

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 2 / 2017



УДК 550.343.3

DOI: 10.23671/VNC.2017.2.9492

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕХНОГЕННОГО ОПОЛЗНЯ

© 2017 С. Ю. Малышков, В. Ф. Гордеев, к.т.н., В. И. Поливач

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3, e-mail: msergey@imces.ru

Приведены результаты оценки динамического изменения состояния техногенного оползня методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в условиях горно-складчатых областей с активной геодинамикой Северо-Кавказского региона. Даны рекомендации по настройке регистраторов ЕИЭМПЗ, выделению пространственных аномалий и их интерпретации с целью оценки напряженно-деформированного состояния горных пород.

Ключевые слова: ЕИЭМПЗ, вариации геофизических полей, оползень.

Впервые применение методов регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) при решении задач инженерной геологии и, в частности, оценки оползневых процессов было предложено в 1983 году [Мастов и др., 1983]. Но до недавнего времени эти методы мало использовались из-за большого числа помеховых импульсов в структуре ЕИЭМПЗ. Импульсы электромагнитного поля, несущие информацию о строении земной коры, возникают в массивах горных пород вследствие естественного постоянного геодинамического движения земной коры как результат механоэлектрических преобразований энергии, вызванных этим движением. Интенсивность и частотный состав этого поля определяется структурным и литологическим строением подстилающих пород, их напряженно-деформированным состоянием [Malyshkov et al., 2013]. Однако, при интерпретации результатов возникают сложности, связанные с отбраковкой большого количества импульсов-помех и выделения лишь небольшой части полезной информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) объекта исследования. Подавляющая часть регистрируемых импульсов генерируется далекими источниками литосферного, атмосферного происхождения и техногенными помехами, не несущими информации об интересующем объекте.

В структуре естественного импульсного электромагнитного поля Земли присутствуют импульсы от различных источников:

1. Импульсы грозового атмосферного происхождения, как от местных грозовых процессов в летнее время года, так и от мощных грозовых разрядов тропических гроз.

2. Импульсный поток литосферной составляющей, вызванный длиннопериодными деформационными волнами из нижней мантии, связанными с эксцентричным вращением ядра и оболочки Земли.

3. Импульсы, связанные с региональными тектоническими процессами, подготовкой, протеканием и релаксацией тектонических напряжений в очаге землетрясения.

4. Тектонические процессы в геодинамически активных областях.

При использовании импульсных электромагнитных полей Земли необходимо учитывать:

1. Шумовой характер регистрируемого сигнала, его крайнюю нестабильность во времени. Число регистрируемых импульсов экспоненциально возрастает с уменьшением порога дискриминации аппаратуры.

2. Наличие явно выраженного суточного хода. При этом суточный ход также не постоянен и кардинально меняется в течение всего года.

3. Наличие большого набора расщепленных полос в спектральных характеристиках временных рядов.

4. Присутствие в регистрируемом потоке атмосфериков, импульсов литосферного происхождения, а также мощных импульсов от удаленных источников. Наличие техногенных помех.

Казалось бы, что при таком наборе влияющих факторов получение качественного геофизического материала становится проблематичным. Во всяком случае, незначительное число публикаций по применению методов ЕИЭМПЗ в геофизической разведке подтверждает эти выводы.

В работе [Малышков Ю., Малышков С., 2009] впервые был показан механизм модуляции ЕИЭМПЗ деформационными волнами из нижней мантии Земли, были предложены методы настройки регистрирующей аппаратуры для увеличения доли импульсов литосферного происхождения в общем потоке регистрируемых импульсов. В работе [Гордеев и др., 2010] при решении методических задач было предложено использовать вариационные (реперные) регистраторы поля для выделения временной составляющей ЕИЭМПЗ. Практическое воплощение этой идеи стало возможным, благодаря появлению нового класса регистрирующей аппаратуры [Шталин и др., 2012], позволяющей осуществлять точную тонкую программную настройку усилительных трактов и привязку результатов к внутренним часам. В настоящее время использование импульсных электромагнитных полей в ОНЧ (очень низких частот) диапазоне для геофизической разведки все чаще применяется в инженерной геологии, в частности, для выбора мест для строительства опасных промышленных объектов атомной, топливно-энергетической промышленности и мониторинга напряженно-деформированного состояния грунтов.

