

Особенности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России и пути их парирования на основе концепции риска *

Н. А. Махутов¹, член-корреспондент РАН

Рабочая группа при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности

М. М. Гаденин², кандидат технических наук

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН

М. П. Лебедев, член-корреспондент РАН, А. М. Большаков³, доктор технических наук,

А. П. Аммосов⁴, доктор технических наук, А. С. Сыромятникова⁵, кандидат физико-математических наук,

М. И. Захарова⁶, П. П. Пермьяков⁷, доктор физико-математических наук

Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова Сибирского отделения РАН, Якутск

Ю. С. Глянцева⁸, кандидат химических наук, О. Н. Чалая⁹, кандидат геолого-минералогических наук,

С. Х. Лифшиц¹⁰, кандидат химических наук, И. Н. Зуева¹¹, кандидат геолого-минералогических наук

Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН, Якутск

Современное развитие фундаментальной теории безопасности диктует необходимость введения в практику обеспечения безопасных условий при эксплуатации объектов техносферы и окружающей среды (в том числе с учетом условий и климатических особенностей районов Севера и Сибири), а также нормируемых параметров рисков и безопасности, обосновываемых по критериям надежности, прочности, ресурса, живучести эксплуатируемых технических систем. Рассматривается методология анализа рисков возникновения чрезвычайных ситуаций в характерных для зоны Арктики условиях и приводятся результаты исследований условий возникновения таких ситуаций включая разрушения нефтепроводов и хранилищ, разливы нефтепродуктов и загрязнения почвы, наводнения и связанные с ними ущерб, прощадки трубопроводов в зонах мерзлоты и др., описываются методы их парирования.

Ключевые слова: Арктическая зона, природно-климатические факторы, чрезвычайные ситуации, теория безопасности, техногенная безопасность, риск, ущерб, мониторинг рисков, объекты техносферы, предельные состояния, разрушения трубопроводов, наводнения, затопления, протаивание почвы, загрязнения нефтепродуктами, картографирование местности, прогноз и предотвращение чрезвычайных ситуаций.

Постановка проблемы

Современное развитие фундаментальной теории безопасности обосновывает введение в практику обеспечения требуемых параметров состояния объектов техносферы и окружающей среды, в том числе с учетом условий и климатических особенностей районов Севера и Сибири, нормируемых параметров рисков и безопасности, обосновываемых по

критериям надежности, прочности, ресурса, живучести. Ключевым фактором в решении данной проблемы должно стать использование концепции мониторинга рисков, основанной на непрерывном или периодическом получении информации по диагностике состояний и базовых параметров опасностей при эксплуатации рассматриваемых объектов. Один из важных этапов решения проблемы обеспечения

* По материалам докладов на VI Евразийском симпозиуме по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, посвященном 75-летию академика В. П. Ларионова. Якутск, 24–29 июня 2013 г.

¹ e-mail: kei51@mail.ru.

² e-mail: safety@imash.ru.

³ e-mail: a.m.bolshakov@iptpn.ysn.ru.

⁴ e-mail: ammosov37@mail.ru.

⁵ e-mail: sas@iptpn.ysn.ru.

⁶ e-mail: marine3@yandex.ru.

⁷ e-mail: p.p.permyakov@iptpn.ysn.ru.

⁸ e-mail: geochemlab@ipng.ysn.ru.

⁹ e-mail: o.n.chalaya@ipng.ysn.ru.

¹⁰ e-mail: s.h.lifshits@ipng.ysn.ru.

¹¹ e-mail: i.n.zueva@ipng.ysn.ru.

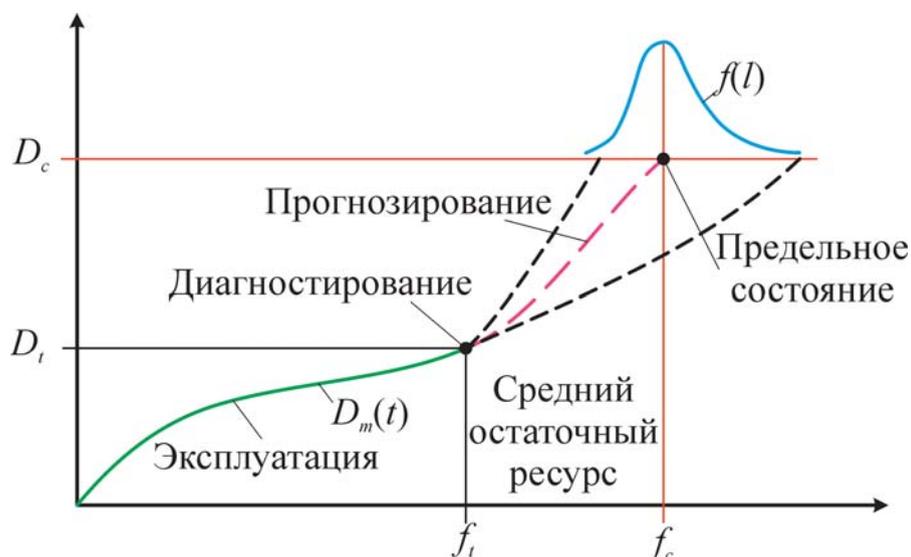


Рис. 1. Схема прогнозирования безопасного остаточного ресурса

условий безопасной эксплуатации — взаимоувязанное развитие и использование комплексной системы диагностики и мониторинга состояния материалов и элементов конструкций в штатных и аварийных ситуациях, мониторинг формирующихся и реализуемых рисков их эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла и функционирование систем защиты таких объектов от аварий и катастроф по мере выхода рисков за пределы приемлемых и приближении их к предельным [1—5].

Риски как междисциплинарная научная основа оценки комплексной безопасности базируются на закономерностях, методах, уравнениях и критериях, полученных в фундаментальных областях знаний — математике, физике, химии, механике, информатике, машиноведении, биологии, физиологии, геологии, геофизике, физике атмосферы и океана, географии, философии, социологии, психологии, экономике, правоведении [3—5]. Обобщающими для анализа интегральных рисков являются развитые теории системного анализа, теории хаоса и порядка, теории управления, теории катастроф и построения защит, методы математического и имитационного моделирования, прогнозирования, математической статистики, методы и системы диагностики и мониторинга.

Под рисками $R(t)$ в теории безопасности понимаются такие сочетания вероятностей $P(t)$ возникновения во времени t неблагоприятных событий (опасных и кризисных явлений, катастрофических, аварийных и чрезвычайных ситуаций), с одной стороны, и математического ожидания порождаемых ими ущербов $U(t)$ — с другой, которые определяют изменение уровня безопасности и состояние систем защищенности человека, объектов инфраструктуры

и среды обитания от угроз и опасностей внутреннего и внешнего характера — техногенных, природных, антропогенных.

$$R(t) = F_R \{P(t), U(t)\}.$$

Как известно [4; 5], в процессе эксплуатации объекта техносферы в нем происходит накопление повреждений по некоторой траектории $D(N, t, \sigma)$, определяемой параметрами нагружения — числом циклов N , напряженностью σ , дефектностью l (рис. 1).

Для обеспечения безопасной эксплуатации машин и конструкций вместо критических повреждений D_c , соответствующих достижению предельных состояний, с использованием системы коэффициентов запаса в расчет могут вводиться допустимые повреждения $[D]$. Уровни D_c и $[D]$ разделяют область безопасной эксплуатации и область ограниченной безопасности и опасности (риска). Мониторинг параметров состояния объекта в этих областях и является основой для анализа рисков нахождения объекта в том или ином состоянии и условий его перехода между ними. Результаты оценки состояния объекта по представленной на рис. 1 схеме имеют вид статистической функции f и не являются окончательным решением задачи, в состав которого входит также и определение интервала времени Δt до проведения следующей экспертизы состояния рассматриваемого объекта.

При вероятностной оценке интервала Δt в качестве критерия безопасности должен быть принят риск R_f возможности достижения предельного состояния. Назначенный интервал Δt должен

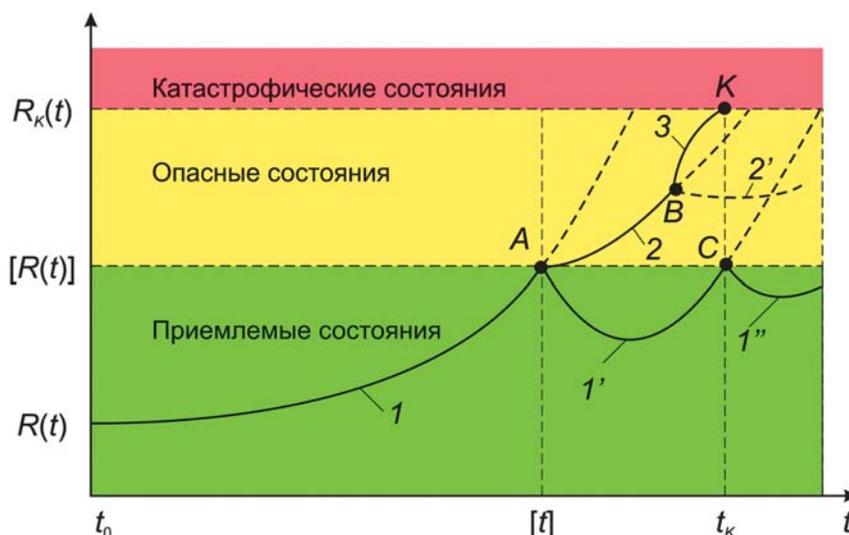


Рис. 2. Диаграмма изменения рисков $R(t)$ в процессе эксплуатации объекта

обеспечивать вероятность возможного разрушения не выше заданного уровня $[R_f]$ риска. Величина этого риска должна назначаться с учетом характера (класса) потенциальной опасности объекта. Если при этом использовать рекуррентные соотношения для вероятностей перехода объекта в предельное состояние $R_f(t)$, то можно получить выражение для оценки оптимального времени до следующего момента контрольного обследования объекта.

В общем случае возможны два основных типа сценариев кинетики (изменения) рисков $R(t)$ во времени t (рис. 2). К первому относятся сценарии управления безопасностью анализируемых объектов в условиях устойчивого (нормального, штатного) функционирования системы в целом с монотонным ростом рисков $R(t)$ до приемлемых уровней $[R(t)]$ в момент времени $[t]$ в точке A по линии 1 . При этом критические риски $R_i(t)$ не достигаются. В этот момент требуется проведение специальных мероприятий по снижению текущих рисков $R(t)$ по линии $1'$ до точки C и далее по линии $1''$, когда риски для рассматриваемой системы сохраняют приемлемые уровни.

Ко второму типу относятся сценарии, при которых могут возникать точки неустойчивости A и B с опасным ростом рисков по линиям 2 и 3 до критической точки K при времени $t = t_k$, а величина $R(t)$ в этом случае равна $R_i(t)$. Точками неустойчивости (бифуркации) в системе могут быть появления зон локальной поврежденности в объекте, возникновение внешних угроз его штатной эксплуатации, несанкционированное воздействие на рассматриваемый объект и т. п.

