

УДК 622.692.4

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОВИЗУАЛЬНОГО
ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЭКЗОГЕННЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ТРАССЕ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА**

Сергеев Д.О., Перльштейн Г.З., Хименков А.Н., Халилова Ю.В.

*Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), г. Москва
e-mail: cryo@geoenv.ru*

Угаров А.Н.

*Научно-образовательный центр исследований экстремальных ситуаций
Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана
г. Москва, e-mail: garo@esrc.ru*

Аннотация. *Регулярное аэровизуальное обследование входит в состав мониторинга технического состояния протяженных магистральных нефтепроводов. Предложенное развитие методики обследования позволило унифицировать процедуры выделения ареалов развития геологических процессов и оценки степени их опасности для элементов технической системы магистрального нефтепровода. Предложены подходы к выработке и обоснованию защитных мероприятий и совершенствованию системы инженерно-геологического мониторинга.*

Ключевые слова: *инженерно-геологический мониторинг, природно-техническая система, аэровизуальное обследование, магистральный нефтепровод, экзогенные геологические процессы*

Протяженные инженерные объекты, подобные магистральным нефтепроводам (МН), подвергаются воздействию экзогенных геологических процессов (ЭГП), учет и прогноз которых затруднен из-за разнообразия ландшафтных условий и неоднозначности реакции природно-технических систем на хозяйственную деятельность и климатические события. Например, нарушение естественных поверхностных условий и тепловая нагрузка вследствие строительства трубопровода приводит к активизации криогенных процессов, часть которых представляет опасность для основных и вспомогательных объектов трубопроводной системы (ТС) [1].

В ряду методов выявления участков проявления геологических процессов особое место занимают дистанционные исследования, позволяющие охватить значительные пространства за ограниченное время [2]. Аэровизуальное обследование (АЭВО) ранее применялось, в основном, для рекогносцировки, значительно уступая аэрофотосъемке или космическим снимкам по возможностям и точности тематического картирования. Однако для линейных транспортных объектов протяженностью более тысячи километров оперативное получение аэрокосмической съемки высокого качества затруднено технологическими причинами и становится

ощутимо дорогим. Это обстоятельство обусловило необходимость методической проработки возможности более широкого, по сравнению с рекомендуемым методическими руководствами [3], использования АЭВО при проведении инженерно-геологического обследования обширных территорий, для фиксирования, схематического оконтуривания на топооснове и оценочной характеристики участков с проявлениями опасных геологических процессов и со сложными геологическими условиями.

Методика аэровизуального обследования Общие положения

Работы по проведению АЭВО организованы следующим образом:

1. *На стадии этапа планирования.* Разработка программы работ с учетом всех имеющихся материалов по геологическому строению и активности ЭГП по трассе нефтепровода.

2. *На стадии полевого этапа.* Оперативное визуальное обнаружение опасных геологических процессов с борта вертолета, их перспективное фотографирование, видеосъемка и предварительная классификация.

3. *На стадии камерального этапа.* Тематическая сортировка фотографий; их координатная привязка и дешифрирование; проверка точности и надежности информации, полученной с помощью АЭВО; проверка и уточнение информации, полученной в результате выполнения иных видов обследования (дешифрирования космо- и аэрофотоснимков, наземных полевых работ, стационарных наблюдений).

4. *На стадии подготовки отчета.* Оценка общего состояния трассы и ее зонирование по пораженности ЭГП; сопоставление полученных материалов АЭВО с проектной, строительной, эксплуатационной документацией, материалами дистанционного зондирования, картами инженерно-геокриологического районирования; первичная диагностика причин активизации экзогенного процесса; выявление участков МН, которые испытывают воздействие ЭГП; определение списка участков, на которых необходимо провести полевые обследования; определение количества и протяженности ремонтных участков и участков с оголением трубопровода; определение влияния ЭГП на МН путем выявления закономерности в распространении ЭГП и ремонтных участков на основе дополнительных данных, получаемых от эксплуатирующей организации о локализации участков, на которых были проведены земляные или иные работы по трассе; определение эффективности проводимых компенсирующих мероприятий на участках с проявлениями ЭГП; пополнение и актуализация базы данных.

При планировании АЭВО формируется мультимасштабная навигационная цифровая карта, позволяющая ориентироваться на трассе и получать сигнал о приближении к участкам с ЭГП, которые были выделены ранее по результатам разных видов обследований (дистанционных, АЭВО, наземных полевых работ и строительных изысканий).

АЭВО осуществляется с вертолета или любого другого летательного аппарата на высоте 100 м со средней скоростью не выше 100 км/ч при боковом удалении от оси трубопровода не более 100 метров. Главным инструментом при АЭВО служит оборудование, с помощью которого фиксируются проявления ЭГП и обстановка на трассе:

- приемные устройства системы глобальной спутниковой навигации, обеспечивающие регистрацию трека, совпадающего с траекторией полета воздушного судна;

- фотокамеры для съемки проявлений ЭГП;
- видеокамеры для непрерывной съемки трассы трубопровода;
- радиосвязь между специалистами и пилотами;
- блоки памяти для хранения архивной информации и цифровых карт;
- компьютеры для синхронизации всего оборудования, навигации, генерации предупредительных сигналов, для подготовки отчетной документации;
- блоки бесперебойного питания для подзарядки аккумуляторов съемочного и навигационного оборудования.