Результаты, представленные в этой работе, получены многоканальным регистратором «МГР-01», разработанным в институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Регистраторы «МГР-01» сертифицированы, зарегистрированы в государственном реестре средств измерений под № 31892-06 и допущены к применению в Российской Федерации. Регистраторы позволяют измерять магнитные поля напряженностью от $2 \cdot 10^{-7}$ А/м до 400 А/м или с магнитной индукцией от $2,5 \cdot 10^{-4}$ нТл до $5 \cdot 10^{-4}$ Тл, при том, что средняя напряженность поля у поверхности Земли составляет около 40 А/м. Опыт регистрации в различных регионах Северного полушария показал, что для получения хорошо воспроизводимых результатов нет необходимости производить измерения при очень высокой чувствительности аппаратуры.

Регистрируемый поток импульсов определяется пространственно-временными вариациями. Из геофизических наблюдений исключаются временные вариации полей, все импульсы от удаленных источников и оставляются только вариации импульсов «местного» структурно-тектонического происхождения. Удаление временных вариаций полей и выделение импульсов на импульсы местного и далекого происхождения можно осуществить с помощью системы из нескольких синхронно работающих регистраторов. Одни регистраторы являются неподвижными (реперными) и измеряют только временные вариации электромагнитных полей. С

помощью других – маршрутных регистраторов, проводят измерения параметров импульсов, связанных как с временными, так и с вариациями геологического характера ЕИЭМПЗ по профилям, пересекающим исследуемую территорию.

Различить местные и удаленные источники сигнала можно по времени прихода и разнице в амплитудах импульсов на регистраторах, разнесенных в пространстве. Импульсы от удаленных источников, например, атмосферники, будут распространяться в волноводе земля-ионосфера и достигать регистраторов, расположенных на небольшом удалении друг от друга, практически одновременно, иметь равные амплитуды. Сигналы от мощных удаленных литосферных источников, вышедшие на поверхность земли, далее будут распространяться вдоль земной поверхности со скоростью близкой к скорости света и слабым затуханием. Поэтому такие импульсы также будут зарегистрированы всеми регистраторами практически одновременно и с близкими значениями амплитуды.

Иная картина будет наблюдаться для импульсов местного литосферного происхождения, удаленных на относительно небольшое расстояние от регистрирующей аппаратуры. Основная часть их трассы до приемника поля будет проходить в горных породах. Сильное затухание электромагнитных полей в земной коре приведет к заметной разнице в амплитудах сигналов над источником и на удаленных точках. В приборах с пороговой системой регистрации и с отсечкой импульсов малой амплитуды возникнет ситуация, когда более удаленный регистратор за некоторый промежуток времени зафиксирует меньшее число импульсов по сравнению с прибором, расположенным непосредственно над излучающей геофизической аномалией. Если же отдельные импульсы от местного источника имеют достаточно большую амплитуду и регистрируются всеми разнесенными в пространстве регистраторами, то амплитуда регистрируемых импульсов будет также заметно различаться в зависимости от расстояния до источника. Такая обработка данных позволяет получить хорошо воспроизводимые результаты профильных вариаций ЕИЭМПЗ, пригодные для исследования структурных и литологических неоднородностей земной коры и анализа напряженно-деформированного состояния горных массивов. Точность выделения аномалий возрастает с увеличением числа используемых приборов. Эти особенности в проявлении местных и удаленных источников поля положены в основу разработанной нами специализированной аппаратуры и методики измерений.

Качество получаемой геофизической информации в значительной мере определяется точностью настройки аппаратуры. Как показали наши многолетние исследования, временные вариации радиоволнового поля Земли в диапазоне очень низких частот определяются суточными и годовыми ритмами движения земной коры и имеют суточные хода, зависящие от календарной даты, географических координат местности, ее геофизических особенностей. При слишком высокой чувствительности аппаратуры в регистрируемом потоке импульсов преобладают шумовые компоненты атмосферников и импульсы-помехи. При низкой чувствительности регистрируются только импульсы от наиболее мощных грозных разрядов, и отсутствуют импульсы от местных литосферных источников. Поэтому перед началом работ чувствительность регистраторов настраивается на некоторые оптимальные значения около 10 нТл, на частоте 14-17 кГц.

