
**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 502/504

**ОПЫТ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ТРАССЕ ТРУБОПРОВОДНЫХ
СИСТЕМ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)**

© 2018 г. А. С. Викторов^{1,*}, Б. В. Георгиевский^{2,**}, В. Н. Капралова¹, Т. В. Орлов¹,
О. Н. Трапезникова¹, А. В. Зверев¹

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

²АО “Зарубежнефть”, Армянский пер., 9/1/1, Москва, 101990 Россия

*E-mail: dist@geoenv.ru

**E-mail: bvgeo@mail.ru

Поступила в редакцию 05.04.2018 г.

В статье представлен двухлетний опыт дистанционного мониторинга опасных экзогенных геологических процессов вдоль построенной трубопроводной системы, пересекающей Среднюю и Южную Сибирь и Приамурье. Необходимость такого типа мониторинга обусловлена сложными геологическими условиями трассы, с одной стороны, и малой доступностью и протяженностью территории, с другой. Рассмотрена разработанная авторами геоинформационная система (ГИС) мониторинга опасных экзогенных геологических процессов (ОЭГП) по трассе. В ГИС выделено два уровня детальности: обзорный, включающий всю трассу трубопроводной системы и прилегающую трехкилометровую зону; и локальный, отображающий крупномасштабные ключевые участки по трассе. В 1-й год наблюдений были выделены конкретные проявления опасных геологических процессов и ключевые участки для детального дистанционного и наземного мониторинга в следующем году. Во 2-й год исследований проведено повторное дешифрирование участков трассы, наиболее подверженных развитию ОЭГП, и составлена Карта развития экзогенных геологических процессов. В результате дешифрирования космических снимков выявлены участки трассы с различной степенью опасности и динамичности проявлений опасных процессов, и создан задел для проведения дальнейшего мониторинга.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг опасных экзогенных геологических процессов, многолетнемерзлые породы, антропогенно-стимулированные процессы, трубопроводная система

DOI: 10.1134/S0869780318050095

ВВЕДЕНИЕ

Восточная Сибирь – регион с широким распространением опасных экзогенных геологических процессов (ОЭГП), включая эрозионные, оползневые, обвально-осыпные, карстовые и процессы, связанные с наличием многолетнемерзлых пород (ММП). Известно, что любое антропогенное вмешательство в природную среду может спровоцировать ускоренное развитие имеющихся и появление новых очагов ОЭГП. Поэтому строительство разнообразных объектов в регионе должно сопровождаться системой мониторинга ОЭГП в районе строительства. При создании и эксплуатации таких протяженных объектов, как трубопроводные системы, особенно если они проложены в труднодоступных районах, необходима составная часть системы мониторинга – дистанционный мониторинг ОЭГП, базирующийся на аэро-и/или космической съемке высокого разрешения [4].

В статье представлен двухлетний опыт дистанционного мониторинга ОЭГП вдоль построенной трубопроводной системы, пересекающей три физико-географические страны: Среднюю Сибирь, Байкальско-Становую область Южносибирской горной страны и Приамурье. Средняя Сибирь и Байкальско-Становая область Южносибирской горной страны сформировались на древней Сибирской платформе, Приамурье представляет собой часть Амуро-Сахалинской страны, испытавшей в позднем мезозое тектоно-магматическую активизацию с образованием гранитоидных интрузий. Территории, по которым проходят трассы, характеризуются разнообразием геолого-геоморфологических и криогенных условий, растительности и почв. Основные факторы, определяющие природные условия региона: закономерности широтной зональности и секторности, рельеф (высотная поясность, экспозиция склонов), характер подстилающей по-