Основными первичными материалами, получаемыми в результате аэровизуального обследования, являются: непрерывная видеозапись трассы, GPS-трек с частотой записи координат одна секунда, фотографии трассы, сделанные несколькими геологами-наблюдателями в разных ракурсах для анализа состояния полосы трассы шириной один километр.

Получение и первичная обработка полевого материала при АЭВО включает:

- фотографирование проявлений ЭГП в полосе землеотвода (25 м от оси трубопровода) и прилегающей к ней области;
- заполнение формуляра с параметрами проявления ЭГП на борту вертолета (при наличии достаточного количества геологов-наблюдателей);
- сортировка фотографий в полуавтоматическом режиме;
- координатная привязка фотографий и видеосъемки с помощью оригинального программного обеспечения, разработанного в ЦИЭКС¹;
- дешифрирование фотографий – определение местоположения и границ участков с ЭГП (высокая точность определения границ достигается при использовании космоснимков и при дешифрировании видеосъемки в оригинальной ГИС «Экстремум», разработанной в ЦИЭКС);
- ввод информации, полученной на борту вертолета, из формуляра в базу данных;
- построение ведомостей участков с проявлениями ЭГП, с проведенными защитными или компенсирующими мероприятиями, пересечениями заболоченных и сухостойных земель, ремонтных участков;

¹ Центр исследования экстремальных ситуаций.

– формирование паспорта для каждого участка с проявлениями ЭГП, состоящего из *фотографии; топоплана* масштаба 1:5000 - 1:20000 с нанесением границ участка, индекса ЭГП, идентификационного номера, точки фотосъемки с номером фотографии, оси МН, зоны землеотвода, километровой отметки, горизонталей, водотоков; *текстового описания* характеристик участков (размеры участка, категория опасности, ориентировка относительно трассы, обводненность поверхности, растительный покров, время образования и проявления ЭГП);

– сравнительный анализ участков с проявлениями ЭГП, выделенных по разновременным обследованиям.

По результатам облета главной задачей является быстрая обработка полученного полевого материала, предоставление ведомости опасных участков с координатной привязкой, топопланами и общим описанием в эксплуатирующую организацию для принятия управленческих решений, а также для выработки рекомендаций по совершенствованию системы инженерно-геологического мониторинга.

Диагностические признаки активности опасных геологических процессов и наличия сложных инженерно-геологических условий

Одной из основных методических трудностей интерпретации материалов АЭВО является то обстоятельство, что объектом регистрации при обследовании служат *геологические явления*, которые не обязательно являются продуктом современной активности соответствующих процессов. Кроме того, явления связаны, как правило, не с одним, а с несколькими процессами, которые несут опасности разного характера и временной продолжительности. Поэтому при интерпретации материалов АЭВО принимается ряд допущений, возможных для описания взаимодействия объектов специфичной природно-технической системы МН. В частности, принимается, что в первые годы эксплуатации МН зона его влияния не распространяется за пределы полосы землеотвода (за исключением днищ долин, где могут существенно нарушаться режим стока или наледообразования). Также предполагается, что в течение 1-3 лет наблюдений динамика инженерно-геологических процессов определяется преимущественно техногенными воздействиями, поскольку природные тренды в короткие промежутки времени отследить трудно, а экстремальные природные явления (землетрясения, аномальные осадки, жара и т.п.) оказывают воздействие на значительных площадях. При развитии комплекса процессов на одном участке определяется ведущий процесс, наиболее сильно преобразующий ландшафтные условия и/или несущий максимальную опасность для трубопровода.

При идентификации развития геологических процессов рекомендуется пользоваться нижеперечисленными внешними признаками [4].

Термокарст – просадки поверхности, как правило, сопровождающиеся обводнением понижений. Более уверенно термокарст идентифицируется, если в

ненарушенной зоне присутствуют природные термокарстовые озера, обнаруженные при изысканиях.

Овражная эрозия и термоэрозия – овраги, развивающиеся вследствие поверхностного выноса рыхлого грунта водотоками. Термоэрозия отличается резкостью (несбалансированностью) продольного профиля оврага и часто приуроченностью к заторфованным грунтам.

Водная (речная) эрозия – промоины или наносы грунта в полосе землеотвода в районе переходов через постоянные или временные водотоки.

Наледобразование – поверхностный ледяной покров, связанный с замерзанием разгружающихся грунтовых вод или перегораживанием поверхностного стока; наледобразование может идентифицироваться по наледным полянам или наледному аллювию.

Криогенное пучение – бугры разных размеров и форм, приуроченные к увлажненным участкам с затрудненным стоком и заторфованной поверхностью.

Курумы – участки склонов, покрытые крупнообломочным материалом, обычно с накипными или кустистыми лишайниками.