Многолетний мониторинг ЕИЭМПЗ с целью прогноза землетрясений на Северном Кавказе проводит ОАО «Кавказгеолсъемка» [Забирченко, Дьяконов, 2015]. В настоящей работе приводятся результаты оценки НДС грунтов оползневого склона, подрезанного полкой магистрального газопровода Дзаурикау – Цхинвал за период 2010-2016 гг. В 2010 году при участии авторов настоящей работы и специалистов ООО «ГЕОТЭК» на этом объекте впервые после строительства было

проведено картирование активных оползней и их ранжирование по степени опасности для эксплуатации промышленных объектов по трассе газопровода.

Исследуемая полоса трассы газопровода (25-82 км) прошла по северному склону Главного хребта в Алагирском районе Республики Северная Осетия-Алания (Большой Кавказ). Геоморфологической особенностью этой территории является чередование хребтов-водоразделов и межгорных долин общекавказской ориентировки (280–295°), пересекаемых более узкими долинами субмеридианального простиранья.

В целом на исследуемом участке рельеф трассы газопровода трехъярусный – низкогорный, среднегорный и высокогорный с крутыми склонами и сильно изрезанным рельефом, овражно-балочной сетью. Сложный зональный рельеф создает и высотно-площадную климатическую зональность. Высокая энергетика рельефа (крутизна склонов) и значительное количество осадков (максимум в мае-июне) обуславливают неустойчивость склонов и развитие опасных процессов в виде осыпей, обвалов и оползней. Значительная часть трассы газопровода расположена в зоне воздействия опасных склоновых геологических процессов (ОГП), что является естественным для горно-складчатых областей с активной геодинамикой, сейсмичностью, разнообразием геологических формаций и сильной расчлененностью рельефа. Наиболее распространенными ОГП являются: выветривание, плоскостной смыв, делювиально-осыпные, эрозионные, селевые и гравитационно-склоновые (обвально-оползневые и лавинные) процессы. Меньшую роль играют карстово-суффозионные процессы.

Согласно СНиП 2.01.15-90 территория характеризуется большой степенью опасности развития экзогенных геологических процессов и геологических рисков, что обуславливает необходимость проведения инженерно-геологических защитных мероприятий для объектов газотранспортной системы, особенно на участках воздействия ОГП разных типов. Например, сочетание эрозионных процессов, склонового смыва и контрастного режима быстроменяющихся климатических факторов, как правило, приводит к активизации склона и образованию оползней, не говоря уже о сейсмогенном воздействии и влиянии активных тектонических нарушений.

Оползневые образования по трассе газопровода представляют собой разновидность обычного склонового делювия и отличаются от него более крупным фракционным составом, повышенной естественной влажностью, меньшей уплотненностью и устойчивостью. Мощности оползней могут достигать до нескольких десятков метров. Оползни в большинстве своем имеют гравитационную и сейсмогенную природу. Последние, как правило, локализуются по зонам мощных тектонических разрывов. Образованию и подвижкам оползней способствуют грунтовые воды, атмосферные осадки и трещинные воды коренных пород. Дебиты источников достигают 1 л/с, минерализация 0,2-0,5 г/л, температура воды – 5...8°. Именно оползневой процесс представляет наибольшую угрозу газопроводу.

При выполнении работ настройка приборов производилась в пределах исследуемой площади, вблизи перехода газопровода через р. Ардон на отметке 30,6 км. В этом месте полка газопровода не подвержена оползневым процессам и не находится в зоне крупных тектонических нарушений. Для настройки на оптимальную чувствительность использовали специальные тарировочные зависимости, полученные нами на основе многолетних исследований. Настройка усилительных трактов и порога дискриминации производилась программно. В процессе настройки добивались, чтобы регистрируемые временные вариации были близки по своему виду к типичному суточному ходу для данного времени года. После настройки приборов на оптимальную чувствительность, переходили ко второму этапу – настройке идентичности принимаемых импульсов для всех регистраторов. Такая настройка необходима и должна выполняться с особой тщательностью, поскольку качество геофизической информации в определяющей мере зависит от идентичности репер-