верхности. На активизацию экзогенных геологических процессов и их выражение в рельефе оказывает существенное влияние неотектоническая деятельность, и, в частности, те активные неотектонические структуры, которые пересекает трасса. Территория в целом подвергалась длительному воздействию процессов денудации, которые обусловили густое и глубокое расчленение местности. В горах широко распространены формы рельефа, связанные с деятельностью четвертичных ледников и мерзлотно-солифлюкционных процессов (нагорные террасы, каменные многоугольники и т.д.). Крутые склоны представляют собой наименее устойчивые участки. В их пределах при нарушении почвенно-растительного покрова наблюдается активизация процессов смыва и эрозионного расчленения, а на отдельных подмываемых участках вероятны оползневые процессы. Более устойчивы пологие склоны, на которых отмеченные процессы возможны в ослабленном виде из-за меньшей крутизны и высоты. Помимо эрозионно-опасных и оползнеопасных участков, на территории трассы отмечаются участки с активизацией мерзлотных процессов. На них прокладка подземного трубопровода вызывает развитие термокарста, пучение, образование подземных льдов и наледей и др.

В задачи мониторинга входило определение участков трассы трубопроводной системы, подверженных воздействию экзогенных геологических процессов, способных оказать влияние на трубопроводные системы, и мониторинг изменения их пространственного положения и интенсивности развития ОЭГП в период эксплуатации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Дистанционный мониторинг выполнялся на основе широкого комплекса исходных данных:

- оперативная съемка, проведенная спутником GeoEye-1. Пространственное разрешение: 0.5 м (панхроматический канал); 2 м (мульти-спектральные каналы);
- архивные данные из глобальных каталогов компании Digital Globe со спутников QuickBird-1, WorldView-1, WorldView-2 и др.;
- цифровая модель рельефа;
- цветная (RGB) цифровая (сканерная) маршрутная аэрофотосъемка в режиме кадровой съемки;
- фондовые данные картирования многолетнемерзлых пород (ММП).

Первичные объекты дешифрирования:

- очаги ОЭГП, т.е. развивающиеся формы рельефа, соответствующие проявлению ОЭГП на земной поверхности (термокарст, карст, эрозия, оползни, обвалы, осыпи, сели и др.) и оказываю-

щие отрицательное воздействие на строительные объекты и жизнедеятельность людей;

– участки сложных геологических условий (СГУ), т.е. участки потенциально благоприятные для развития ОЭГП, например, участки с развитием повторно-жильных льдов и высокольдистых грунтов.

Для целей дистанционной оценки современного состояния природной среды использовались *программные средства*, в наибольшей степени отвечающие целям исследования¹:

1. *Программный комплекс автоматизированной интерпретации материалов аэрокосмических съемок ENVI (Environment for Visualizing Images).*

Назначение комплекса – автоматизированная многоцелевая интерпретация материалов дистанционного зондирования.

2. *Геоинформационная система Mapinfo (Разработчик – MAPINFO Corp.).*

Назначение – система предназначена для решения задач географического анализа, выявления тенденций и закономерностей, создания тематических карт, таблиц, текстов и хранения их в базах данных.

3. *Геоинформационная система SAGA (Открытое ПО).*

Назначение – сбор, управление, анализ и представление данных, при возможности взаимодействия с различными аппаратными базами, ОС и ПО, а также разными способами представления данных и их пространственными характеристиками.

В результате дешифрирования выявлены участки трассы с различной степенью опасности проявлений ОЭГП/СГУ. При этом участком называется фрагмент полосы трассы, характеризующийся повышенной опасностью возможного поражения трубопроводной системы опасными экзогенными геологическими процессами.

В основу *интерпретации* положено сочетание прямых дешифровочных признаков, индикационного дешифрирования и методов автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования. Особое внимание при дешифрировании уделено текстурным дешифровочным признакам, как наиболее информативным.

Интерпретация материалов дистанционных съемок включала этапы:

- совместный анализ материалов дистанционных съемок и наземных данных;
- определение дешифровочных признаков и анализ индикационных взаимосвязей;

¹ В случае отсутствия полнофункциональных коммерческих версий использовались их свободно распространяемые аналоги и ограниченные версии.

– полевое дешифрирование и заверка дешифровочных признаков и эталонов;

– заключительная интерпретация материалов дистанционных съемок и составление результирующих карт.

В качестве прямых дешифровочных признаков были использованы:

- цвет;
- форма контуров;
- ориентировка контуров;
- взаимное расположение;
- соседство контуров;
- микроструктура изображения.