Обваливание и осыпание – накопления разнообломочного материала, обычно под крутыми скальными стенками.

Оползание – следы смещения блоков грунта на склонах средней и большой крутизны, включая оплывины, смещенные блоки пород, валы выпирания, трещины отседания, пьяный лес.

Отметим, что признаки активности карста, солифлюкции и крипа (массовых движений грунта) при аэровизуальном обследовании не могут быть обнаружены, однако могут документироваться в общем потоке материала при наличии информации из других источников.

К вышеизложенным признакам внешних проявлений опасных геологических процессов примыкают свидетельства сложности геологических или ландшафтных условий.

Нарушение естественного стока (затопление) выражено в виде длительно существующих обводненных участков, возникающих вследствие подпруживания стока валиком обратной засыпки или насыпью притрассовой автодороги. Также нарушением считается высачивание грунтовых вод в подрезках и насыпях.

Заболачивание – повышенное увлажнение поверхности, обусловленное подъемом уровня грунтовых вод. Проявляется, как правило, синхронно в полосе землеотвода и в зоне ее влияния. Примерно соответствует контуру болот на топокарте.

Повторно-жильные льды – участок с полигональным микрорельефом, который может быть опознан по материалам аэрофотосъемок, а также по закономерному чередованию характера растительности или увлажнения поверхности. Положение ледяных жил соответствует понижениям при вытаивании подземных

льдов или валиковым повышением при росте ледяных жил. К полигональным структурам примыкают также каменные кольца и другие разновидности структурных грунтов, опасность которых может быть оценена только при наземном обследовании.

Гарь – участок выгоревшей растительности с сажой и углем на поверхности земли. Может соответствовать участку грунта с измененным температурным режимом.

Сухостой – участок мертвого леса (обычно с живой наземной растительностью), причиной гибели которого могли стать вредители, низовой пожар или нарушения естественного стока. Может соответствовать участку грунта с измененным температурным режимом.

Техногенная деятельность – любые следы эксплуатационной и природоохранной деятельности, которые могут стать причиной изменения активности экзогенных геологических процессов.

Выходы скальных пород и места захоронения порубочных остатков сами по себе не несут опасности для сооружений МН, но могут создавать предпосылки для развития других неблагоприятных процессов.

Основной продукцией АЭВО является ведомость участков с проявлениями опасных геологических процессов и со сложными инженерно-геологическими условиями. Поскольку таких участков может быть довольно много и динамика развития геологических процессов может быть весьма высока, особую важность приобретают методы ранжирования приоритетности выделенных интервалов трассы МН в организации детальных исследований опасности ситуации для объектов трубопроводной системы.

Алгоритмы и критерии ранжирования экзогенных геологических процессов по категориям опасности

Серьезной проблемой мониторинга является противоречивость результатов различных видов геологического обследования. Это обусловлено естественными ограничениями применяемых методов наблюдений, высокой динамичностью ситуации, а также противоречиями во мнениях экспертов, применяющих назначенные Заказчиком критерии оценки степени опасности к реальным данным наблюдений. Категория опасности, назначенная при АЭВО, может противоречить таковой, определенной при аэрокосмическом дешифрировании. Все это порождает большую путаницу при сравнении категорий опасности во времени и по каждому из рассматриваемых процессов. Из этого следует, что разработка ведомости опасных участков является не рутинной процедурой объединения всех полученных результатов, а продуктом их вторичного и довольно сложного анализа.

Следует учитывать, что трасса МН представляет собой вновь сформированную геотехническую систему, в которой происходит приспособление природ-

ной составляющей к вновь возникшим условиям. Общее состояние этой системы можно охарактеризовать как термодинамически неустойчивое. Оно обусловлено интенсивными воздействиями инфраструктуры нефтепровода на природную среду. При разработке мониторинга очень важно разделить участки, где активизировавшиеся в настоящее время экзогенные процессы со временем стабилизируются и будет обеспечено устойчивое функционирование нефтепровода, от участков, где динамика экзогенных, в первую очередь криогенных, процессов останется значительной и, невзирая на проводимые защитные мероприятия, будет отрицательно сказываться на функционировании нефтепровода.

Объектом информационной характеристики при АЭВО являются отрезки МН, объединяющие проекции расположения ареалов геологических явлений на линию трубопровода, расположенные в полосе землеотвода (охранной зоне) и зоне геоэкологического влияния объектов трубопроводной системы.

При обследовании выделяются участки, которые объединяют проекции ареалов геологических явлений на линию МН. Во внимание принимаются проявления опасных геологических процессов в полосе землеотвода и зоне геоэкологического влияния объектов ТС. Ареалы характеризуются категорией опасности процесса для объектов трубопроводной системы в соответствии с критерием близости проявления процесса к трубопроводу. Третья категория присваивается в случае прямого воздействия процесса на трубопровод или грунты траншеи, вторая – в случае развития процесса в полосе землеотвода и первая – если процесс развивается за границами землеотвода, но его динамика воздействует или может воздействовать в будущем на объекты ТС.