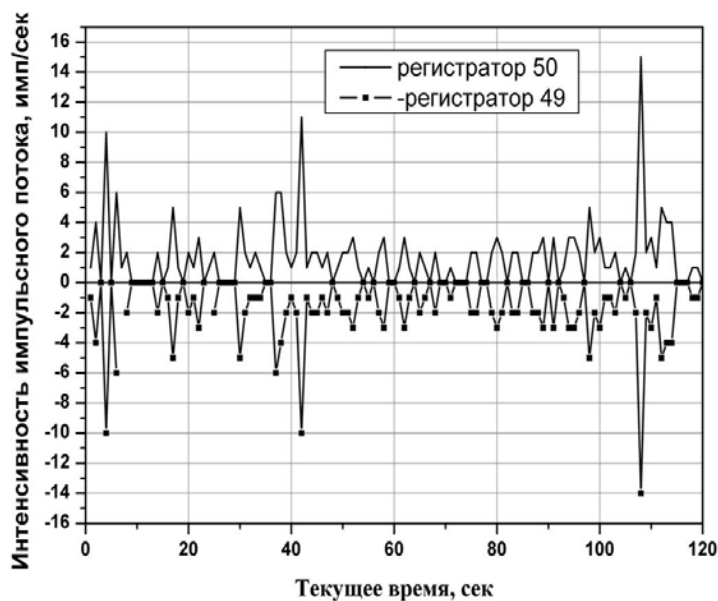


Рис. 1. Пример проверки идентичности работы двух регистраторов

ных и маршрутных приборов. Не идентичность приборов приведет к тому, что один и тот же импульс от одного и того же источника будет регистрироваться разными приборами по-разному. Это приведет к ошибкам при распознавании импульсов местного и далекого происхождения и, как следствие, к понижению точности способа. При настройке на идентичность все антенны приборов устанавливали в непосредственной близости друг от друга. Идентичность регистраторов по чувствительности проверяли не только по числу импульсов, зарегистрированных за определенный интервал времени, но и путем сравнения моментов прихода отдельных импульсов. На рисунке 1 показаны примеры записи сигнала двумя регистраторами в направлении запад – восток за произвольно взятые 50 минут измерений. Для наглядности показания регистратора с идентификационным номером 0 А умножены на минус единицу. Видно, что оба прибора регистрируют импульсы в одни и те же моменты времени, число импульсов в каждый дискрет времени отличается незначительно.

При интерпретации результатов полевых измерений из интенсивности ЕИЭМПЗ, зарегистрированной на каждом пикете, вычитается интенсивность, зарегистрированная реперной станцией в это же время. Невозмущенным полем следует считать участки со значениями близкими к 0. Высокие значения свидетельствуют о наличии зон трещиноватости или напряжений растяжения на данном пикете, отрицательные значения – зон сжатия.

Всего за время полевых работ и геоморфологического исследования 2010 г. было выявлено 20 оползневых участков, представляющих угрозу эксплуатации газопровода. Все оползни, развитые вдоль трассы, по механизму смещения, подразделяются на вязкопластические и оползни сдвига, с доминированием последних. Но в качестве наиболее опасного был выделен оползень на 53,5 км газопровода. Несмотря на то, что в ноябре 2010 г. на этом участке еще не было крупных отколовшихся блоков (рис. 2а), а только наметились трещины закола протяженностью около 10 м и величиной раскрытия 2-10 см. Интервал отмечается высокими отрицательными значениями электромагнитного поля, интерпретируемый как зона растяжения. Такая мозаичная структура поля говорит об активности оползня на этом участке газопровода. В месте резкой смены знака поля очень высокая вероятность

