

Глава 8 Опасные геологические процессы

8.1 ВВЕДЕНИЕ

Идентифицированы следующие опасные геологические процессы: нормальный уровень сейсмической активности / сотрясаемость грунта, активно действующий сброс, разжижение грунтов, гравитационное перемещение горных пород и нестабильность склонов. Проектирование различных объектов выполняется на основе детальной оценки каждого из приведенных выше опасных геологических процессов, которая проводилась российскими экспертами и специалистами международного уровня. Отчеты о данных работах по оценке процессов и проведенных изысканиях содержат исходные параметры для проектирования.

8.2 ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Остров Сахалин расположен вдоль нечетко выраженной граничной зоны между Евроазиатской тектонической платформой и либо Североамериканской плитой, либо Охотской микроплитой (EQE, 1996a; Рис. 8.1). Восточной границей этого района принято считать Курильский желоб, который протягивается в северо-восточном направлении, начинаясь восточнее Хоккайдо, в то время как конфигурация границы плит к северу от Охотского моря точно неизвестна. Это в основном связано с тем, что относительные перемещения плит и связанные с ними тектонические деформации в регионе сравнительно невелики, а также с тем, что эти перемещения, определенные по векторам смещений в очагах землетрясений вдоль Японского и Курильского желобов, согласуются с обеими плито-тектоническими моделями. Тем не менее, независимо от того, какая из моделей верна, обе они описывают западную границу Евразийской плиты как субмеридиональную транспрессионную зону, которая проходит через Сахалин на юг западнее Хоккайдо.

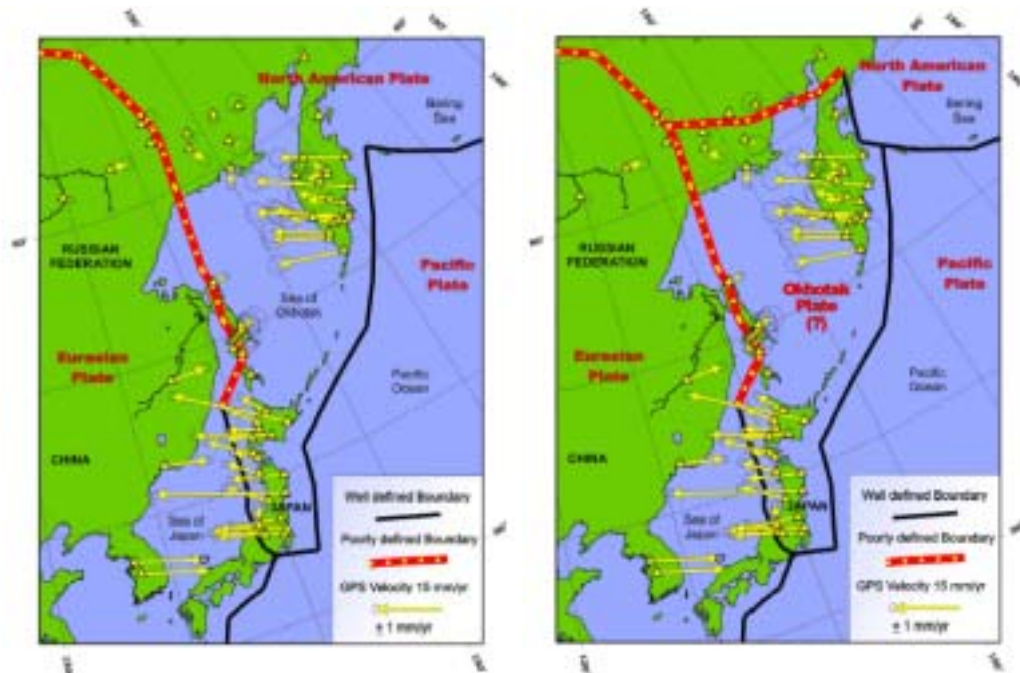


Рис. 8.1. Альтернативные модели расположения тектонических плит в северо-восточной Азии, показывающие четко выраженные и неясные границы плит, а также имеющиеся данные GPS о скоростях подвижек (согласно Apel et al., 2004).

Сильные землетрясения с образованием надвигов произошли в восточной части Японского моря к западу от Хоккайдо (Рис. 8.2). Эта прибрежная зона надвигообразования связана со спредингом в Японском море, приводящим к тектоническому сжатию и образованию надвигов вдоль западной границы Хоккайдо (Jolivet et al., 1994). Надвиговая зона продолжается на север вдоль западной границы южного Сахалина, где в прошлом произошли несколько довольно сильных землетрясений с такими подвижками в очагах. Именно в этом районе произошли Лесогорско-Углегорское землетрясение 1924 года (M_{LN} 7.0), Монеронское землетрясение 1971 года (M_{LN} 7.5) и Углегорское землетрясение 2000 года (M_{LN} 6.8) с надвиговыми подвижками по разломам преимущественно северного простирания. По результатам исследований палеонапряжений в зонах разломов, наблюдаемым четвертичным смещения по разломам и по данным о механизмах очагов современных землетрясений в центральной и южной частях острова главная ось сжатия ориентирована в направлении СВ 70° . Это направление тектонического сжатия согласуется с моделями тектоники плит, согласно которым весь остров находится в условиях транспрессионного сжатия.

