода ВСТО были ранжированы по уязвимости, величина которой оценивалась в баллах в зависимости от ландшафтного типа участка.

На рисунке приводится суммарное ранжирование участков нефтепровода с развитием криогенных процессов по потенциальной криогенно-коррозионной опасности с учетом уязвимости территории.



Ранжирование участков нефтепровода по потенциальной криогенно-коррозионной опасности с учетом уязвимости территории

Природные и геологические факторы стремятся нарушить устойчивость технической составляющей, возникают предаварийные ситуации, но на начальном этапе никаких признаков нарушения в техническом состоянии сооружений не имеется. Мониторинг за изменением состояния природно-технической системы позволяет обнаружить начальные формы проявления опасных природно-техногенных процессов и прогнозировать возникновение аварий.

Литература

1. Слепцов О.И., Левин А.И., Стручкова Г.П., Семенова Т.И. Безопасность РС(Я): социальные, экономические и техногенные проблемы / Под редакцией В.Ю. Фридовского, В.А. Прохорова. – Новосибирск: Наука, 2008. – 296 с.
2. Слепцов О.И., Лыглаев А.В., Капитонова Т.А., Стручкова Г.П. Исследование техногенных аварий и антропогенных воздействий на экологическую безопасность Республики Саха (Якутия) // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2007. – №8470, 4. – С. 88–94.
3. Капитонова Т.А., Стручкова Г.П., Тарская Л.Е., Ефремов П.В. Основные геологические риски для трубопроводов в условиях криолитозоны // VI Евразийский симпозиум по проблемам прочности мате-

риалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD – 2013, 24–29 июня 2013 г. – Якутск. – Т. 3. – С. 126–141. (№ гос. регистрации 0321304634).

4. Ершов Э.Д. Физикохимия и механика мерзлых пород. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 332 с.

5. ГОСТ 9.602–89. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.

6. Великоцкий М.А., Марахтанов В.П. Оценка коррозионной агрессивности ландшафтов криолитозоны // Труды Десятой Межд. конф. по мерзлотоведению. Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2012. – С. 97–101.

7. Рябоштан Ю.С., Селюков Е.И. и др. Современная нестабильность литосферы и безопасность трубопроводных коммуникаций инфраструктур // Нефтегазовое дело. – 2003. – № 1.

8. Марахтанов В.П., Великоцкий М.А. Оценка влияния ландшафтных условий на техническое состояние газопроводов Севера // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 4.

9. Чижов Б.Е., Долингер В.А., Захаров А.И. Особенности нефтяного загрязнения территории Ханты-Мансийского автономного округа // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2007. – № 8. – С. 15–21.

Поступила в редакцию 15.01.2014