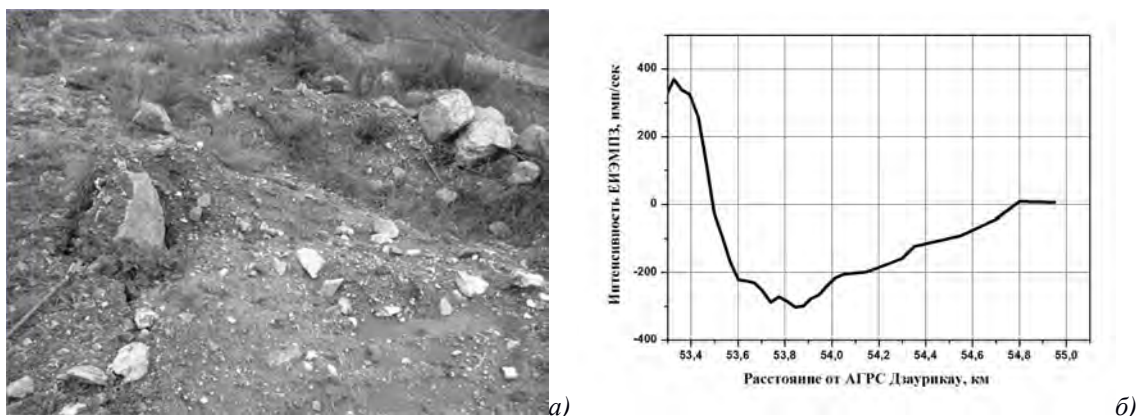


Рис. 2. Оползень пикет 53,5 км. Состояние ноябрь 2010 г.

схода оползня. Из вышесказанного был сделан вывод, что данный оползень представляет прямую угрозу газопроводу и требует незамедлительного принятия управляющих решений.

Через полгода после проведенных исследований на этом участке были проведены повторные работы по оценке НДС горных пород и геоморфологический анализ. За это время произошло существенное изменение рельефа местности, связанное с активизацией оползня. В результате оползень, захватил полку газопровода на протяжении 80 м. Ширина (захват полки) достигает 1,5-2,0 м. Стенка срыва вертикальная, фестончатая, высотой до 1,7 м. Она проходит в 1,5-2,0 м от трассы газопровода. Механизм смещения достаточно сложен: сдвиг по наклонной поверхности с признаками пластических деформаций. Тело оползня состоит из 3 блоков различной конфигурации, уклон поверхности полки достигает 17° при угле наклона склона до $35-40^\circ$.

Тело оползня с поверхности сложено элювием песчаника (глыбы, щебень, дресва, глинистые и пылеватые фракции), далее разрез неизвестен ввиду отсутствия горных выработок на данном участке. На момент исследований не было данных о глубине залегания скальных, несмещаемых пород. Их положение в разрезе определяет мощность тела оползня, а распространение в плане и мощность рыхлых отложений являются главными параметрами при прогнозировании откола новых оползневых блоков. Базисом оползания является полка, расположенная ниже по склону, следовательно, при смещении одного блока, будет откалываться следующий.

Ситуационный план на пикете 53,5 км приведен на рисунке 3а, вариации ЕИЭМПЗ геолого-тектонической и литолого-структурной природы на исследованном участке, в сравнении с данными первого инструментального контроля на рисунке 3б.

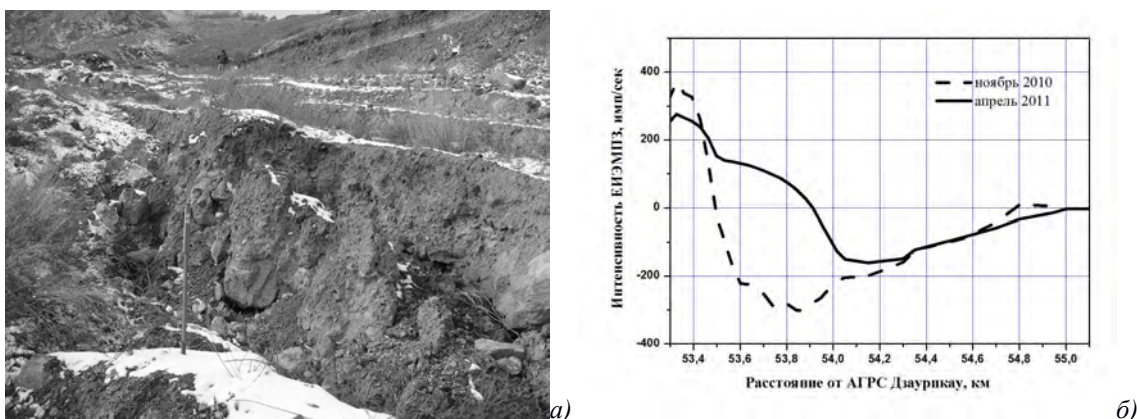


Рис. 3. Оползень ПК 53,5 км. Состояние апрель 2011 г.