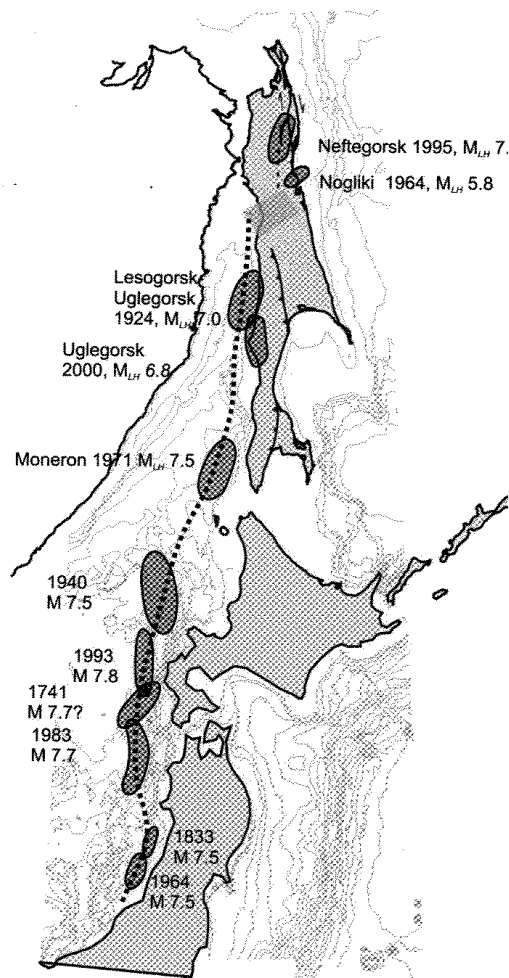


Рис. 8.2. Расположение очагов сильных землетрясений вдоль восточной границы Японского моря к западу от островов Хонсю и Хоккайдо, вдоль восточной границы Татарского пролива к западу от южного и центрального Сахалина, а также вдоль северо-восточного побережья острова Сахалин.

Преобладающие типы разломов в северной, центральной и южной частях острова различаются (EQE, 1996a; Рис. 8.3). В то время, как в центральном и южном районах преобладают надвиги, на севере острова развиты преимущественно сдвиги северо-северо-восточного направления. Различия в характере тектонических движений отражаются в сглаженности рельефа северного Сахалина по сравнению с расчлененным рельефом южной части острова. Значительными сдвиговыми землетрясениями на севере Сахалина были Ногликское 1964 года (M_{LH} 5.8) и Нефтегорское 1995 года (M_{LH} 7.2). В то время как все надвиговые землетрясения на юге Сахалина произошли около западного побережья острова, сдвиговые землетрясения на севере Сахалина произошли вдоль его восточного побережья. Предполагается, что смена структурной обстановки происходит вдоль плохо выраженной зоны северо-восточного простираения вблизи 52° северной широты. В соответствии с изменением структурной обстановки направление регионального сжатия разворачивается против часовой стрелки, приобретая север-северо-восточное направление к северу от 52° северной широты по

сравнению с восток-северо-восточным направлением к югу от этой параллели (EQE 2000).

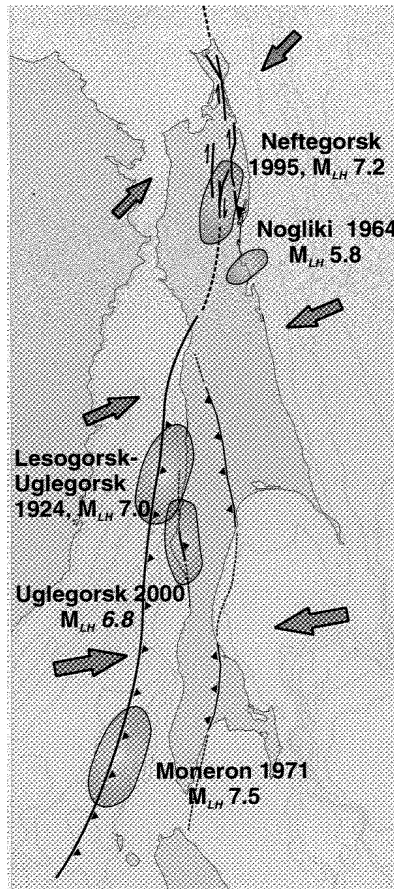


Рис. 8.3. Положение очаговых зон сильных Сахалинских землетрясений относительно разломов различных кинематических типов и направления регионального тензора напряжений сжатия. Жирными линиями на северо-востоке Сахалина показано положение Пильтун-Горомайского и Верхне-Пильтунского сдвигов и взбросо-сдвигов. Жирная линия с треугольниками показывает общее положение фронта надвига вдоль восточной границы Западно-Сахалинского хребта в центральной части и на юге Сахалина.