В целях уменьшения вероятности возникновения нештатных ситуаций (с соответствующим повышением рисков их реализации) и снижения возможного ущерба от их проявления для потенциально опасных объектов техносферы должен быть реализован

комплекс мероприятий, учитывающий характер источников опасности и особенностей их проявления, допустимые режимы эксплуатации применительно к каждой фазе нарастания рисков, возможности применения средств парирования угроз на основе результатов комплексной диагностики и мониторинга рассматриваемого объекта.

Для решения задач обеспечения условий безопасной эксплуатации объектов природно-техногенной сферы в условиях Сибири и Севера требуется в первую очередь применение комплекса современных методов и средств контроля параметров состояния этих объектов и окружающей среды в рассматриваемых условиях при возможно более широком диапазоне их изменения (в том числе и за пределами штатных режимов), применение систем мониторинга и анализ данных об окружающей среде и возможных внешних воздействиях на анализируемую систему, использование банков данных и баз знаний по источникам опасностей и сценариям развития нештатных ситуаций, критериям их оценки и алгоритмам превентивных действий для парирования чрезвычайных ситуаций по программируемым командам системы мониторинга рисков [1—5].

Чрезвычайные ситуации в условиях низких климатических температур

Арктическая зона составляет 18% территории России — 3,1 млн км², она включает в себя целиком или частично территории девяти субъектов Федерации. Особенности влияния климата на условия эксплуатации объектов техносферы с учетом природных факторов были детально обсуждены на состоявшемся в июне 2013 г. в Якутске VI Евразийском симпозиуме по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, посвященном 75-летию академика В. П. Ларионова, поскольку Республика Саха (Якутия) наиболее

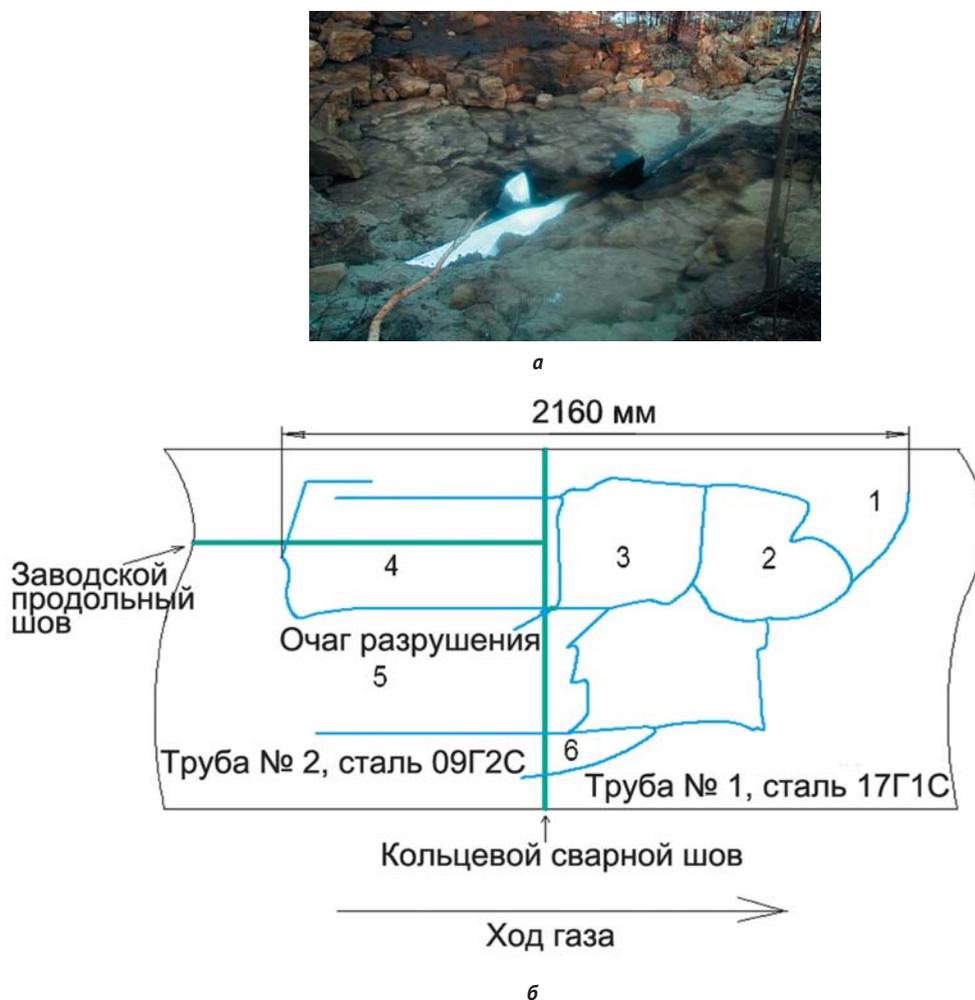


Рис. 3. Общий вид (а) и схема (б) разрушения магистрального газопровода (1–6 – номера фрагментов трубы)

контрастно демонстрирует присущие районам Арктики природно-климатические факторы [2]. Ее территория составляет пятую часть территории всей России, причем 40% ее площади находится за Северным полярным кругом, а в районе Оймякона-Верхоянска находится «полюс холода» Северного полушария, где температура зимой доходит до -70°C . При этом практически вся территория республики находится в зоне вечной мерзлоты, глубина которой местами достигает 500 м и более.

Главным инструментом освоения и развития российской Арктики является Арктическая транспортная система, обеспечивающая грузопотоки на всем протяжении береговой линии России в Северном Ледовитом океане, а это 20 000 км. Ее базовым элементом является Северный морской путь — важнейшая транспортная магистраль, обеспечивающая грузопотоки между арктическими регионами и лежащими к югу от них промышленно развитыми территориями [6].

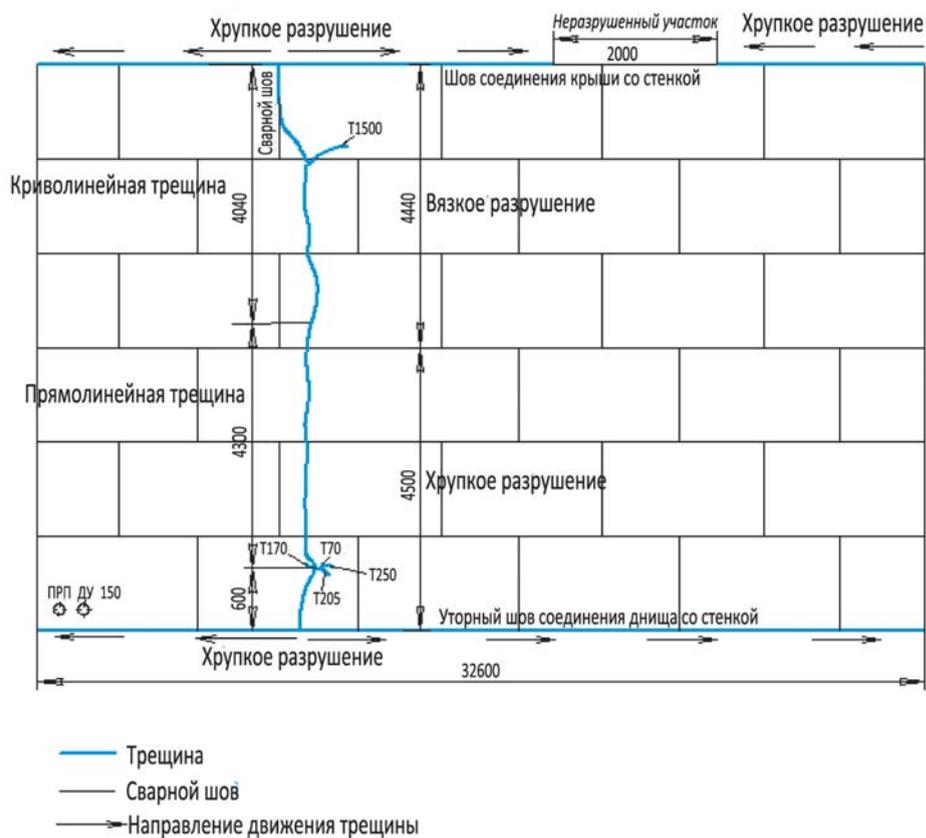
Источниками возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) в экстремальных природных условиях Сибири и Севера могут быть как непосредственно

эксплуатируемые машины и оборудование, так и производства по добыче и транспортировке полезных ископаемых включая добычу углеводородов. Факторы воздействия окружающей среды (климатические, динамические и др.) на объекты техносферы могут привести к изменению параметров и состояния их работоспособности [1; 2; 6—15]. Для элементов технических систем, эксплуатируемых в условиях Севера, определяющим внешним фактором являются низкие температуры атмосферного воздуха, которые ухудшают основные физико-механические свойства конструкционных материалов, повышают их склонность к хрупкому разрушению как потенциальному источнику возможной аварии [3—8; 11; 16; 17].

Анализ разрушений крупногабаритных тонкостенных металлоконструкций (газо- и нефтепроводов большого диаметра, резервуаров, сосудов давления и др.) в рассматриваемых условиях холодного климата показывает, что трещина, получившая распространение в новых конструкциях, останавливается, а в длительно эксплуатировавшихся разветвляется, приводя к катастрофическому, осколочному характеру



а



б

Рис. 4. Общий вид (а) и схема (б) разрушения резервуара

разрушения. Впервые хрупкое разрушение труб газопровода «Мастах — Берге — Якутск» произошло в апреле 2003 г. после его многолетней эксплуатации [16; 17]. Авария представляла собой раскрытие металла вдоль трубопровода с многочисленными ветвлениями трещины (рис. 3). Общая протяженность разрушения трубы составляла 2160 мм. Очагом хрупкого разрушения послужила протяженная усталостная трещина в зоне термического влияния монтажного кольцевого сварного шва. Если в трубе из стали 09Г2С, находившейся в эксплуатации менее 10 лет,

трещина распространялась прямолинейно, а затем закольцевалась и остановилась, то в трубе из стали 17Г1С, эксплуатирующейся с момента ввода газопровода в эксплуатацию в 1978 г., трещина распространялась с ветвлением, что привело к фрагментации трубы при разрушении и к осколочному разрушению.