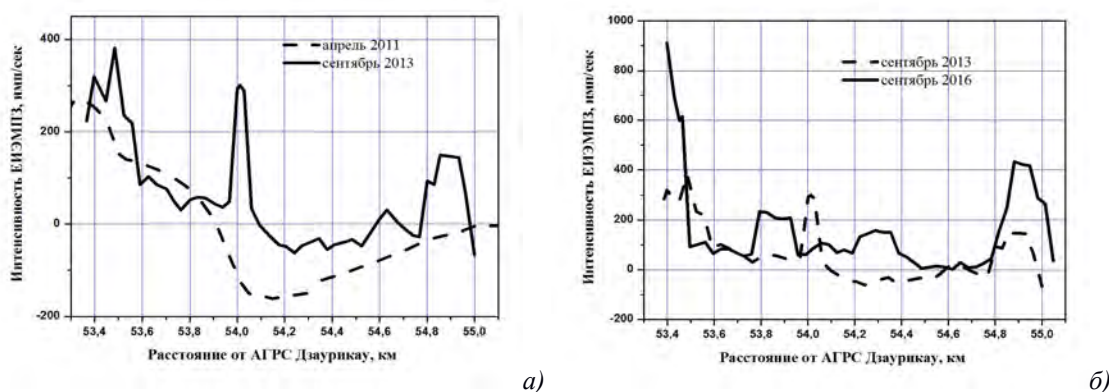


Рис. 4. Оползень ПК 53,5 км.

а) состояние сентябрь 2013 г.; б) состояние сентябрь 2016 г.

За период с ноября 2010 г. до апреля 2011 г. вертикальная осадка оползневых накоплений составила 1,5-1,7 м. Сравнительный анализ результатов измерения показал, что с изменением рельефа в результате активизации оползня изменилось и НДС горных пород на этом участке. Из-за крутизны склона газопровод на этом участке проложен серпантинном. При сохранении зоны растяжения на пикетах 53-53,8 км, зона сжатия грунтов сдвинулась ниже по оси газопровода. Оползень стал угрожать участку объекта, расположенному на полке ниже пикета 53,5 км. В итоге в 2012 г за счёт просадки грунтов головного срыва была обнажена труба газопровода от ПК 53,46 км до ПК 53,55 км.

В 2013 году был повторен геоморфологический анализ и оценка НДС оползневого склона методом ЕИЭМПЗ. Результаты оценки в сравнении с результатами 2011 года представлены на рисунке 4а. За это время на пикете 54 км, на котором в 2010-2011 годах горные породы находились в состоянии сжатия в результате динамического изменения состояния грунта, появилась зона растяжения. Параметры активного оползня по состоянию на 2013 г: длина по оси смещения – 350 м, средняя ширина – 120 м, площадь ~ 40000 м² (4 га). Выше головной части оползня, в верховом откосе террасы газопровода (ПК 53,28 км) зафиксированы узкие трещины растяжения (до 3 см) и осов рыхлых грунтов шириной 25-30 м. Головная часть оползня представлена серией трещин растяжения в виде уступов, общей высотой до 3,5-4,0 м в низовом откосе террасы газопровода. Борты оползня представлены открытыми осыпавшимися трещинами (до 20-30 см) сжатия и сдвига с валами выдавливания по ним высотой от 0,5-1,0 м в верхней и до 2,5 м в нижней её части. Причем левый борт оползня сопряжен с зоной разлома субмеридианального направления (340°), выявленного по дешифрированию космоснимков и подтвержденного профильной съёмкой эманации радиоактивных газов (радона и торона).

Тело оползня на фоне общего понижения (лощины) территории исследований представлено положительной формой рельефа (гриной) – валом выдавливания, ограниченным бортовыми срывами оползня. Причем мощность оползневых накоплений в нижней его части составляет ~ 8-10 м, а вверху превышает 10-12 м, что свидетельствует о нарушении баланса масс склоновых накоплений и является необходимым условием динамики оползня.

Вал напользания оползня высотой до 8,0 м, разгружается на трассу газопровода от ПК 54,11 км до ПК 54,17 км и угрожает ей разрушением на отрезке длиной 60 м. По данным профильных геофизических наблюдений за НДС грунтов методом ЕИЭМПЗ в языковой части оползня фиксируется зона сжатия.