На этом уровне детальности, соответствующем плану масштаба 1:5000, хранится и визуализируется вся первичная информация о динамике геологических процессов, в частности, анализируется изменение размеров явления по сравнению с прошлым обследованием.

На втором уровне обобщения (соответствует детальности карты масштаба 1:25000) отрезки МН, сопоставленные ареалам геологических явлений, группируются по их взаимным пересечениям в непрерывные участки (зоны) взаимодействия частных геологических процессов или их парагенетических сочетаний. Такие участки характеризуются другой категорией опасности, которая определяется по относительному размеру единичных проявлений опасного геологического процесса. Например, по размеру термокарстового озера или длине эрозионного оврага. На этом уровне детальности сопоставляются данные об условиях протекания процесса и динамике его факторов с целью оценки необходимости и приоритетности дополнительных визуальных, дистанционных и инструментальных наблюдений за нагрузками на трубопровод и другие объекты ТС, а также оценки эффективности ранее проведенных защитных мероприятий.

На третьем уровне хранения и обработки данных АэВО (детальность 1:1000000) накапливается и актуализируется информация о расположении:

– кластеров системных поражений полосы земледелия МН каждым из опасных геологических процессов с указанием тенденции ухудшения или улучшения ситуации по площади пораженности территории;

– участков трассы с преимущественным ухудшением ситуации по категории участков с неблагоприятными процессами;

– участков трассы с массовыми ремонтными или инженерно-защитными работами.

Из изложенного видно, что наиболее трудным в процессе анализа результатов АэВО является назначение категории опасности выделенным ареалам (интервалам трассы МН) проявления опасных геологических процессов. Одного критерия для оценки опасности недостаточно, однако применение многокритериальной оценки должно быть соотнесено с приоритетами эксплуатационных задач Заказчика. Предлагаются два возможных подхода к многокритериальным оценкам.

Первый подход

Геологические опасности подразделяются на три группы по источнику их возникновения. Опасности, определяемые геолого-геоморфологическими условиями (толщина рыхлого покрова, крутизна склона, состав грунта и его водно- и теплофизические свойства, характер поверхности и др.), идентифицируются на участках со сложными геологическими условиями, создающими предпосылки для развития опасных геологических процессов. Например, эрозия может развиваться на склонах малой и средней крутизны на незадернованных поверхностях, сложенных песчаными и супесчаными грунтами.

Опасности, зависящие от геолого-геоморфологических условий, оцениваются экспертно для локальных участков, выделяемых по материалам инженерных изысканий и специализированных геологических обследований, а для наиболее сложных или приоритетных участков – также по результатам математического моделирования. Указание на проведение специализированных обследований дается по результатам аэровизуальных и аэрокосмических наблюдений.

Опасности, определяемые климатическими и гидрологическими факторами (толщина снежного покрова, сумма летних температур воздуха, количество и интенсивность летних осадков, предельная влажность грунта др.), идентифицируются для участков со сложными геологическими условиями, создающими предпосылки для развития опасных геологических процессов. Например, участки с повторно-жильными льдами благоприятны для начала развития термокарста при условии достижения сезонного протаивания глубины залегания этих льдов. Аномально теплое лето или толщина снежного покрова, превышающая среднеего-летние значения, приводят к увеличению величин сезонного оттаивания.

Опасности, зависящие от климато-гидрологических факторов, оцениваются методами упрощенных инженерных расчетов для сравнительно больших территорий, которым соответствуют зоны с однородными метеорологическими и гидрологическими характеристиками, полученными по данным сетевых метеостанций или ведомственных метеопостов.

Опасности, возникающие в результате взаимодействия природных и техногенных элементов геотехнической системы МН (опасные геологические процессы, развивающиеся в зоне влияния объектов, расположенных в полосе землеотвода МН), идентифицируются для группировок участков со сложными геологическими условиями, имеющие сходные (системные) фоновые изменения условий окружающей среды, обуславливающие вторичные опасности для нормальной эксплуатации МН или прочие непредусмотренные финансовые убытки для организации, эксплуатирующей МН. Эти опасности оцениваются экспертно для участков средней протяженности (от сотен метров до десятков километров), выделяемых по материалам аэровизуальных и наземных обследований.

Второй подход

Возможное воздействие опасных геологических процессов на трубопровод и другие объекты ТС характеризуется следующими основными группами показателей:

- видом воздействия;
- уровнем (интенсивностью, степенью) воздействия;
- масштабом воздействия;
- продолжительностью воздействия.

В общем случае степень опасности геологического процесса характеризуется близостью его проявлений к объектам ТС.

Вид воздействия обусловлен физикой взаимодействия трубопровода с окружающей средой (механическое, тепловое, коррозионное).

Уровень воздействия характеризуется степенью максимально возможного механического, теплового и коррозионного воздействий на объект ТС на отрезке проекции поверхностного проявления или в точке ожидаемого направленного действия процесса на трубопровод. При оценке уровня воздействия различают направленное или возвратно-поступательное (циклическое) воздействия и используют энергетические или силовые характеристики.