В декабре 2007 г. произошло хрупкое разрушение введенного в эксплуатацию в 1970 г. резервуара (рис. 4) при температуре наружного воздуха -35°C в результате развития трещины с ветвлением по основному металлу его стенки в вертикальном

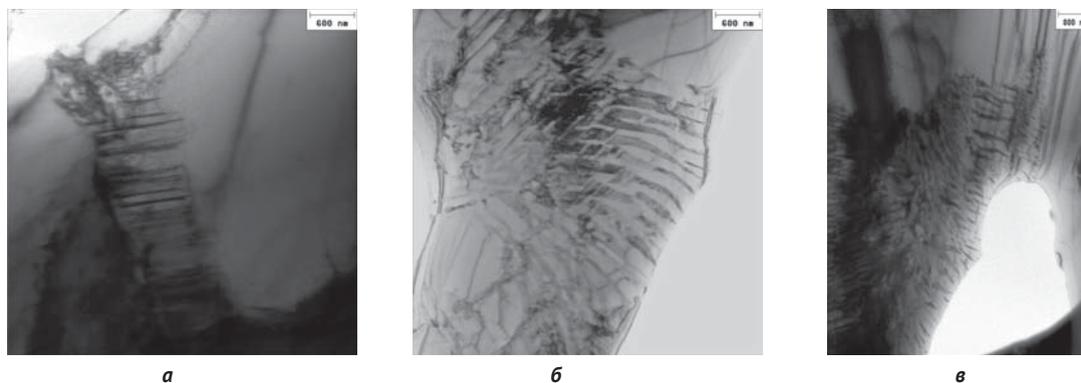


Рис. 5. Структура перлитных колоний металла трубы из аварийного запаса (а) и после длительной эксплуатации (б, в)

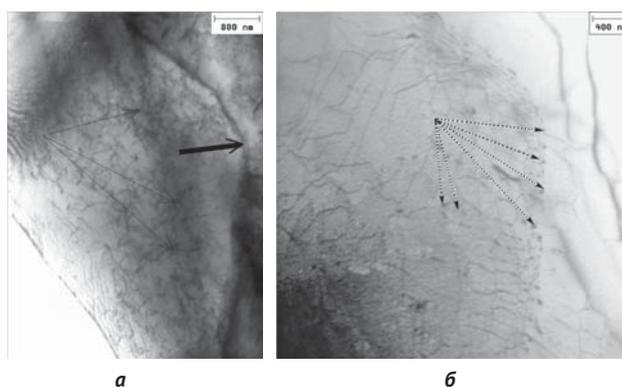


Рис. 6. Хаотичное распределение дислокаций в теле ферритных зерен металла трубы из аварийного запаса – плотность дислокаций не менее 10^9 см^{-2} (а); формирование сетчатой дислокационной структуры в металле трубы после длительной эксплуатации – плотность дислокаций около 10^8 см^{-2} (б)

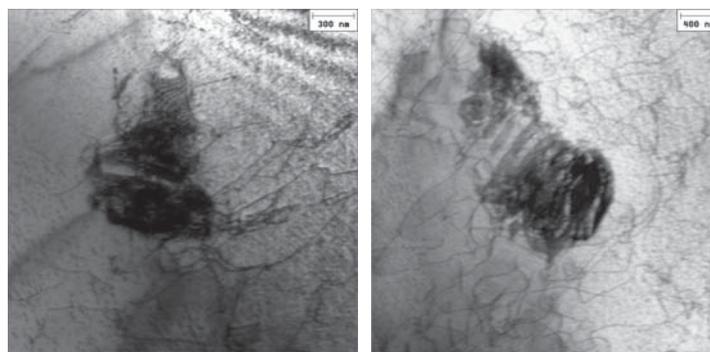


Рис. 7. Карбидные образования в свободном феррите металла трубы после длительной эксплуатации

направлении. При этом произошел разлив 422 т сырой нефти; общая площадь разлива составила около 5000 м². Авария произошла в результате распространения усталостной трещины, очагом которой послужила несплошность металлургического характера в основном металле стенки.

Исследование физико-механических характеристик, микроструктуры и тонкой структуры металла труб магистрального газопровода

«Мастах — Берге — Якутск» (сталь 09Г2С) после длительной (около 30 лет) эксплуатации в условиях вечномерзлых грунтов показало, что на нанометровом масштабном уровне протекают следующие структурно-деградационные процессы: деформация и разрушение цементита в перлитных колониях (рис. 5), эволюция дислокационной субструктуры (рис. 6) и образование карбидных выделений в объеме ферритных зерен (рис. 7).

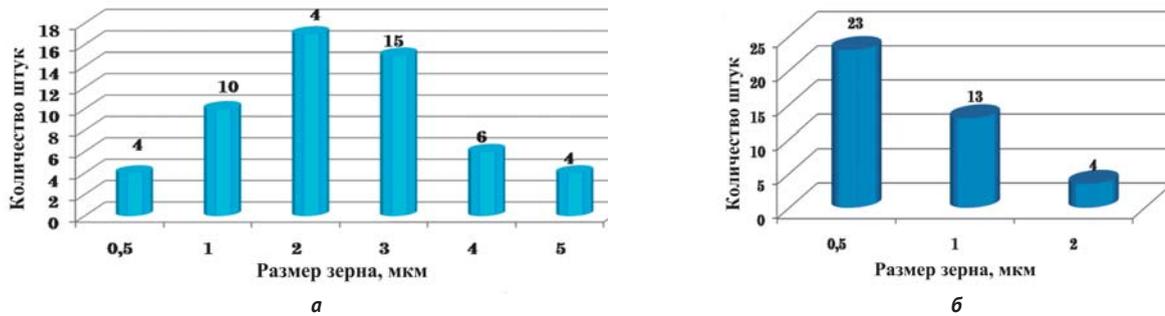


Рис. 8. Размерное распределение перлита в металле труб из аварийного запаса (а) и после эксплуатации (б)

Эти процессы на микроуровне приводят к уменьшению содержания и изменению характера размерного распределения перлитных колоний (рис. 8), изменению микротвердости фазовых составляющих стали (рис. 9), а на макроуровне — к деградации его механических свойств: снижению ударной

вязкости (рис. 10), значительному понижению характеристик, отражающих сопротивление хрупкому разрушению, — критической температуры хрупкости (рис. 11) и работы распространения трещины (рис. 12) в диапазоне климатических температур.

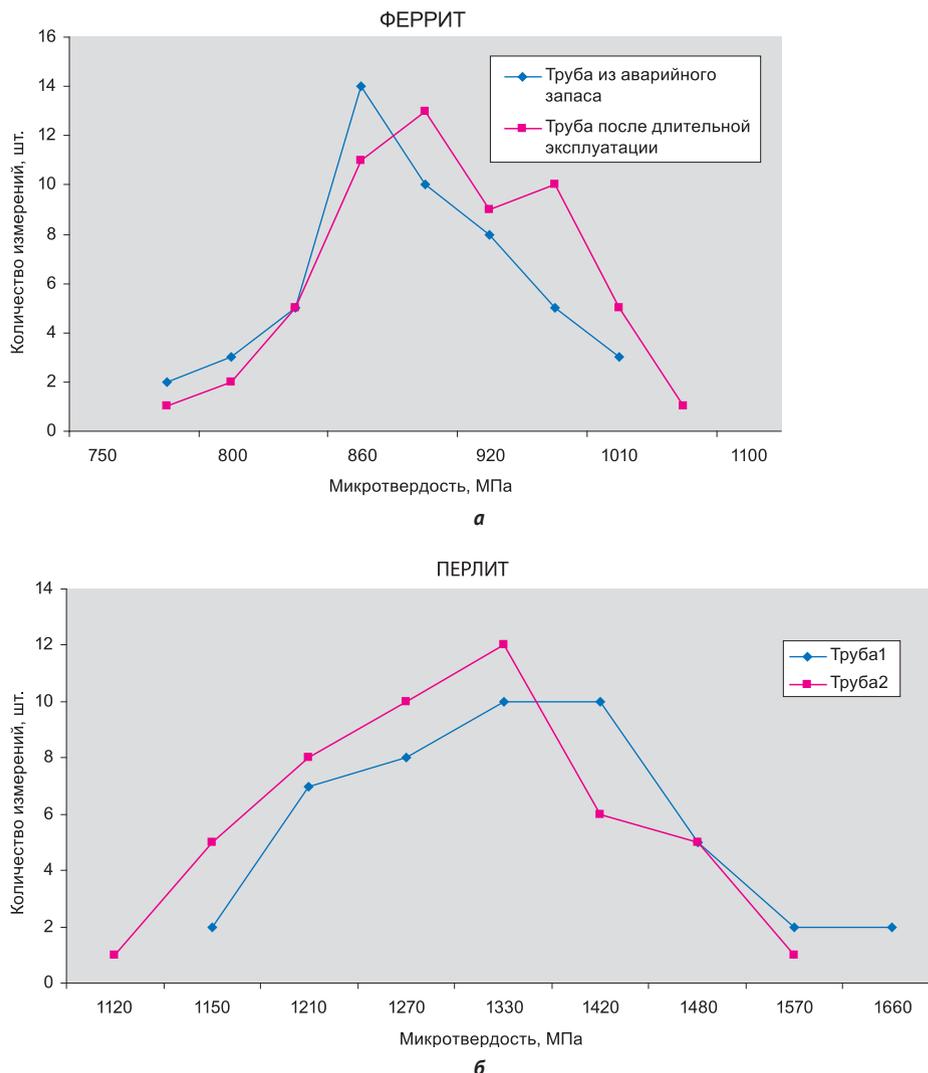


Рис. 9. Частотное распределение микротвердости ферритной (а) и перлитной (б) составляющих металла труб

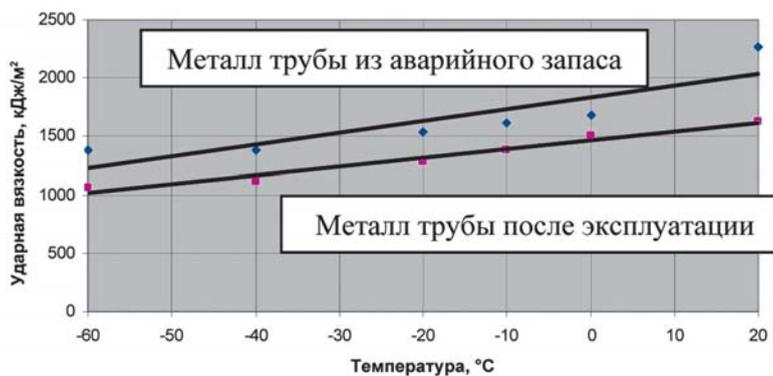


Рис. 10. Температурная зависимость ударной вязкости металла труб

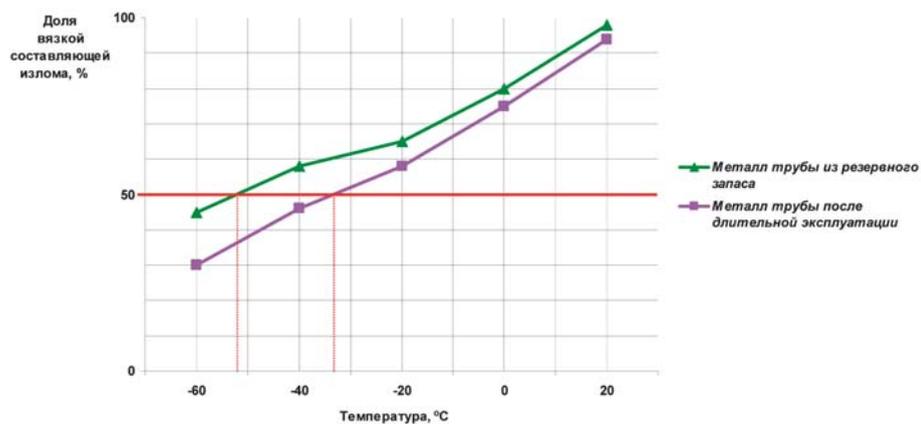


Рис. 11. К определению критической температуры хрупкости T_{50} по доле вязкой составляющей в изломе B