Для установления дешифровочных признаков, прежде всего, характеризующих текстуру изображения, проведен выборочный анализ материалов аэро- и космической съемки данной территории совместно с анализом наземных данных по изучаемой территории. Это позволило предварительно выделить дешифровочные эталоны и наиболее результативные текстурные дешифровочные признаки для получения информации о состоянии и изменении компонентов природной среды сначала на материалах космической съемки 1-го года мониторинга, а затем детализировать их по материалам аэросъемки 2-го года мониторинга.

Особенности аэрокосмических методов обуславливают необходимость рационального сочетания (комплексирования) дистанционных данных с геокриологическими, геологическими, геоморфологическими, геоботаническими, геотектоническими и др. данными, что повышает полноту и достоверность итоговой информации. Этого также требует разнообразие природных условий по трассе трубопровода.

Территория, по которой проложена трубопроводная система, характеризуется в основном горным рельефом, большая часть трассы проходит в зоне многолетнемерзлых пород и лежит в области высокой сейсмичности. Помимо вышеперечисленных условий, учитывались также уклоны рельефа (они разбиты на 6 наиболее репрезентативных градаций по крутизне), а по снимкам высокого разрешения по трассе выделялись участки с вероятным развитием полигонально-жильных льдов.

Окончательное дешифрирование снимков проводилось с помощью программных пакетов, упомянутых выше, с последующей экспертной оценкой полученных контуров. Описания эталонных участков были положены в основу построения легенд карт (ГИС слоев) состояния природной среды (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе дешифрирования материалов дистанционного зондирования и анализа фондовых, литературных данных, а также данных инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий создана геоинформационная система (ГИС) мониторинга опасных геологических процессов по трассе трубопроводной системы.

Для решения задач, относящихся к разным объектам, картографические данные в ГИС мониторинга опасных геологических процессов организованы в виде пакетов данных двух уровней детальности: *обзорного* и *локального*.

На обзорном уровне отображается весь участок мониторинга, т.е. трасса трубопроводной системы и прилегающая (3 км) область. На локальном уровне отображаются различные ключевые участки мониторинга опасных геологических процессов.

В набор карт включены:

1. Карта морфологии и морфометрии рельефа (М 1 : 50000 в полосе шириной 3 км);

2. Ландшафтная карта (М 1 : 50000 в полосе шириной 3 км);

3. Карты локального уровня, составленные по результатам 1-го года мониторинга:

– Карта распространения сложных геологических условий по всей трассе трубопроводной системы;

– Карта районирования территории по типам и степени проявления комплекса внешних факторов.

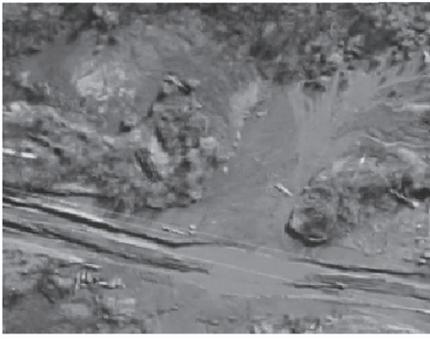
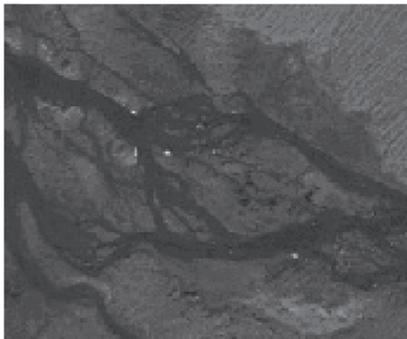
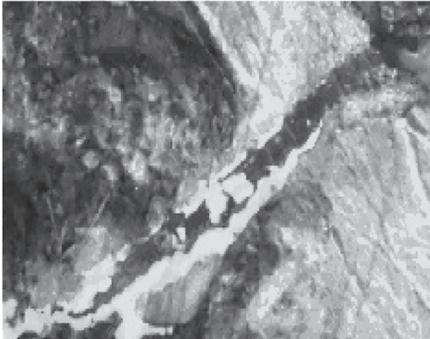
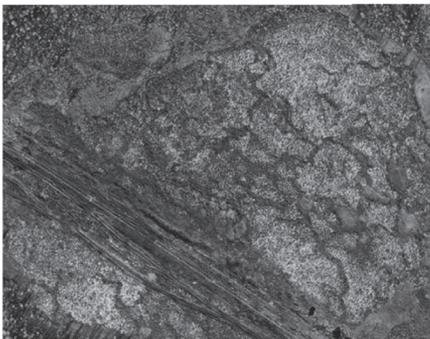
4. Карты локального уровня, составленные по результатам 2-го года мониторинга:

– Карта районирования территории по типам и степени проявления комплекса внешних факторов;

– Прогнозная карта развития экзогенных геологических процессов.

В первый год наблюдений выделялись участки с проявлениями очагов процессов и явлений: оползневые, термокарстовые, эрозионные, карстовые, суффозионные, карстово-суффозионные, пролювиальные, потопление, заболачивание. Кроме того, выделялись наледи, полигонально-жильные льды, курумы, сухостой и гари. В результате создана Карта распространения сложных геологических условий по всей трассе трубопроводной системы.

На *прогнозной* карте развития существующих и новых природных и антропогенно-стимулированных геологических процессов и явлений они рассматриваются совместно, поскольку для их разделения необходимы отсутствующие данные об активности экзогенных процессов до строи-

№	Изображение (космоснимок)	Изображение (аэроснимок)	Интерпретация
1			Проявление аккумулятивно-пролювиальных процессов
2			Участки образования наледей
3			Проявление оползневых процессов
4			Участки возможного расположения полигонально-жильных льдов

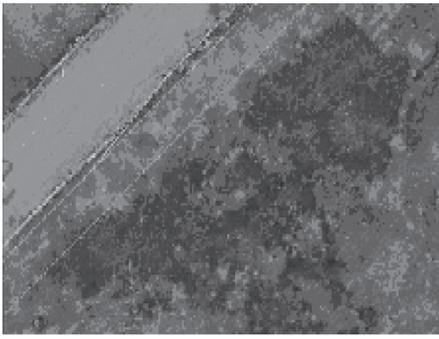
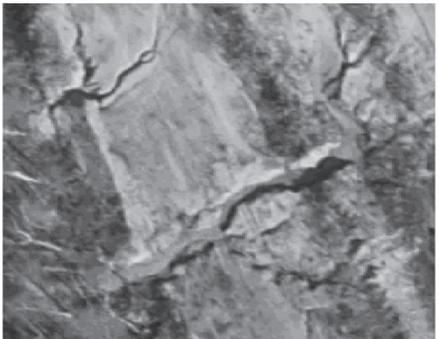
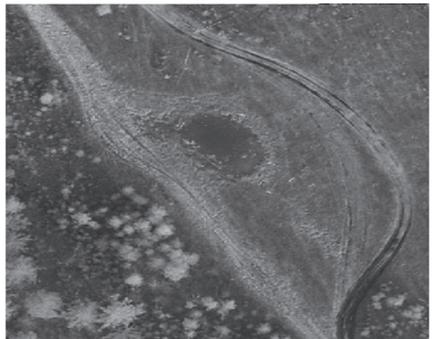
№	Изображение (космоснимок)	Изображение (аэроснимок)	Интерпретация
5			Проявление процессов подтопления-заболачивания
6			Проявление эрозионных процессов
7			Проявление термокарстовых процессов
8	Повторная космическая съемка не проводилась		Эрозия повторная (по участкам с противоэрозионными мероприятиями)

Рис. 1. Дешифровочные эталоны очагов проявлений некоторых опасных природных процессов и сложных геологических условий.

тельства трубопроводной системы. На карте выделены участки развития ОЭГП и СГУ. Каждый из этих участков характеризуется существовани-

ем одного из процессов: оползания, эрозии (включая термоэрозию), подтопления (заболачивания), карста, термокарста, движения курумов.