В целом оползень подвешен на крутом (30° и более) склоне. Вал напользания не имеет удерживающего контрфорса и не достиг базиса разгрузки, т. е. оползень

будет постоянно активен, особенно в весенний период максимального увлажнения – при снеготаянии. На участке газопровода от ПК 54,84 км до ПК 54,91 км наблюдается небольшой обвал (~ 250 м²) коренных сильно трещиноватых гранитов, слагающих верховой откос террасы газопровода. Граниты разбиты двумя системами тектонических трещин:

– субмеридианального направления (340°), с вертикальными поверхностями смещения;

– субширотного направления (~ 80°), с поверхностями плоскости сместителя и зеркалами скольжения под углом 50–60° по направлению падения берегового склона р. Ардон.

Дешифрирование космических снимков показало здесь наличие зоны пересечения разломов данных направлений.

На текущий момент последние инструментальные полевые исследования с целью оценки НДС данного участка были проведены в сентябре 2016 г. Результаты в сравнении с результатами 2013 года представлены на рисунке 4б. Зарегистрированные повышенные значения ЕИЭМПЗ вдоль всего профиля, проходящего по полке газопровода, свидетельствуют о том, что на всем его протяжении горные породы находятся в состоянии растяжения. За период 2013-2016 гг. оползень развивается в ранее выявленных параметрах. На пикетах 53,28-54,17 км величина горизонтального смещения оползневых накоплений составляла ~ 1,5-2,0 м в год. Вертикальная осадка ~ 1,2-1,5 м. В 2016 году оползнеопасный склон не имеет признаков свежих оползневых деформаций. Однако, развитие активного оползня неизбежно приведет к его трансгрессивному росту вверх по склону. Данные оценки НДС методом ЕИЭМПЗ подтверждают наличие аномального состояния грунтов в головной и низовой части оползня.

Литература

1. Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П., Шталин С.Г., Малышков С.Ю., Поливач В.И., Задериголова М.М. Мониторинг напряженно-деформированного состояния оползневого склона по параметрам радишумов системой АСК-ГП // Конгресс «Гео-Сибирь-2010». – 2010. – Т. 1, ч. 2. – С. 8-12.
2. Забирченко Д.Н., Дьяконов С.С. Анализ наблюдений ЕИЭМПЗ по сети станций Северо-Кавказского региона. Выделение характерного образа аномалий, предвещающих активизацию сейсмичности Центрального и Восточного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №4. – С. 93-107.
3. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная взаимосвязь с движением ядра Земли // Геология и Геофизика. – 2009. – Т. 50. – С. 152-172.
4. Мاستов Ш. Р., Саломатин В. Н., Яворович Л. В. Выявление степени деформации участков оползня методом регистрации импульсов электромагнитного поля // Инженерная геология. – 1983. – №2. – С. 98-101.
5. Шталин С.Г., Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П. и др. Регистратор импульсных электромагнитных полей для мониторинга геодинамических процессов и геофизической разведки // Датчики и системы. – 2012. – №4. – С. 32-37.
6. Malyshkov Y.P., Malyshkov S.Y., Gordeev V.F., Shtalin S.G., Polivach V.I., Krutikov V.A., Zaderigolova M.M. Electromagnetic Fields: Principles, Engineering Applications and Biophysical Effects Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band. Editors Myung-Hee Kwang and Sang-Ook Yoon (New York: Nova Science Publishers). – 2013. – P. 1-86.

DOI: 10.23671/VNC.2017.2.9492

FIELD STUDY OF A TECHNOGENIC LANDSLIDE DYNAMICS

© 2017 S. Y. Malyshkov, V. F. Gordeev, Sc. Cand. (Tech.), V. I. Polivach

Federal Government Budgetary Institution of Science Institute of Monitoring of Climate and Ecological system of the Siberian branch of Russian Academy of Sciences, Russia, 634055, Tomsk, Academichesky ave., 10/3, e-mail: msergey@imces.ru

The results of the technogenic landslide state dynamic change estimation using ENPEMF method for active geodynamic orogen locations of Northern-Caucasian region are shown. Recommendations are provided for ENPEMF recorders setting, spatial anomalies detection and their interpretation for the stress-deformed state of the rocks estimation. Instrumental geophysical studies are compared to geomorphological analysis data.

Keywords: ENPEMF, geophysical fields variations, landslide.