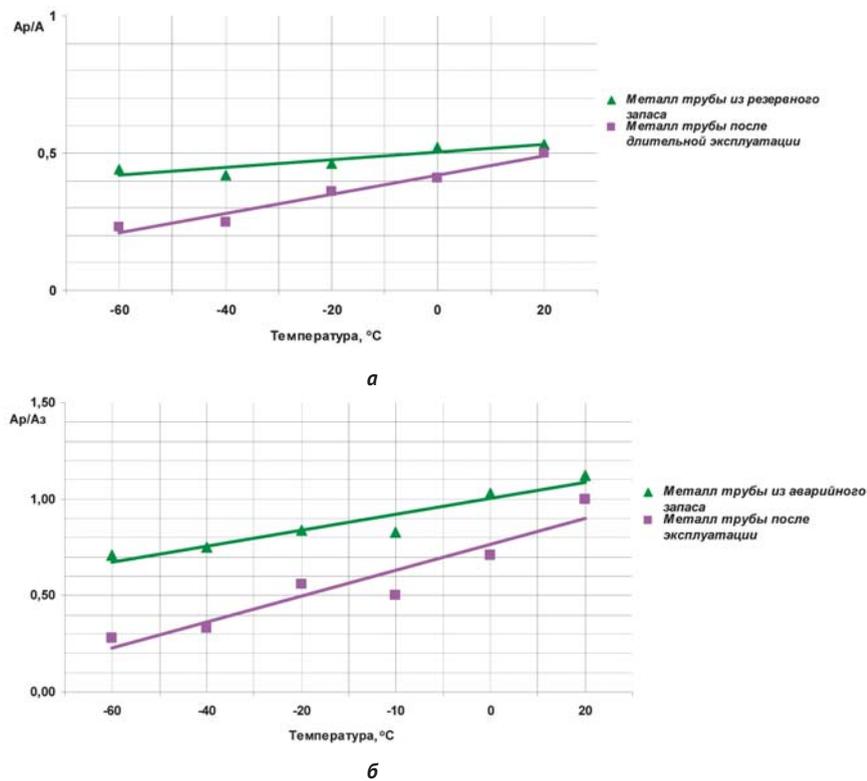


Рис. 12. Температурные зависимости отношений A_p/A (а) и A_p/A_3 (б) при испытаниях на ударный изгиб (A – полная работа разрушения, A_p – работа распространения трещины, A_3 – работа зарождения трещины)

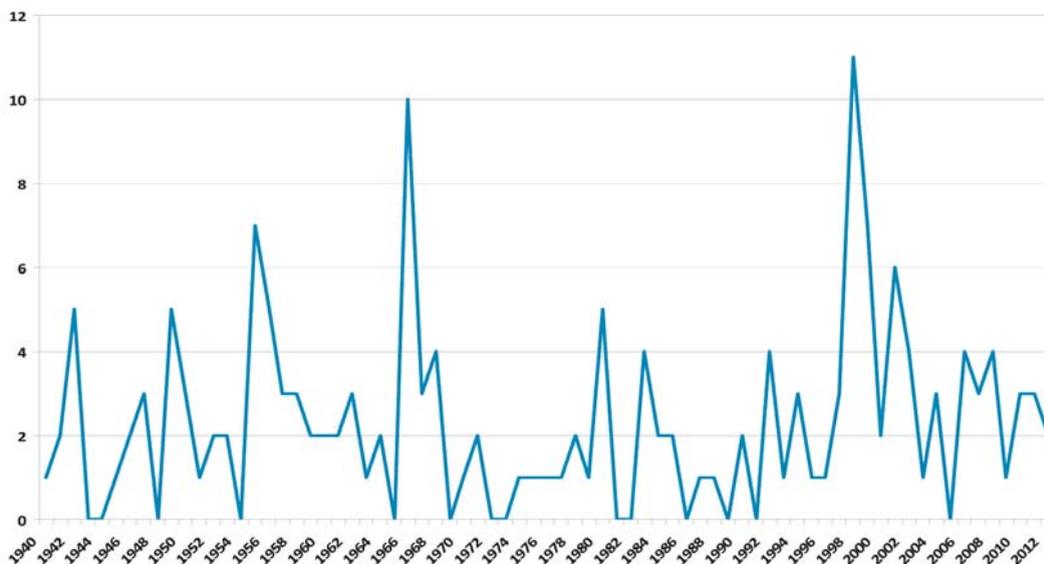


Рис. 13. Число случаев наводнений на территории Якутии с 1940 по 2012 гг.

Потенциальные опасности и особенности их проявления в условиях Сибири и Севера

Причинами возникновения чрезвычайных ситуаций в районах Севера могут быть также затопления и наводнения на территориях, где расположены хранилища углеводородов. На рис. 13 приведены данные [2] о случаях возникновения наводнений на реках Якутии (Лене, Алдане, Амге, Колыме, Яне, Индигирке) с 1940 по 2012 гг.

В результате разделения опасности затопления населенных пунктов по происхождению и по распространенности на территории Республики Саха (Якутия) выявлено, что по происхождению наивысшие годовые уровни различаются на заторные, дождевые паводки и максимумы реки Алазеи. По времени наблюдения заторные явления наблюдаются при вскрытии реки, поэтому они имеют место в мае и начале июня для устьевых участков Лены, Яны, Индигирки, Колымы.

На средней Лене наивысшие годовые уровни, затапливающие населенные пункты, могут наблюдаться при прохождении второй волны весеннего половодья гораздо реже. Такие явления чаще всего встречаются на участке Лены от устья Витима до Олекминска. Ниже Олекминска вторая волна весеннего половодья даже при превышении волны вскрытия реки не достигает опасных отметок, т. е. не затапливает населенные пункты.

В отличие от Лены наивысшие годовые уровни на Яне, Индигирке и верхней части Колымы имеют дождевое происхождение и поэтому наблюдаются после прохождения ледохода, с июня по август.

Верхняя часть Яны — это Верхоянский район, Индигирки — Оймьяконский и Момский районы, Колымы — Верхнеколымский район, т. е. в перечисленных

районах наряду с весенним половодьем опасные уровни наблюдаются и от дождевых паводков в июне-августе.

Наивысшие уровни Амги имеют чисто заторное происхождение, поэтому затопление населенных пунктов происходит в мае.

В отличие от Амги на Алдане наивысшие уровни воды, затапливающие населенные пункты, имеют как заторное, так и дождевое происхождение и чаще всего наблюдаются в Алданском и Усть-Майском районах. На территории Томпонского района и ниже наивысшие уровни дождевого происхождения не достигают опасных отметок, т. е. остаются ниже наивысших уровней воды при заторах.

Наивысшие годовые уровни воды — опасные явления, вызванные дождевыми паводками, — наблюдаются на Яне (выше устья Адычи), Адыче, Индигирке (выше устья Момы), Колыме (выше устья Ясачной), Алдане (выше устья Томпо).

Детальный анализ некоторых гидрологических особенностей ледостава и ледохода, возникновения навалов, в том числе при заторах, а также разрушения льда за период ледохода показывает, что перед ледоставом на всех реках Якутии начинается осенний ледоход, и продолжительность этого явления зависит от протяженности реки. Например, на Лене, имеющей протяженность примерно 4400 км, он составляет от 11 до 27 дней в зависимости от интенсивности осеннего похолодания. При этом со стороны устья продолжительность осеннего ледохода меньше, чем на верхней Лене, что связано с резкой континентальностью климата бассейна реки.

В связи с изменением в последние годы природно-климатических факторов, развитием интенсивных гидрологических и гидроморфологических русловых

Таблица 1. Общая осадка нефтепровода при различных значениях коэффициента сжимаемости грунта и толщины теплоизоляции

Метод решения	Сжимаемость грунта α , МПа-1	Толщина изоляции, м					
		Лиственный лес			Сосновый лес		
		0,00	0,015	0,09	0,00	0,015	0,09
Численный	0,03	0,49	0,47	0,07	0,56	0,56	0,24
	0,05	0,51	0,49	0,07	0,58	0,57	0,25
	0,07	0,53	0,50	0,07	0,60	0,58	0,26
СНиП	0,03	0,57	0,40	0,23	0,55	0,43	0,24
	0,05	0,59	0,42	0,23	0,57	0,44	0,25
	0,07	0,61	0,43	0,23	0,59	0,45	0,26

процессов на многих северных реках возникновение опасных явлений в виде наводнений и затоплений многих населенных пунктов вполне может усилиться, что приведет к значительному экономическому и экологическому ущербу.

Магистральные трубопроводы, в том числе нефтепродуктопроводы, имеют стратегическое значение для функционирования топливно-энергетической инфраструктуры и экономики страны. Опасные ситуации (повреждения, отказы, аварии и катастрофы), возникающие на различных стадиях жизненного цикла t трубопроводов, наносят разномасштабные ущербы $U_i(t)$ для операторов, населения, объектов техносферы и окружающей природной среды. Эти ущербы связаны с вероятностью $P_i(t)$ возникновения различных описанных выше опасных i -ситуаций. Величины $U_i(t)$ и $P_i(t)$ и определяют интегральные риски $R(t)$ функционирования магистральных трубопроводов [1; 5; 9; 11].

Инженерно-геологический анализ трассы нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан» (ВСТО) показывает [12; 13], что она подвергается следующим внешним опасным воздействиям: термокарст, оползни, промерзание внутримерзлотных таликов, термоэрозия, сейсмические сотрясения, курумы и т. д. Процесс карстообразования непрерывен вследствие природы растворения, выщелачивания трещиноватых растворимых горных пород подземными и поверхностными водами, в результате чего образуются «провальные» формы рельефа и различные полости.

Нефтепровод эксплуатируется при положительной температуре и подвергается термопросадке. Величина термопросадки рассчитывается по соответствующим методикам [12]. В табл. 1 приведены результаты общей осадки нефтепровода при различных значениях коэффициента сжимаемости грунта α и толщины теплоизоляции [2]. Величину осадки

оттаивающегося грунта рассчитывали двумя способами: по методу заполнения пор и по стандартной методике СНиП.

Лесная и кустарниковая растительность в связи с затеняющим эффектом снижает приток солнечной энергии к поверхности почвы, что способствует уменьшению ее летнего прогрева по сравнению с открытыми участками и задерживает снегонакопление.

Наличие соснового леса, как и других растительных покровов, обуславливает в летний период главным образом наличие затеняющего эффекта. При этом зимой высота снежного покрова несколько меньше, чем в поле. В связи с этим сосновый лес является охлаждающим фактором, разность среднегодовых температур пород в лесу и на открытом участке составляет 1—20°C [2]. Уменьшение солнечной радиации и специфические условия теплопередачи в растительном покрове обуславливают уменьшение интенсивности испарения в несколько раз по сравнению с открытыми ландшафтами. Так, испарение редкостойных сосновых и лиственных лесов составляет всего 35—40% испарения на открытых участках Центральной Якутии.

Лиственный лес с хорошо развитым мохово-лишайниковым покровом в летний период снижают приток солнечной энергии, препятствуют летнему прогреву почвы и вместе с тем уменьшают теплоотдачу с поверхности почвы, сокращают амплитуды температурного колебания и приводят к уменьшению глубин сезонного протаивания по сравнению с оголенной поверхностью.