Масштаб воздействия характеризуется площадью поражения, координатами начала и конца интервала МН, испытывающего воздействие, либо начала и конца интервала кластерного (точечно-вероятностного) воздействия на МН.

Продолжительность воздействия характеризуется его временным интервалом. Различают условно мгновенное (от секунд до суток), сезонное (от недели до квартала) и длительное (многолетнее) виды воздействий.

Каждый участок, на котором были обнаружены проявления геологических процессов, снабжается идентификатором в базе данных. Границы участка могут смещаться по результатам обследований и не совпадать по данным из разных источников. При принятии управленческих решений приоритетом пользуются координаты наземного обследования. Каждое из обнаруженных явлений оконтуривается, характеризуется и сравнивается с результатами прошлого обследования для условно-мгновенных процессов, прошлого обследования аналогичного периода для сезонных длительно текущих процессов.

Параллельно изложенной комплексной оценке оценивается эффективность проведенных инженерных мероприятий.

В итоге, приоритетность участков с проявлениями опасных геологических процессов оценивается с учетом задач годового, трех-, семи- и тридцатилетнего планирования затрат на осуществление инженерно-защитных мероприятий. Наиболее яркие и сложные проблемные ареалы рассматриваются на структурной схеме, помогающей уяснить перечень взаимодействующих элементов (рис. 1), агенты воздействия и принять решение о характере дальнейших дополнительных исследований (наземное обследование, моделирование и т.п.). На такой схеме особенно хорошо видны неоднородность условий и зоны влияния от объектов ТС.

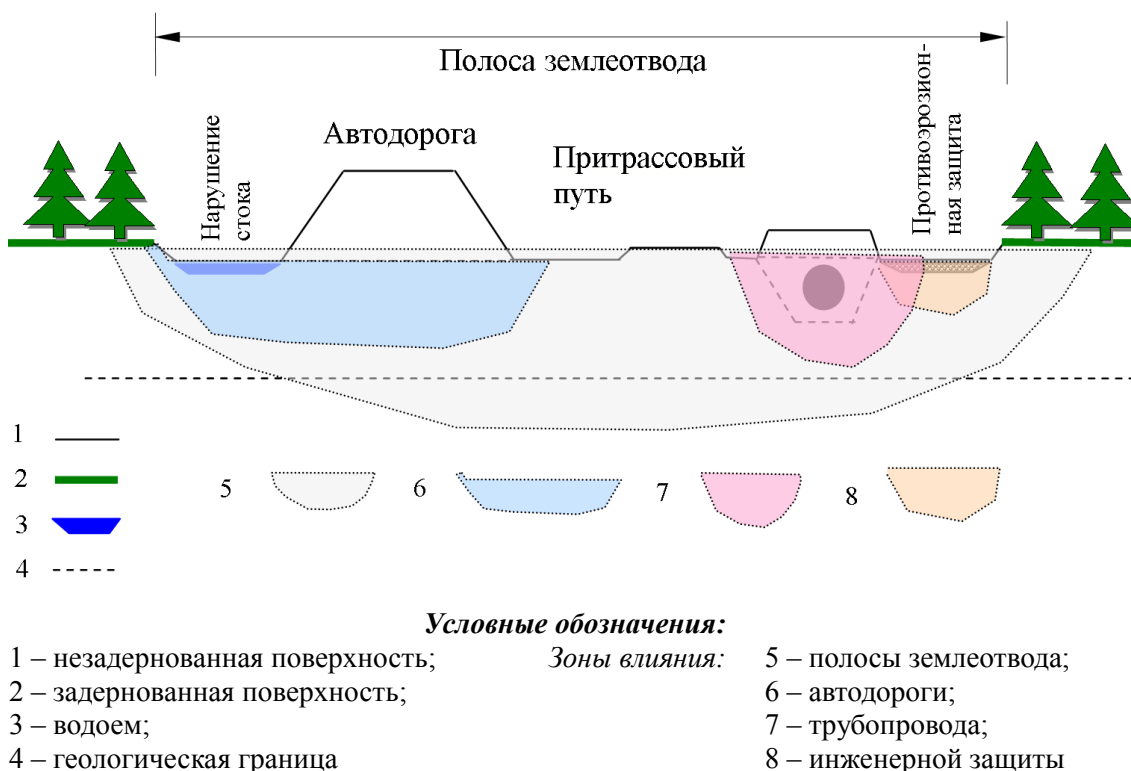


Рис. 1. Обобщенная схема поперечного сечения природно-технической системы коридора магистрального нефтепровода

Анализ результатов АЭВО и их использование в процедурах принятия управленческих решений

Каждый из элементов ТС МН оказывает влияние на окружающую среду, меняя ее характеристики в течение года. Тем самым оказывается косвенное воздействие и на устойчивость других элементов технической системы. Например, возведение автодороги нарушает естественный сток и приводит к формированию обширных обводненных участков у подножия насыпи. Летом дно крупных обводненных участков с прозрачной водой испытывает заметный разогрев по сравнению с оголенной и тем более с задернованной поверхностью (мутные лужи не демонстрируют столь сильного эффекта) [5]. Зимой температурный режим грунта существенно зависит от глубины обводнения (промерзает ли водоем до дна), а также от колебаний толщины снежного покрова на автодороге и в ее окрестности (рис. 1). Все эти факторы следует учитывать при прогнозе развития процессов как источника опасности для трубопровода.