Таблица 1. Типизация рельефа

№ п/п	Типы рельефа	Длина трассы в пределах типа рельефа (% от общей длины)
1	Низкие долинные и межгорные впадины	2.87
2	Низкого грядово- и холмисто-увалистый рельеф	6.22
3	Слабовозвышенные ступенчато-платообразные останцовые поверхности	3.61
4	Слабовозвышенный увалистый и грядово-увалистый рельеф	12.38
5	Слабовозвышенный сильнорасчлененный грядовый рельеф	2.77
6	Средневозвышенные платообразные и ступенчато-платообразные среднерасчлененные поверхности	8.70
7	Средневозвышенный сильнорасчлененный грядовый рельеф	14.34
8	Возвышенные слаборасчлененные платообразные поверхности	13.72
9	Возвышенные среднерасчлененные платообразные и ступенчато-платообразные поверхности	5.37
10	Расчлененный грядовый и холмисто-грядовый рельеф	11.11
11	Низкогорный расчлененный рельеф и приподнятый грядовый рельеф	8.38
12	Высоких межгорных впадин и сильнорасчлененных возвышенных платообразных поверхностей	4.47
13	Горный расчлененный рельеф	6.06

Прогнозная карта создана на основе общих закономерностей парагенетического развития комплексов экзогенных геологических процессов, наблюдавшихся ранее на линейных объектах с многолетним циклом эксплуатации (ЛЭП, трубопроводные системы). При создании карты учитывалась динамика развития ОЭПГ за два года наблюдения, а также реакция природной среды на проведение защитных мероприятий. На карте отмечались все защитные объекты, созданные в промежутке между первым и вторым сроком

съемки, и давалась оценка их результативности по материалам дистанционного съемок.

В качестве одного из этапов работ исследована связь ОЭПГ с условиями окружающей среды, которая оценивалась по частоте обнаружения опасных геологических процессов и явлений в зависимости от *типа рельефа* (13 категорий, табл. 1) и *типа мерзлотных условий* (9 категорий, табл. 2) вдоль трассы трубопроводной системы. Тип рельефа и тип мерзлотных условий определяли в результате анализа различных исходных данных, включая материалы дистанционных съемок, ЦМР и Геокриологическую карту СССР.

Эти два фактора наиболее сильно связаны с опасными геологическими процессами и явлениями, они были типизированы на всем протяжении трассы, и были выделены участки с однотипными сочетаниями факторов.

В пределах трассы наиболее распространены типы рельефа: слабовозвышенный увалистый и грядово-увалистый; средневозвышенный сильнорасчлененный грядовый; возвышенный слаборасчлененный платообразный; расчлененный грядовый и холмисто-грядовый.

Большая часть трассы трубопроводной системы находится в пределах распространения ММП различного типа [1–3]. По результатам контактных исследований установлено, что увеличение сезонно-талого слоя (СТС) в пределах земледелия трассы трубопроводной системы составляет до 3-х м после 1-го года эксплуатации. Такие показатели позволяют ожидать активизацию мерзлотных процессов (термокарст, термоэрозия и др.) практически на всем протяжении трассы.

Особенности рельефа и степени развития многолетнемерзлой толщи вдоль трассы трубопроводной системы определены на основе дешифрирования материалов ДЗ и нашли свое отражение в контурах разработанных карт.

С помощью оверлейных операций в среде ГИС рассчитано число очагов каждого процесса для каждого сочетания категорий рельефа и мерзлотных условий. Частота проявлений неблагоприятных процессов, нормированная на 10 км длины трассы трубопровода, визуализирована в виде трехмерных диаграмм, часть из которых представлена на рис. 2.

Очаги эрозии (см. рис. 2а) чаще всего встречаются в типах возвышенного, низкогорного и горного расчлененного и сильно расчлененного рельефа с преимущественно сплошным распространением мерзлоты мощностью более 50 м (более 8 очагов на 10 км трассы трубопровода). Большое количество очагов эрозии в пределах областей с одними из наиболее суровых типов мерзлотных условий позволяет сделать предварительный вывод о значительном вкладе термоэрозионных процессов в развитие линейной эрозии.