По результатам численного эксперимента установлено, что при вырубке леса и нарушении растительного слоя глубина сезонного протаивания деятельного слоя возрастает, и происходит протаивание подземных льдов. Глубина протаивания на полосе вырубки составляет 1,60 м, а за пределами

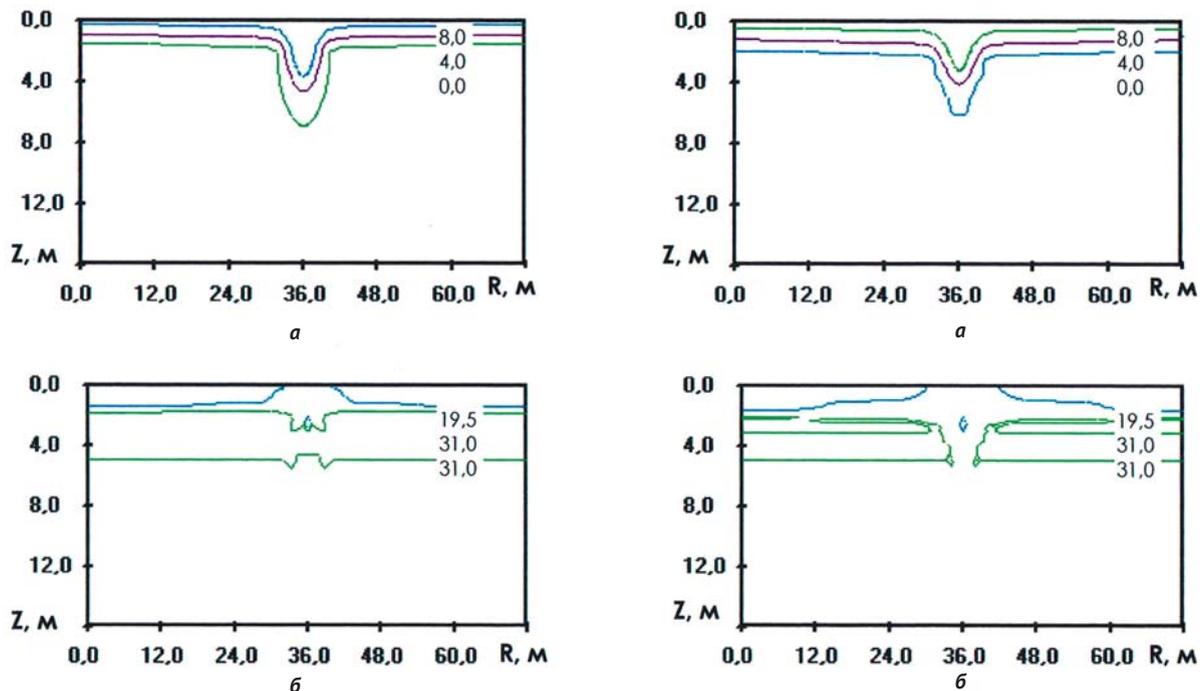


Рис. 14. Распределение температуры (а) и суммарной влажности (б) через 5 лет (сентябрь) в основании просеки лиственничного (слева) и соснового (справа) леса, где проложен нефтепровод с изоляцией 0,015 м

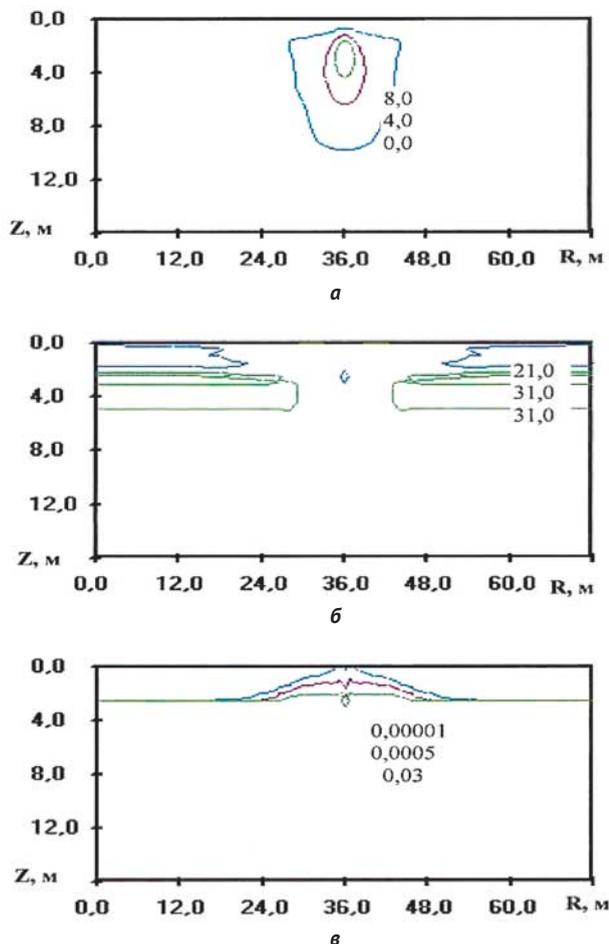


Рис. 15. Распределения температуры (а), суммарной влажности (б) и засоленности (в) через 10 лет (декабрь) эксплуатации трубопровода

полосы — примерно 1,40 м. За счет протаивания подземных льдов увеличивается увлажненность полосы, происходит проседание поверхности грунта просеки (на 2—5 см), что в дальнейшем играет роль «накопителя» поверхностных вод.

Прогноз развития экзогенных процессов выполнен для условий наличия подземного нефтепровода, который эксплуатируется при положительной температуре (19,1—23,3°C). На рис. 14 и 15 представлены распределения температуры (а) и суммарной влажности (б) через 5 и 10 лет эксплуатации в проектном режиме при различных толщинах теплоизоляции. С увеличением толщины изоляции процесс протаивания уменьшается. Вокруг нефтепровода образуется достаточно большая чаша протаивания, которая усиливает процесс увлажнения и осадки трубопроводной системы нефтепровода.

В соответствии с изложенным на основе использования разработанных алгоритмов и программ численного моделирования теплообменных процессов в двумерной области и с учетом направления переноса воды при различных насыщениях грунта, а также влияния просеки на тепловлажностный режим грунтового основания нефтепровода при различных растительных покровах и местных мерзлотных условиях установлено, что за счет протаивания подземных льдов увеличивается увлажненность грунта, а также происходит проседание поверхности грунта просеки. На основе серии численных экспериментов по прогнозу развития теплообменных процессов грунтового основания нефтепровода ВСТО (в эксплуатационный период)

Таблица 2. Классификация нефтезагрязненных земель по уровням загрязнения (по [15])

Степень загрязнения	Содержание нефти, %	
	Биогенные почвы (торф, лесная подстилка)	Минеральные почвы (песок, суглинок)
Слабая	Менее 15	Менее 3
Средняя	15—40	3—20
Сильная	Более 40	Более 20

с учетом теплоизоляции и без ее учета показано [2], что при эксплуатации нефтепровода с положительной температурой реализуется процесс образования большой чаши протаивания, которая может усиливать осадку трубопроводной системы. Ореол протаивания выщелачивает растворимые соли, что усиливает термокарстовый процесс и ужесточает напряженно-деформированное состояние нефтепровода. При этом нефтепровод с положительной температурой вызывает деградацию многолетней мерзлоты, а ореол оттаивания вокруг трубопроводов сопровождается осадкой грунта, заболачиванием местности за счет изменения условий поверхностного стока, частым развитием термоэрозии по траншеям. Наличие теплоизоляции трубопровода в значительной степени замедляет процесс деградации многолетней мерзлоты.

К перечню потенциальных опасностей можно добавить тот факт, что при низких температурах меняются также физические свойства добываемых нефтепродуктов. Температура воздуха в окружающей среде для многих сортов нефти и нефтепродуктов часто оказывается ниже температуры застывания, поэтому происходит сгущение нефти. Также меняется характеристика взрывоопасности некоторых углеводородов; например, метан при низких температурах окружающего воздуха (ниже -40°C) становится взрывоопасным. К наиболее опасным продуктам по причине низкого значения температуры вспышки в закрытом тигле относятся бензины всех марок.

Рассмотрение и анализ различных сценариев развития ЧС на объектах нефтегазового комплекса и определение зон возможного поражения в общем случае могут быть осуществлены с использованием геоинформационных систем предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций — так называемых ГИС-технологий, которые применяются при решении задач мониторинга, оценки риска и прогноза развития ЧС [14].

При разливах нефти необходимо выделить как минимум две зоны: зону сильного загрязнения с глубоким нарушением всех компонентов природной среды и очень медленным их естественным восстановлением и зону, где катастрофические изменения обратимы в приемлемые сроки, а рекультивации почвы не

требуется. Для нефтепроводов место повреждения определяется методом «по балансу перекачки» расчетным или графическим путем по разности гидравлических уклонов в начале и конце поврежденного трубопровода. Для определения величины и места утечек транспортируемого продукта целесообразно использовать сочетание пассивных (по данным слежения за ведением технологического процесса перекачки) и активных (путем пропуска диагностических устройств) методов. Метод сопоставления давлений вдоль трассы трубопровода с давлениями до повреждения позволяет определить только крупные повреждения. Вместе с тем для определения места повреждения необходимо иметь карту значений давления вдоль всей трассы трубопровода.

Если количество разливов тесно связано с технологией, объемами добычи и продолжительностью эксплуатации оборудования, то загрязненная площадь зависит от объемов разлитой нефти и характера рельефа местности. Возвышенные, изрезанные 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.

При моделировании сценариев ЧС природного и техногенного характера необходимо иметь возможно более полную информацию об опасных ситуациях, включающую топографические карты различного масштаба на участках прокладки трубопровода, профили прохождения трубопровода на цифровой модели местности, данные по объему вытекшей нефти для вычисления площади загрязнения или по количеству истекающего газа для определения сценария развития ЧС. Загрязненная нефтепродуктами территория относится к категории сильно нарушенных, если из следующих трех показателей два достигали критических значений [15]: усыхание древостоя превышает 50%; число площадок, лишенных жизнеспособного подроста, составляет более 40%; покрытие почвы кустарничково-травяно-моховым ярусом составляет менее 25%.