Зоны влияния различных сооружений могут пересекаться, обуславливая сложное воздействие на геологическую среду. Конфигурация зон влияния может существенно меняться в разные сезоны и год от года. Это зависит от трех основных причин:

1. *техногенная деятельность* (планировка поверхности, уничтожение и восстановление растительного покрова, возведение защитных инженерных сооружений);
2. *аномальные природные* (в т.ч. климатические) *события*, влияющие на режим температуры и влажности грунтов;
3. *развитие экзогенных геологических процессов*, связанных с инженерным сооружением, которые закономерно изменяют поверхность и/или свойства грунтов в зоне землеотвода и ее окрестности.

Расположение зон влияния определяет границы участков детальных наземных наблюдений, а также расчетные области при моделировании опасных геологических процессов. Детальные исследования и моделирование, в конечном счете, являются основными инструментами для прогнозирования ситуации в рамках системы инженерно-геологического мониторинга ТС (рис. 2).

В рамках общей структуры мониторинга особенно рельефно выступает роль АЭВО как *оперативного поставщика первичных данных* о неблагоприятных участках, где существуют некие (пока окончательно не диагностированные) проблемы.

АЭВО имеет ряд преимуществ перед иными дистанционными методами и полевыми наземными обследованиями. АЭВО дает возможность быстрого обследования значительных по протяженности участков трассы трубопровода при различных масштабах наблюдений, которые при необходимости могут быть оперативно скорректированы в процессе облета. Информация, относящаяся к одной

территории, полученная при дешифрировании космоснимков, фотографий АЭВО, наземном обследовании, должна быть взаимодополняема, даже если существуют противоречия между материалами. Эти противоречия должны сниматься в результате наземных полевых обследований.



Принятые обозначения:

блоки, оконтуренные тонкими линиями – собственно мониторинг;
 блоки, оконтуренные жирными линиями – аналитическая подсистема;
 блоки, оконтуренные двойными линиями – подсистема подготовки рекомендаций;
 стрелки сплошные – первый этап;
 стрелки прерывистые – второй этап;
 стрелки штрих-пунктирные – третий и четвертый этапы цикла поддержки принятия управленческих решений

Рис. 2. Функциональная структура системы инженерно-геологического мониторинга

* ТЭО – технико-экономическое обоснование.

Приведем примеры участков со сложными геологическими условиями по трассе МН, иллюстрирующие преимущества АЭВО.

В отдельных случаях на космоснимках определить полигональный рельеф, сформированный в результате частичного вытаявания повторно-жильных льдов, и бугристо-западинный рельеф, образовавшийся в результате криогенного пучения, оказывается весьма затруднительным, и лишь АЭВО, причем в весенний период, позволяет увидеть это явление, ранее остававшееся не обнаруженным ни в ходе изысканий, ни в ходе мониторинговых наблюдений (рис. 3). Напомним, что наличие подземных льдов приводит к развитию опасных геокриологических процессов (термоэрозии и термокарста). В общем случае, космоаэросъемка дает большие возможности обнаружения ареалов активности геологических процессов, однако технологически трудно получить снимки заданного сезонного интервала и высокого качества. АЭВО в этом смысле является более гибким и оперативным.