На рис. 2б приведена трехмерная диаграмма связи типов рельефа и мерзлотных условий с частотой процессов заболачивания. Процессы заболачивания наиболее характерны для областей сплошного распространения мерзлоты мощностью более 50 м без выраженной зависимости от особенностей рельефа (от 5 до 10 случаев на 10 км трассы). Проявления заболачивания чаще отмечено для областей средневозвышенного платообразного и ступенчато-платообразного среднерасчлененного рельефа.

На рис. 2в изображена трехмерная диаграмма связи типов рельефа и мерзлотных условий с частотой термокарстовых процессов. Термокарстовые процессы наиболее характерны для областей редкоостровного и прерывистого распространения мерзлоты, мощностью до 25 м. При этом наиболее часто просадки отмечены в низких долинных и межгорных впадинах и на участках средневозвышенного сильнорасчлененного грядового рельефа (более 4 случаев на 10 км трассы) [2].

По итогам работ 1-го года наблюдений были не только выделены конкретные проявления опасных геологических процессов, но также определены ключевые участки для детального дистанционного и наземного мониторинга в следующем году, поскольку в большинстве случаев выявленные опасные геологические процессы находились на ранних стадиях развития. В связи с этим был сделан прогноз об активизации или стабилизации выделенных очагов процессов в дальнейшем, отраженный на прогнозной карте развития существующих и новых природных и антропогенно-стимулированных геологических процессов и явлений. В то же время многие очаги развития ОЭГП не были выявлены в 1-й год наблюдения, так как их проявление было незначительно, однако их

Таблица 2. Типизация мерзлотных условий

№ п/п	Тип мерзлотных условий	Длина трассы в пределах типа мерзлотных условий (% от общей длины)
1	Редкоостровной и мелкоостровной с перелетками	11.95
2	Островной, мощностью преимущественно до 15 м	8.11
3	Редкоостровной, мощностью до 25 м	5.96
4	Редкоостровной и массивноостровной, мощностью до 25 м	7.68
5	Массивно-островной, мощностью до 50 м	15.58
6	Массивно-островной и сплошной, мощностью до 50 м	5.22
7	Прерывистый, мощностью до 100 м	4.49
8	Прерывистый и преимущественно сплошной, мощностью до 50–100 м	11.37
9	Преимущественно сплошной, мощностью более 50 м	29.64

возможное расширение прогнозируется по мере развития изменений геологической среды под действием эксплуатации трубопровода.

Как уже указывалось, во 2-й год наблюдений было проведено повторное дешифрирование участков трассы, наиболее подверженных разви-