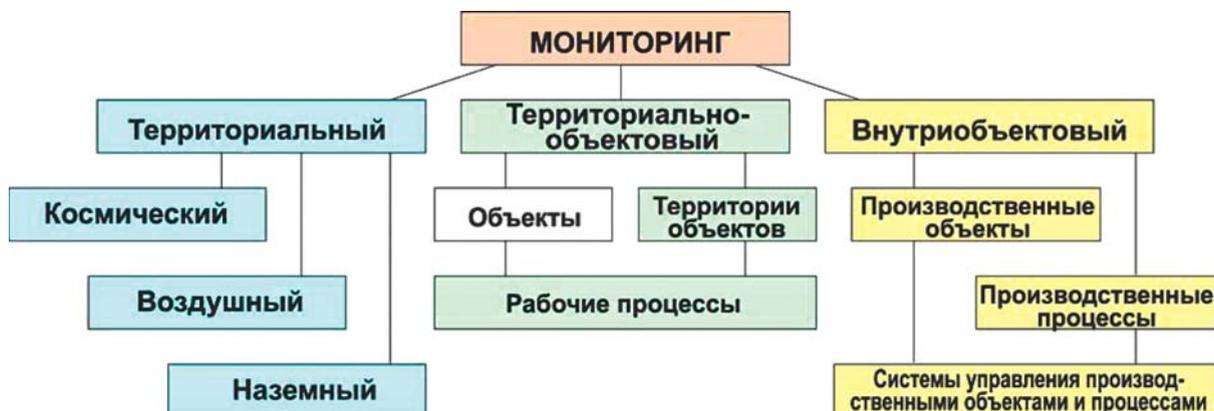


Рис. 16. Структура комплексного многоуровневого мониторинга территорий, объектов и производственных процессов

По результатам проведенного обследования были выделены [2] 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 оказалась в 4,2 раза меньше таковой на заболоченных пространствах. При этом отмечено, что выравнивание 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 табл. 2 представлена классификация нефтезагрязненных земель.

Комплексный многоуровневый мониторинг чрезвычайных ситуаций

Пути решения фундаментальной проблемы анализа и обеспечения безопасности техносферы и экосферы в целом могут явиться разработки обобщенных моделей объектов техносферы с учетом их взаимодействия с окружающей средой, на основе которых может быть выполнен анализ соответствующих сценариев возникновения и развития аварийных и катастрофических ситуаций. Такие модели характеризуются многоуровневой структурой, затрагивающей как крупномасштабные планетарные, глобальные и национальные, так и региональные, местные, объектовые и локальные аспекты безопасности [1; 5; 9].

В задачи функционирования комплексных информационно-аналитических систем многофакторной оперативной диагностики и мониторинга входят [18]:

- определение и классификация поражающих факторов потенциально опасных объектов и природных явлений и возможностей их контроля и оперативной диагностики;
- формирование концепции построения систем контроля и оперативной диагностики;
- определение совмещенной структуры поражающих факторов сложных технических систем и природных явлений, состава и характеристик оптимизированной для их контроля и диагностики аппаратуры;
- развитие новых концепций применимости и номенклатуры средств диагностики аварийных ситуаций для критически важных объектов при воздействии опасных природных процессов и поражающих факторов.

Целевыми объектами многоуровневого комплексного мониторинга могут быть как различного масштаба территории, так и отдельные объекты с занимаемыми ими территориями и рабочими процессами, а также внутриобъектовые структуры, включающие в себя собственно производственные объекты и технологические производства, управляемые соответствующими системами (рис. 16).

Информационным источником для анализа условий возникновения ЧС являются адекватные данные комплексного многоуровневого мониторинга анализируемых объектов и территорий, получаемые при использовании соответствующих геоинформационных систем, в связи с чем одной из важнейших научных задач обеспечения безопасности является развитие методов и создание комплексных систем увязанного многоуровневого — объектового, наземного, воздушного, космического (рис. 17) — мониторинга, как штатно функционирующих, так и находящихся в аварийных ситуациях и поврежденном состоянии технических систем и окружающей среды [14; 18—20].

Существует множество методологий картирования угроз, уязвимостей и рисков, которые используются во всем мире. В [21] приведен обзор практики

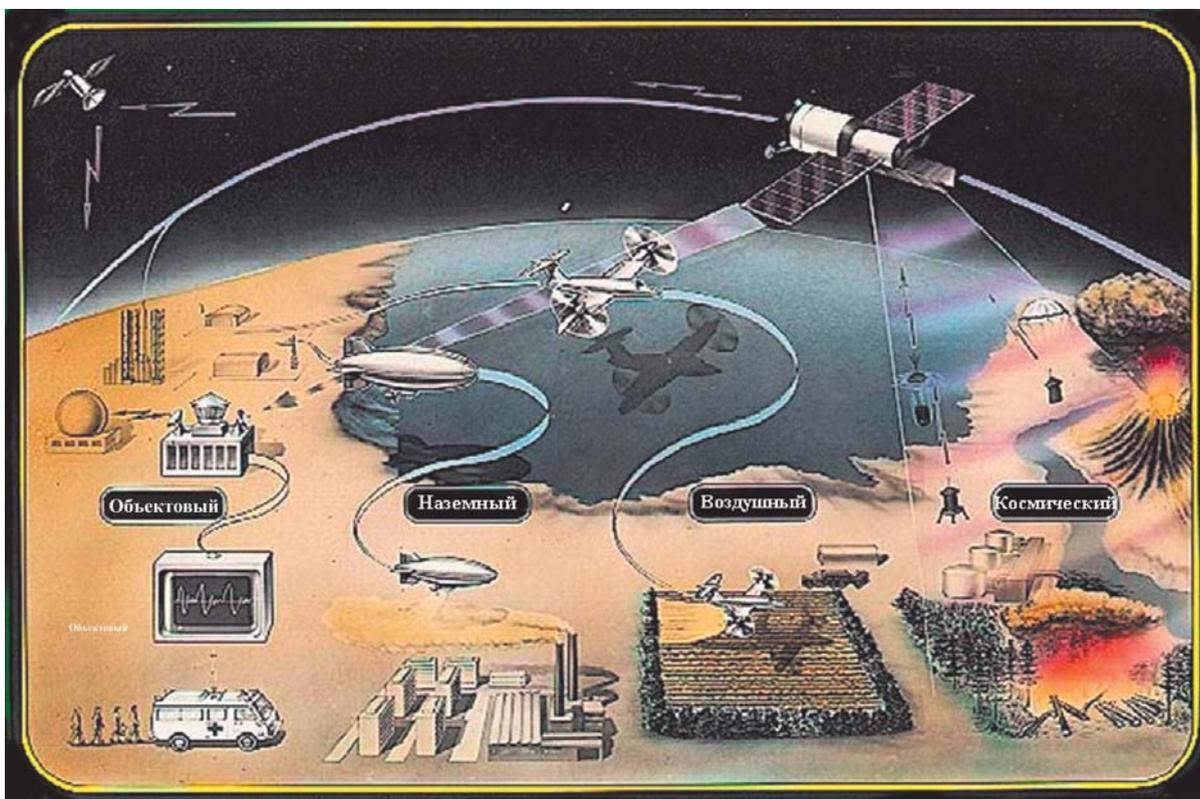


Рис. 17. Структура комплексного многоуровневого мониторинга чрезвычайных ситуаций

картирования рисков с констатацией, что большинство таких подходов ориентировано только на природные угрозы и в меньшей степени подходит к анализу технологических и промышленных рисков. Защита от воздействия опасных природных явлений в странах Европы и США строится на принципах пассивной защиты (уход из зон поражения), комбинируемой с экономическими условиями, поощряющими строительство объектов в безопасных зонах и ограничивающими такое строительство в опасных зонах (запрет на строительство до возведения защитных сооружений, высокие ставки страхования и т. п.), определяемых картами опасностей.

Карты опасностей, применяемые в США, странах Европы и Тихоокеанского региона, учитывают, как правило, не весь спектр опасных явлений, а только наиболее проблемную их группу. Несмотря на национальные различия, основы составления карт идентичны. Однако подходы к выделению зон опасности, применяемые в других странах, неприемлемы в России по ряду причин законодательного, методического и технического характера. В связи с этим необходимо обоснование принципов создания карт опасностей, картографических баз данных, основанных на системных исследованиях, совершенствовании нормативных, правовых, методических и организационных мероприятий, совершенствовании научных основ анализа опасных природных и техногенных ситуаций.

На основе анализа природных и техногенных источников опасности Сибири и Севера проведено исследование картографического материала, используемого при оценке чрезвычайных ситуаций на нефтегазопроводах, а также предложены оптимальные масштабы и детальность для карт угроз и рисков, направленные на пространственное планирование, разработку способов защиты и проведение мероприятий, смягчающих последствия аварий [2].

Исходной информацией для создания картографической части геоинформационного обеспечения являются: архивные картографические материалы и архивные материалы аэрокосмических съемок; оперативные данные аэрокосмического зондирования; цифровые модели и карты местности; трехмерные модели объектов земной поверхности; результаты полевых (наземных) наблюдений; картографические материалы, используемые в ходе топографических съемок, трассирования, профилирования трассы трубопроводов.

При решении задач обеспечения природно-техногенной безопасности территории используются карты разных масштабов. Мелкомасштабные исследования (1:1 000 000—1:500 000) выполняются при изучении глобального и регионального фонового состояния природной среды, характера нарушения ее состояния. Среднемасштабные (1:200 000—1:100 000) — при изучении состояния и изменения природной, геологической среды в районах

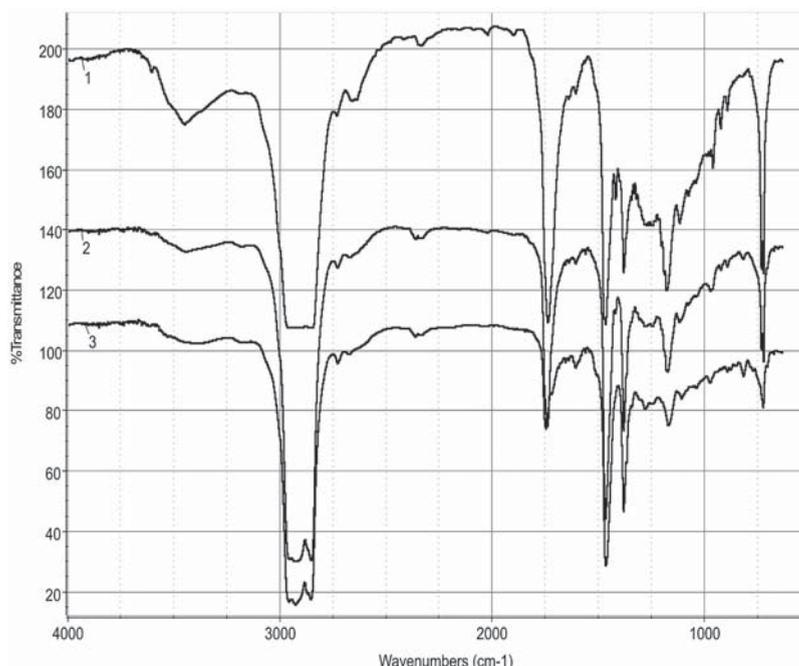


Рис. 18. ИК-спектры хлороформных экстрактов проб почв: 1 – фоновая проба, выход ХБ 563 мг/кг; 2, 3 – пробы, загрязненные нефтью, выход ХБ 122 и 4125 мг/кг соответственно

с напряженной экологической обстановкой и для определения участков для постановки крупномасштабных работ. Крупномасштабные исследования (1:50 000—1:25 000) проводятся в районах природных и техногенных ЧС, экологического бедствия. Детальные (1:10 000 и крупнее) — для изучения состояния конкретных объектов

Для моделирования аварийных ситуаций на нефтегазопроводах, а также взрывов, пожаров, разливов продуктов используются следующие карты: топографические с масштабами 1:100 тыс. — 1:25 тыс. для определения границ населенных пунктов, объектов растительного покрова, гидрографии, дорог; топопланы местности масштабов 1:25 тыс., 1:5 тыс., 1:2 тыс., 1:1 тыс. и 1:500 для построения цифровых моделей рельефа.