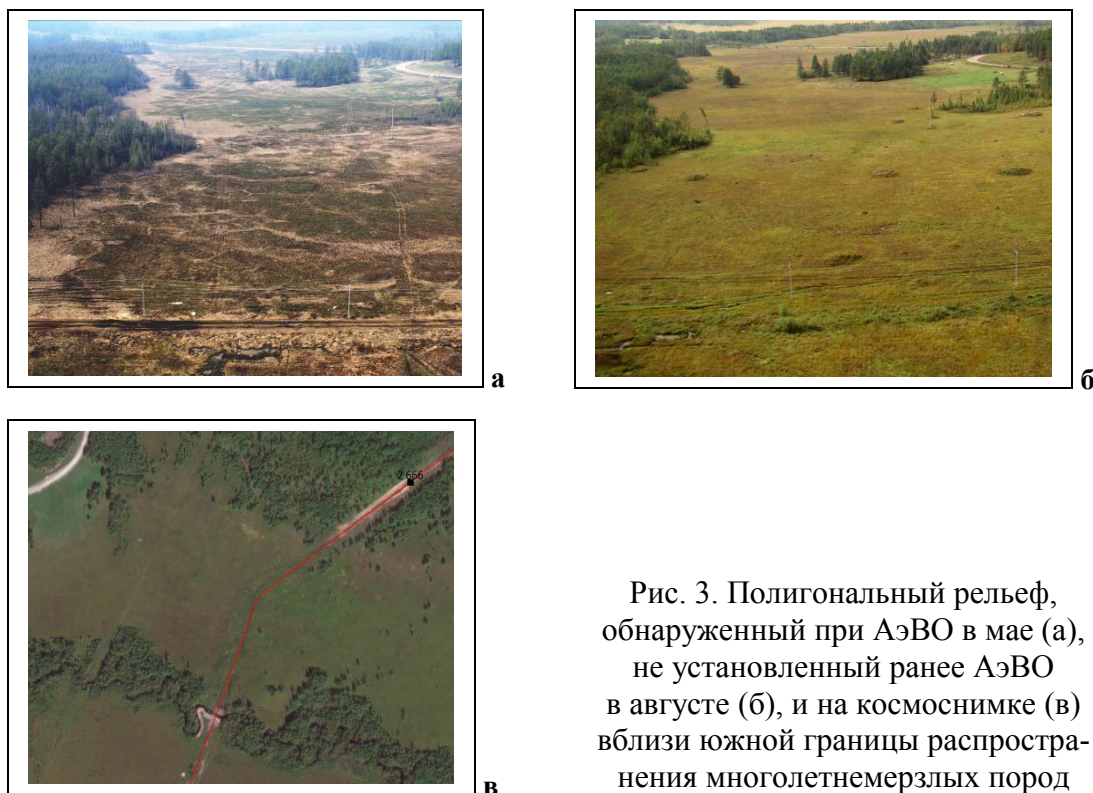


Рис. 3. Полигональный рельеф, обнаруженный при АЭВО в мае (а), не установленный ранее АЭВО в августе (б), и на космоснимке (в) вблизи южной границы распространения многолетнемерзлых пород

Ряд криогенных процессов (пучение и наледообразование) может быть выявлен лишь путем аэровизуальных и наземных обследований в весенний период (апрель-май). По космоснимкам участки развития наледей дешифрируются по ландшафтным признакам (наледные поляны, наледный аллювий и т.п.).

При АЭВО фиксируются наледи (и даже их относительные размеры) не только природного, но и техногенного происхождения, в т.ч. наледи на склонах (рис. 4).

Именно АЭВО позволили доказать гипотезу о высокой динамичности геокриологических процессов по трассе МН, обусловленную временной изменчивостью гидрологических условий. Обводнение трассы МН само по себе не несет угрозы трубопроводу, однако оно создает предпосылки для растепления мерзлых пород, интенсивность которого зависит от продолжительности обводнения (рис. 5).

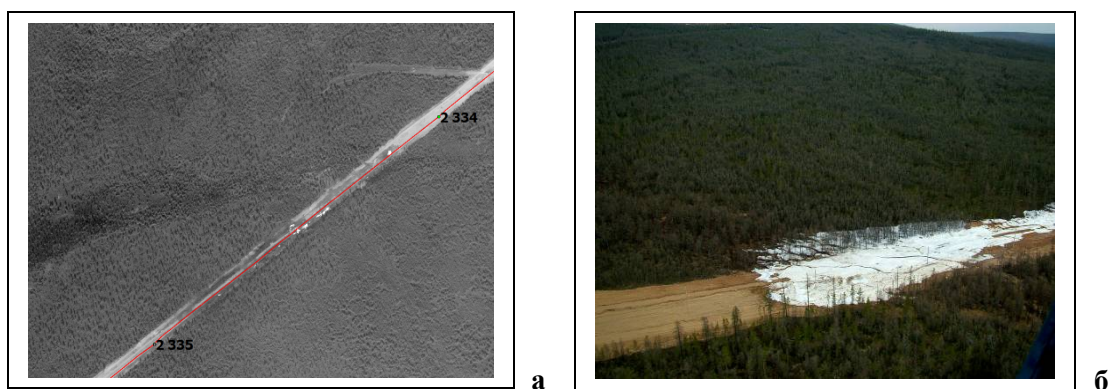


Рис. 4. Склоновая наледь по материалам:
а – космосъемка, октябрь 2010 г.; б – АЭВО, май 2011 г.

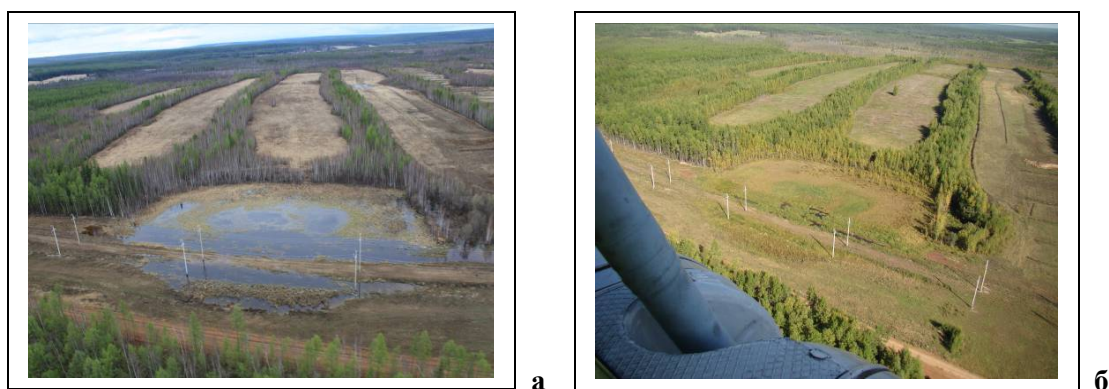


Рис. 5. Участок с разной степенью обводнения поверхности:
а – май 2011 г.; б – август 2011 г.