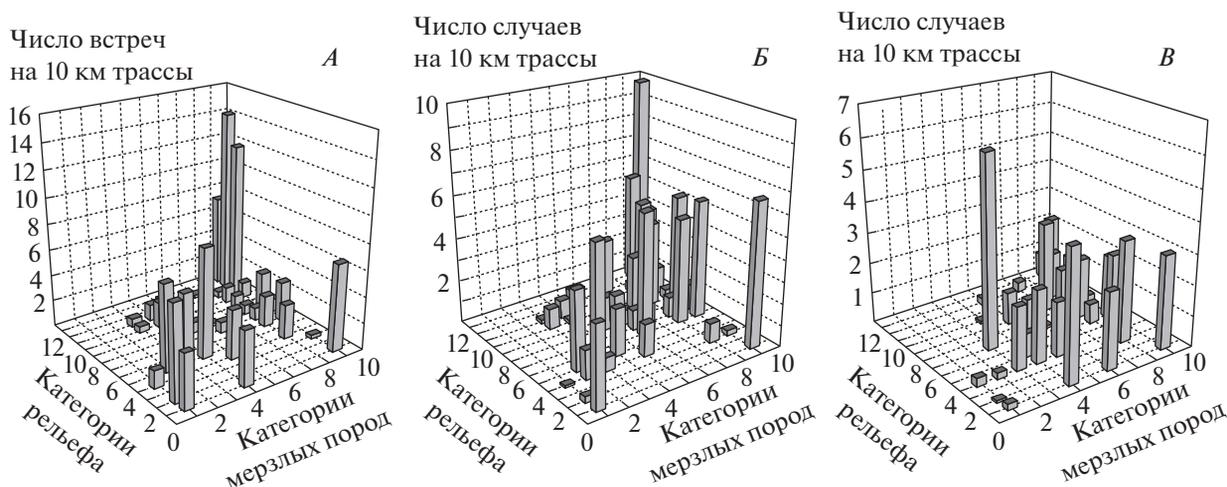


Рис. 2. Трехмерная диаграмма для: а – линейной эрозии, б – заболачивания, в – термокарстовых процессов, в пределах трассы трубопроводной системы.

тию ОЭГП, и составлена Карта развития экзогенных геологических процессов, на которой обозначены ОЭГП и СГУ (табл. 3).

Проведенные работы по интерпретации материалов аэросъемки на территорию участков, выделенных по результатам обследований первого года наблюдений, позволили оценить степень развития опасных геологических процессов и сформулировать предложения для дистанционного контроля и обследования ключевых участков для последующего контроля ОЭГП и СГУ.

Опасные участки для последующего мониторинга формировались в соответствии со следующими критериями:

- объединение географически и инженерно-геологически связанных проявлений ОЭГП/СГУ в единый участок;

- высокая средняя плотность расположения очагов наиболее опасных процессов (термокарст, эрозия, оползни);

- наличие проявлений СГУ.

В целом проведенный анализ позволил выделить по всей группе факторов три класса геодинамической активизации участков.

К третьему классу (высокой геодинамической активизации) отнесены участки с очевидным проявлением активности ОЭГП. Форма их проявления могла быть различной. Например, для оползневых участков активность проявлялась в развитии трещин в оползневом теле.

В наиболее распространенном комплексе ОЭГП принадлежность участков к данному классу проявлялась в:

- появлении новых очагов процессов;

- явном увеличении размеров ряда очагов и уменьшении расстояния от них до трубопровода, иногда сопровождающимся слиянием очагов;

- значительном развитии очагов наиболее опасных процессов (термокарст, эрозия, оползневые процессы).

При анализе принимались во внимание сравнительная опасность процесса, а также условия протекания (наличие высокольдистых грунтов, полигонально-жильные льды, значительные уклоны поверхности и др.), указывающие на условия дальнейшей активизации.

Ко **второму классу** (средней геодинамической активизации) отнесены участки с сохранением значительного количества очагов ОЭГП, но без очевидного проявления их высокой активности. Форма проявления могла быть различной. Например, принадлежность оползнеопасных участков к данному классу выражалась в отсутствии развития трещин на склоне, свежих стенок срыва и др.

В наиболее распространенном комплексе ОЭГП принадлежность участков к данному классу проявлялась в:

- отсутствии появления новых очагов процессов;

- отсутствии явного увеличения размеров очагов и сохранении в целом расстояния от них до трубопровода;

- умеренном развитии очагов наиболее опасных процессов (термокарст, эрозия, оползневые процессы) и преобладании очагов менее опасных процессов (подтопление, заболачивание).

При анализе также принимались во внимание условия протекания (наличие или отсутствие высокольдистых грунтов, полигонально-жильные льды, величина уклона поверхности и др.), указывающие на условия дальнейшей активизации.

Участки второго класса в целом отвечают стабилизации или равномерному развитию процессов без резких прогнозируемых изменений в ближайшее время.

К первому классу (слабой геодинамической активизации) отнесены участки с незначительным количеством очагов ОЭГП, с низкой активностью или признаками частичного затухания. Форма проявления могла быть различной.

В наиболее распространенном комплексе ОЭГП принадлежность участков к данному классу проявлялась в:

- отсутствии появления новых очагов процессов и признаками их затухания (исчезновение очагов);

- уменьшении размеров очагов и их расчленении на отдельные очаги;

- слабом развитии очагов наиболее опасных процессов (термокарст, эрозия, оползневые процессы).