Моделирование рассматриваемых процессов выполняется в три этапа: создание опорной цифровой модели местности исследуемого участка; аналитическое воспроизведение математической модели исследуемого процесса; отображение полученных результатов на опорной цифровой модели местности [2].

В результате моделирования строятся цифровые прогнозно-оценочные модели текущего и прогнозного состояния исследуемых территориальных образований или их картографические аналоги в заданных масштабах (как правило, 1:25 тыс. — 1:100 тыс.).

Обязательными слоями базовой картографической основы должны быть: рельеф земной поверхности; рельеф участка дна, загрязненного водного

объекта; гидротехнические сооружения; населенные пункты; промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты; пути сообщения и дорожные сооружения; растительный покров, грунты и почвы.

Используя созданный картографический материал, современные геоинформационные системы позволяют применять эффективные методы визуализации, анализа и моделирования пространственных данных о катастрофических явлениях для оперативной организации защитных или смягчающих мероприятий.

Факторы нефтяных загрязнений почвы в условиях Сибири и Севера

В силу природно-климатических условий мерзлотные почвы Сибири и Севера отличаются слабой устойчивостью к нефтяному загрязнению. Низкий потенциал самовосстановления в условиях короткого вегетационного периода и низких температур обуславливает необходимость экологических исследований, направленных на поиск технологий ликвидации нефтезагрязнений, позволяющих добиваться максимально возможного восстановления естественных сообществ нарушенных земель.

Процессы самоочищения почв от углеводородов начинаются с распределения нефти по почвенным горизонтам, ее миграции, выветривания, химического и биологического окисления. Протекание этих процессов определяется как природой нефти, так и ее количеством, попавшим в почву. Состав

Таблица 3. Изменение остаточного содержания нефтепродуктов в пробах почвогрунтов в процессе деградации нефтезагрязнения

Номер экспериментального участка	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		Степень деградации, %
	до обработки	после обработки через 100 дней	
С-4	52 809	5161	89,7
С-12	7 335	1621	77,9
С-7	7 348	1860	74,7
С-13	3 586	272	92,4
Т.1	4 269	298	93,0
Т.2	62 930	3363	94,7
Фон	563—1438		

нефтезагрязнения изменяется в направлении деградации путем потери легких фракций углеводов и деструкции оставшейся части за счет самоочищения и под влиянием аборигенной микрофлоры и нефтеструктуров [22].

Для корректной оценки эффективности тех или иных способов очистки территории необходимы данные по химическому составу нефтезагрязнения до и после проведения очистных работ. Только при выявлении направленных изменений в химическом составе нефтезагрязнения появляются аргументы, позволяющие оценить степень деградации.

Точность оценки эффективности очистных работ связана с правильностью определения остаточного содержания нефти в почвах. Направленность деструкции нефти в почве в проведенных исследованиях оценивалась методами: инфракрасной (ИК) Фурье-спектроскопии, газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. Кроме того, был использован геохимический подход, позволяющий учесть различия в составе нефтезагрязнителей и органического вещества почв (природного фона) при интерпретации полученных результатов [23].

При мониторинге нефтезагрязненных территорий встает задача определить нефтезагрязнение на фоне присутствия природного органического вещества почв, вклад которого может существенно зависеть значения остаточного содержания нефти в почве. Особенно важно учитывать вклад природного фона при рекультивационных работах, поскольку он может достигать больших значений, что существенно снижает правильность оценки эффективности нефтеструктуров и качества выполненных работ в целом. Поэтому при изучении нефтезагрязнения почв необходимы детальные исследования природного фона. Соотношение природных углеводородных компонентов органического вещества и остаточного содержания нефти в почвенных

экстрактах дает метод ИК-Фурье спектроскопии (рис. 18). В процессе исследований содержание нефтепродуктов (НП) в почвах определяли по выходу хлороформного битумоида (ХБ), полученного методом холодной экстракции хлороформом [2]. При этом были изучены фоновые пробы в районе исследуемой территории.

Исследования показали, что ИК-спектр экстракта фоновой пробы (рис. 18, спектр 1) типичен для ХБ незрелого органического вещества современных осадков, в данном случае — незагрязненной почвенной пробы. ИК-спектр ХБ пробы нефтезагрязненной почвы (рис. 18, спектр 3), как и загрязнителя (нефти), определяется исключительно углеводородной составляющей.

Были также получены экспериментальные данные в процессе проведенных в условиях открытой экосистемы полевых испытаний по ликвидации нефтезагрязнения почв с помощью биологического метода очистки. В качестве нефтеструктура применялся биопрепарат на основе аборигенных углеводород-окисляющих микроорганизмов (УОМ), выделенных из нефтезагрязненных почв исследуемой территории. Эксперимент состоял из двух этапов. На первом этапе на экспериментальных площадках были отобраны нефтезагрязненные пробы почв и после этого проведена обработка почв биопрепаратом. На втором этапе через 100 дней на этих участках были повторно отобраны пробы почв для изучения процессов деструкции нефти и оценки эффективности работ.

До проведения биологической очистки на исследуемой территории были выявлены (табл. 3) два участка (С-4 и Т-2) с очень высоким уровнем загрязнения 52 809 и 62 930 мг/кг. По структурно-групповому составу эти пробы идентичны составу разлитой нефти, что позволило диагностировать их как нефтезагрязненные.

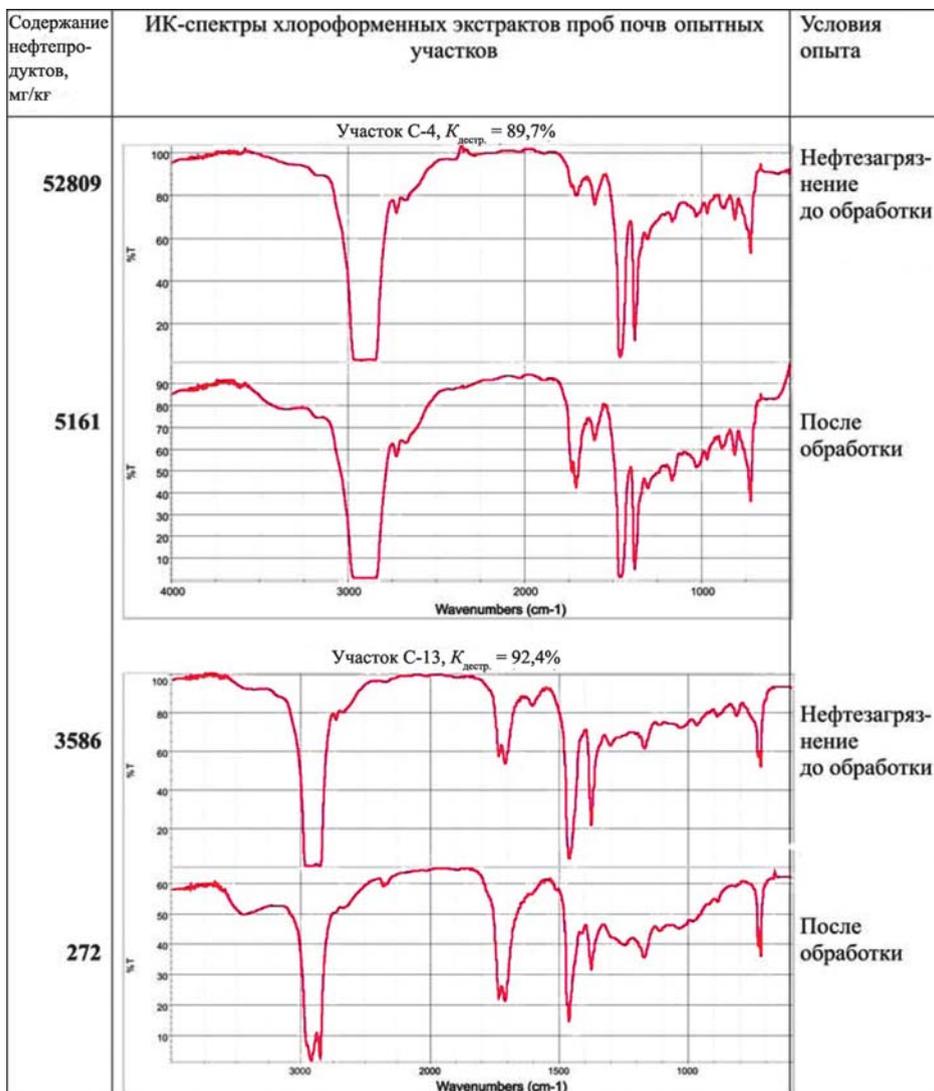


Рис. 19. ИК-спектры хлороформенных экстрактов проб почв до и после (через 100 дней) обработки нефтеструктурами

После обработки почвогрунтов биопрепаратом уже через 100 дней уровень загрязнения на этих участках снизился почти до среднего и умеренного (5161 и 3363 мг/кг). Степень деградации нефтезагрязнения на этих участках составила 89,7—94,7%. Степень деградации рассчитывалась по выражению

$$\left[\frac{XБ_{\text{исх}} - XБ_{\text{ч/з 100 дн}}}{XБ_{\text{исх}}} \right] 100\%,$$

где XБ — содержание НП в почве.

На процессы деградации нефтезагрязнения указывают изменения химической структуры экстрактов, в которых почти вдвое увеличилось количество кислородсодержащих соединений. Это отражается в изменении характера ИК-спектров экстрактов проб

и увеличении значений относительных коэффициентов поглощения карбонильных K_{1700} , K_{1740} и эфирных K_{1170} групп до и после обработки (рис. 19 и 20).

В ИК-спектрах XБ проб почв, отобранных до обработки, доминируют полосы поглощения углеводородных компонентов по сравнению с кислородсодержащими фрагментами молекул. Появление в спектрах почвенных проб полосы 1700 см^{-1} , обусловленной поглощением карбонильных групп, вызвано процессами естественной деградации нефти в почве в природных условиях, что сопровождается изменением первоначального состава нефти за счет испарения легких фракций и остаточного накопления асфальтово-смолистых компонентов и химического окисления.