Выводы

Аэровизуальное обследование является важным средством дистанционного мониторинга трубопроводных природно-технических систем. Оно относительно недорогое, покрывает всю изучаемую территорию и производится в короткие сроки, что позволяет, используя минимальное количество опорных наземных данных, практически осуществлять оперативный контроль за состоянием

объектов и давать ценные данные для прогноза их взаимодействия с окружающей средой на огромных территориях с весьма разнообразными ландшафтными условиями.

Предложенные в статье методические подходы позволяют оперативно оценить динамику природной среды как на локальном уровне (интенсивность развития отдельных экзогенных процессов на отдельном участке), так и по всей трассе магистрального нефтепровода.

Предложенные в статье варианты оценки степени опасности экзогенных процессов для объектов магистрального нефтепровода позволяют подобрать необходимые критерии в рамках системы мониторинга в зависимости от эксплуатационных задач.

Аэровизуальное обследование, являясь достаточным для первичной оценки опасности геологических процессов, не обеспечивает, однако, получения всего объема необходимой информации о состоянии и динамике изменения ситуации, поэтому оно должно дополняться наземными работами и аэрокосмическими регулярными наблюдениями.

Результаты работы рекомендуется использовать при планировании развития систем мониторинга технического состояния МН.

Работа, результаты которой использованы в данной научной публикации, выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Основы геокриологии. Ч. 6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2008. 768 с.
2. Методические рекомендации по применению аэрокосмических методов для диагностики трубопроводных геотехнических систем и мониторинга окружающей среды. М.: ИРЦ Газпром, 1995. 60 с.
3. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ. Госстрой РФ. Введ. 01.01.98. М., 2004. 64 с.
4. Природные опасности России. Геокриологические опасности / под ред. Л.С. Гарагуля, Э.Д. Ершова. М.: Изд. фирма «КРУК», 2000. 316 с.
5. Перльштейн Г.З. О механизме отепляющего влияния мелких водоемов на температуру подстилающих пород // Тез. докл. международной конф. «Криосфера Земли как среда жизнеобеспечения», Научный Совет по криологии Земли РАН, Пушино, 2003. С. 93-94.

THE USAGE OF AERIAL SURVEY RESULTS FOR DANGER ESTIMATION OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES ON THE MAIN PIPELINE

D.O. Sergeev, G.Z. Perlshtein, A.N. Khimenkov, Yu.V. Khalilova
*Sergeev Institute of Environmental Geoscience Russian Academy of Sciences
(IEG RAS), Moscow, Russia, e-mail: cryo@geoenv.ru*

A.N. Ugarov
*Scientific and Educational Center Extreme Situations Research
of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
e-mail: garo@esrc.ru*

Abstract. *Regular aerial survey is part of the technical monitoring of long pipelines. The proposed development of survey methodology has allowed unifying procedures for the allocation of geological process areas and for the assessment of the related hazard to the elements of oil pipeline systems. An approach for the development and implementation of protective measures and for the improvement of engineering-geological monitoring was proposed.*

Keywords: *engineering and geological monitoring, natural-technical system, aerial survey, main oil pipeline, exogenous geological processes*

References

1. Osnovy geokriologii. Ch. 6. Geokriologicheskii prognoz i ekologicheskie problemy v kriolitozone (Fundamentals of geocryology. Part 6. Geocryological prediction and ecological problems in cryolithozone). Ed. Ershov E.D. Moscow: MGU, 2008. 768 p.
2. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu aerokosmicheskikh metodov dlya diagnostiki truboprovodnykh geotekhnicheskikh sistem i monitoringa okruzhayushchei sredy (Guidelines for the use of aerospace methods for the diagnosis of pipeline systems, geotechnical and environmental monitoring). Moscow, IRC Gazprom, 1995. 60 p.
3. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Chast' I. Obshchie pravila proizvodstva rabot (Engineering geological site investigations for construction. Part. I. General regulations on working procedure). Gosstroy RF. Moscow, 2004. 64 p.
4. Prirodnye opasnosti Rossii. Geokriologicheskie opasnosti (Natural hazards in Russia. Geocryological hazards). Ed. L.S. Garagulya, E.D. Ershov. Moscow, KRUK, 2000. 316 p.
5. Perlshtein G.Z. O mekhanizme oteplyayushchego vliyaniya melkikh vodoemov na temperaturu podstilayushchikh porod (On the mechanism of defrosting effect of small water bodies on the temperature of the underlying rocks), *Tez. dokl. mezhd. konf "Kriosfera Zemli kak sreda zhizneobespecheniya"* (Proc. of intern. conf. "Earth Cryosphere as a medium of life support"). Pushchino, 2003. PP. 93 - 94.