При анализе также принимались во внимание условия протекания (наличие или отсутствие высокольдистых грунтов, полигонально-жильные льды, величина уклона поверхности и др.), указывающие на условия дальнейшей активизации.

Участки первого класса в целом отвечают замедлению развития процессов и некоторого их затухания.

Следует отметить, что степень опасности для одного и того же участка с развитием ОЭГП может меняться от года к году в зависимости от их активности. Примерно в 8% выделенных в первом году мониторинга участков следует понизить класс до 2 (для 7 участков), для одного участка класс был повышен с 1 до 2 из-за активного развития эрозионных процессов во 2-м году мониторинга, 91% участков подтвердили свой класс геодинамической активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного дистанционного мониторинга были определены основные закономерности распространения опасных геологических процессов и явлений в зависимости от условий среды по трассе вновь построенной трубопроводной системы в Восточной Сибири. Двухлетний дистанционный мониторинг ОЭГП позволил выделить участки, наиболее опасные в отношении развития опасных процессов, угрожающих трубопроводу, охарактеризовать их динамику и создать задел работ для дальнейшего их мониторинга.

Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по программам РАН по

госбюджетной теме “Дистанционная оценка природных опасностей” (№ г.р. АААА-А18-118022190118-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М.: Недра. 1989. 515 с.
2. Геокриология СССР. Горные страны юга СССР. М.: Недра. 1989. 359 с.
3. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Недра. 1989. 414 с.
4. Комплексный мониторинг северо-таежных геосистем Западной Сибири / Отв. ред. В.П. Мельников. Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2012. 207 с.

THE CASE STUDY OF REMOTE SENSING MONITORING FOR GEOLOGICAL HAZARDS ALONG PIPELINE SYSTEMS (EASTERN SIBERIA)

A. S. Victorov^{a,#}, B. V. Georgievskii^{b,##}, V. N. Kapralova^a, T. V. Orlov^a,
O. N. Trapeznikova^a, and A. V. Zverev^a

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

^b*Joint Stock Company “Zarubezhneft”, Armiansky pereulok, 9/1/1, Moscow, 101000 Russia*

[#]*E-mail: dist@geoenv.ru*

^{##}*E-mail: bvgeo@mail.ru*

The paper demonstrates the results of two year remote sensing monitoring of hazardous geological processes along the new built pipeline system crossing Middle and South Siberia, and Amur region. The necessity of this type of monitoring results from the complex geological environment from one hand, and low availability of the lengthy route from the other hand. The geoinformation system (GIS) developed by the authors, dealing with hazardous geological processes along the pipeline system is discussed in the paper. The GIS has two levels of detail: overview level including the whole pipeline system and the adjacent 3 km belt; and the local level including large-scale key sections along the route. Certain foci of hazardous geological processes were detected during the first year of observations as well as corresponding key sites for next year detailed remote and ground-based monitoring. Repeated observation of the most affected sections of the route was done during the second year and the Map of exogenous hazards was developed. The sections of the route varying by manifestations of dangerous processes were revealed from space imagery and the groundwork for further monitoring was done.

Key words: remote sensing monitoring of hazardous geological processes, permafrost rocks, anthropogenically-stimulated processes, pipeline system

REFERENCES

1. *Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'niy Vostok* [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 515 p. (in Russian)
2. *Geokriologiya SSSR. Gornye strany yuga SSSR* [Geocryology of the USSR. Mountainous regions in the south of the USSR]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 359 p. (in Russian)
3. *Geokriologiya SSSR. Srednyaya Sibir'* [Geocryology of the USSR. Middle Siberia]. Moscow: Nedra Publ., 1989. 414 p. (in Russian)
4. *Kompleksnyi monitoring severotayezhnykh geosistem Zapadnoy Sibiri* [Complex monitoring of north taiga geosystems of Western Siberia]. V.P. Mel'nikov, Ed., Novosibirsk, Geo Publ., 2012, 207 p. (in Russian)