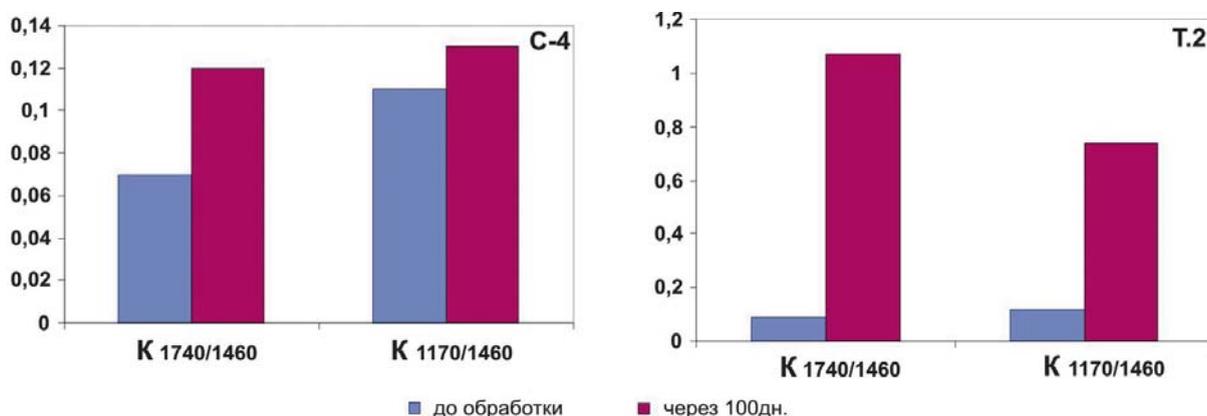


Рис. 20. Изменение относительного коэффициента поглощения кислородсодержащих групп в ИК-спектрах экстрактов проб с опытных участков С-4 и Т-2

В ИК-спектрах проб, отобранных через 100 дней после обработки, преобладают полосы поглощения кислородсодержащих групп и связей. Полученные результаты свидетельствуют, что при биологической очистке образуется больше кислородсодержащих соединений. Следовательно, при использовании биопрепарата не только уменьшается остаточное содержание нефтепродуктов, но и происходит существенное изменение химического состава нефтезагрязнения в сторону приближения к фоновому состоянию.

Соотношение в групповом составе углеводородных и смолистых компонентов является одним из показательных параметров как для диагностики нефтезагрязнения, так и для характеристики процессов деградации нефтезагрязнения. По данным табл. 4 на примере нескольких проб с разным уровнем загрязнения и разной степенью деградации проанализированы изменения в групповом компонентном составе почвенных экстрактов.

Таблица 4. Групповой компонентный состав экстрактов проб с опытных участков

Опытный участок	Время отбора	Содержание нефтепродуктов, мг/кг	Степень деградации, %	Групповой состав, %		
				Углеводороды	Сумма смол	Асфальтены
С-4	До обработки	52 809	89,7	67,56	30,97	1,47
	Через 100 дней	5 161		65,58	33,36	1,05
С-12	До обработки	7 335	77,9	65,33	31,79	2,88
	Через 100 дней	1 621		53,33	42,63	4,03
С-7	До обработки	7 348	74,7	67,48	28,09	4,43
	Через 100 дней	1 860		61,34	35,19	3,47
Т.2	До обработки	62 930	94,65	65,64	33,58	0,78
	Через 100 дней	3 363		4,49	64,15	31,36

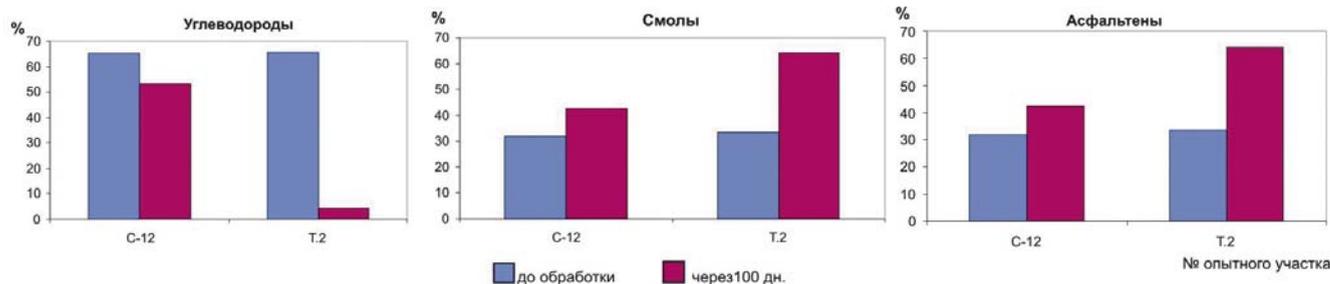


Рис. 21. Изменение группового компонентного состава почвенных экстрактов

На рис. 21 показаны изменения группового компонентного состава в пробах с экспериментальных участков, обработанных биопрепаратом. Полученные результаты указывают на изменение группового состава экстрактов в процессе биodeградации в направлении уменьшения содержания углеводородных компонентов и увеличения количества смол и асфальтенов.

Установленные изменения в химическом составе почвенных проб после внесения биопрепарата на основе аборигенных УОМ в направлении уменьшения роли нефтяных углеводородов, изменения характера их распределения и увеличения доли кислородсодержащих соединений указывают на интенсивно протекающие процессы биodeградации нефтезагрязнения и восстановления природного фона. Высокий коэффициент деградации (до 95%) при биологической очистке почв даже для проб с высоким уровнем загрязнения свидетельствует об эффективности метода биорекультивации.

Биопрепараты, изготовленные из аборигенных УОМ, иммобилизованных на природное минеральное сырье, усваиваются сапрофитной микрофлорой, давая основу для формирования гумуса. По окончании деструкции в окружающей среде остаются легко разлагающийся бактериальный белок и нетоксичные продукты разложения нефтепродуктов, не требующие последующей утилизации. Активность УОМ, внесенных с биопрепаратами, усиливается, когда в ходе реабилитационных работ проводится минеральная подкормка азотфосфорными удобрениями в расчетных дозах и обеспечивается доступ кислорода воздуха путем рыхления почвы.

Полученные результаты показывают, что научные исследования аборигенных штаммов микробных культур с высокой метаболической активностью, способных утилизировать нефтяные углеводороды, позволяют разрабатывать методы, которые в случае возникновения разлива нефти способны в короткий срок обнаружить отклик биоценоза на загрязнение

и обосновать принятие конструктивных решений для устранения последствий аварий, реабилитации нарушенных земель и оздоровления окружающей среды.

Заключение

Ориентация долгосрочного развития Арктики на обеспечение приемлемого уровня рисков возникновения чрезвычайных ситуаций сопряжена с необходимостью всестороннего учета специфических для данного района природно-климатических факторов и с внесением серьезных регулирующих начал в функционирование в таких условиях экономики, социума и техносферы. Реализация этих прогнозов должна базироваться на фундаментальных междисциплинарных и межотраслевых исследованиях общих закономерностей развития человека, общества, государства и среды жизнедеятельности. Принципиально важной стороной таких разработок является введение в показатели прогнозного развития параметров стратегических рисков, отражающих непрерывное расширение спектра специфических для Сибири и Севера угроз, вызовов, аварий и катастроф.

Анализ риска представляет собой один из существенных компонентов обеспечения безопасности и проводится для выявления отдельных источников опасности и оценки их потенциального влияния на возможные ущербы, которые могут быть причинены населению, окружающей среде и хозяйственным объектам. Использование критериев риска в направлении прогноза возникновения ЧС в условиях Арктики позволяет рассматривать их в качестве универсальных параметров определения уровня опасности эксплуатации там объектов техносферы, предупреждения возможностей возникновения чрезвычайных ситуаций, а также управлять разработкой и реализацией мероприятий по снижению этих рисков и смягчению последствий при проявлении ЧС.

Литература

1. Махутов Н. А., Лебедев М. П., Гаденин М. М., Большаков А. М. Научные основы анализа и снижения рисков чрезвычайных ситуаций в районах Сибири и Севера // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 4 (12). — С. 4—15.
2. Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013: В 2 т. / Отв. ред. чл.-кор. РАН М. П. Лебедев. — Якутск: Ахсаан, 2013. — 256 + 332 с.
3. Безопасность России: Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: Т. 1—40 / Под науч. рук. чл.-кор. РАН Н. А. Махутова. — М.: МГОФ «Знание», 1998—2013.
4. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. — Новосибирск: Наука, 2005. — 494 + 610 с.
5. Махутов Н. А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. — Новосибирск: Наука, 2008. — 528 с.
6. Каблов Е. Н., Лебедев М. П., Старцев О. В., Голиков Н. И. Климатические испытания материалов, элементов конструкций техники и оборудования в условиях экстремально низких температур // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013: В 2 т. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 5—13.
7. Ларионов В. П. Сварка и проблемы хрупкого разрушения. — Новосибирск: ИФТПС СО РАН, 1998. — 596 с.
8. Ларионов В. П., Ковальчук В. А. Хладостойкость и износ деталей машин и сварных соединений. — Новосибирск: Наука, 1976. — 194 с.
9. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Фундаментальные и прикладные основы безопасности критически важных объектов Сибири и Севера // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013: В 2 т. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 24—33.
10. Чуприян А. П., Веселов И. А., Сорокина И. В., Наумова Т. Е. Мероприятия, проводимые МЧС России по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 1 (9). — С. 70—78.
11. Махутов Н. А., Лисин Ю. В., Гаденин М. М. и др. Обеспечение защищенности магистральных нефтепродуктопроводов по критериям рисков // Наука и технологии трубопровод. транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2012. — № 3. — С. 10—16.
12. Permyakov P. P., Popov G. G., Matveeva M. V. Numerical prediction of the influence of frost soil heaving on linear structures // Materials of The IX International Symposium on Cold Regions Development June 1—5, 2010. — Yakutsk, 2010. — P. 137.
13. Кожевникова Н. В. Карстовая опасность для объектов трубопроводного транспорта в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока // Нефтяное хозяйство. — 2010. — № 2. — С. 114—115.
14. Слепцов О. И., Левин А. И., Стручкова Г. П., Семенова Т. И. Безопасность РС(Я): социальные, экономические и техногенные проблемы / Под ред. В. Ю. Фридовского, В. А. Прохорова. — Новосибирск: Наука, 2008. — 296 с.
15. Чижов Б. Е., Долингер В. А., Захаров А. И. Особенности нефтяного загрязнения территории Ханты-Мансийского автономного округа // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. — 2007. — № 8. — С. 15—21.
16. Махутов Н. А., Лыглаев А. В., Большаков А. М. Хладостойкость: Метод инженерной оценки. — Новосибирск: Наука, 2011. — 195 с.
17. Большаков А. М. Разработка механизмов по управлению прочностью материалов и конструкций: Риски эксплуатации // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013: В 2 т. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 207—209.
18. Гаденин М. М. Структура многоуровневого мониторинга параметров безопасности техносферы и окружающей среды // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2012. — № 1. — С. 93—102.
19. Аковецкий В. Г., Афанасьев А. В. Аэрокосмический мониторинг в задачах управления освоением ресурсов топливно-энергетического комплекса Восточной Сибири // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013: В 2 т. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 237—251.
20. Гаденин М. М. Космическая компонента многоуровневого мониторинга параметров безопасности техносферы и окружающей среды // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2012. — № 2. — С. 50—59.
21. Carpignano et al. Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management. — Brussels, 2010. — P. 69. — (Commission Staff Working Paper).
22. Оборин А. А., Хмурчик В. Т., Иларионов С. А. и др. Нефтезагрязненные биогеоценозы: Процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы. — Пермь: УрО РАН; Перм. гос. ун-т., 2008. — 511 с.
23. Глязнецова Ю. С., Зуева И. Н., Чалая О. Н., Лифшиц С. Х. Нефтезагрязнение почвогрунтов и донных отложений на территории Якутии (состав, распространение, трансформация). — Якутск: Ахсаан. — 2010. — 160 с.