Характер тектонических структур и данные GPS по острову Сахалин довольно хорошо согласуются с таковыми, предсказанными плито-тектоническими моделями Seno (1995) и Seno et al. (1996). В этих моделях выделяется Охотская микроплита, полюс вращения которой относительно Евразийской плиты располагается у западного побережья северного Сахалина около 52° с.ш. (Рис. 8.4).

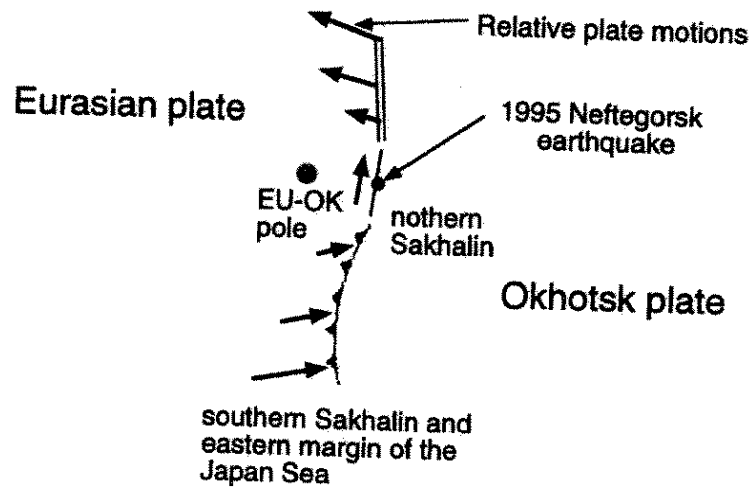


Рис. 8.4. Тектоническая модель Охотской микроплиты, показывающая положение расчетного полюса вращения и прогнозные типы разломов к северу и югу от него (Seno, 1995; Seno et al., 1996).

8.3 ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

О землетрясениях на Сахалине впервые сообщается в 1905 г. (EQE, 1996a). Землетрясения с $M_{LH} \leq 5.5$ часто происходят вблизи острова Сахалин, и их эпицентры сосредоточены в основном в западной части южной половины острова и в восточной части его северной половины (EQE, 1996a). Землетрясения силой $M_{LH} \geq 6.0$ возникают на глубинах больше 250 км на южном окончании острова (EQE, 1996a). Эти глубинные землетрясения не вызывали разрушений на поверхности. Группа мелкофокусных землетрясений произошла около западного побережья острова вблизи границы между Охотской и Евразийской плитами (Рис. 3). К этим землетрясениям относятся Лесогорское-Углегорское 1924 года ($M_{LH} 7.0$), Монеронское 1971 года ($M_{LH} 7.5$) и Углегорское 2000 года ($M_{LH} 6.8$). Нефтегорское землетрясение 1995 года ($M_{LH} 7.2$) и Ногликское землетрясение 1964 года ($M_{LH} 5.8$) указывают на некоторую концентрацию мелкофокусных землетрясений вдоль восточной границы острова севернее $52^\circ N$. Ниже кратко описаны некоторые из наиболее изученных значительных Сахалинских землетрясений.

8.3.1 Нефтегорское землетрясение 27 мая 1995 г.

Нефтегорское землетрясение, произошедшее 27 мая 1995 г. (M_{LH} 7.2) на северо-востоке Сахалина, является крупнейшим сейсмическим событием на острове (EQE, 1996a). Свыше 2000 человек погибли в Нефтегорское под обрушившимися многоэтажными жилыми домами. В результате землетрясения вскрылся 37-километровый сегмент Верхне-Пильтунского разлома, простирающийся в направлении ССВ 15° под углом к основному разлому. Преобладающее смещение по разлому представляло собой правосторонний сдвиг с незначительной вертикальной подвижкой (Shimamoto et al., 1996). Северное окончание разрыва находилось в 3 км к юго-востоку от г. Нефтегорск.

8.3.2 Углегорское землетрясение 4 августа 2000 г.

Углегорское землетрясение (M_{LH} 6.8) произошло 4 августа около западного побережья Сахалина на широте 48.8° N. О жертвах не сообщалось, хотя разрушения сооружений в зоне землетрясения были значительными. Вдоль 5-км сегмента разлома у подножия восточного склона горы Краснова образовался поверхностный разрыв с азимутом простирания 350° и взбросовой подвижкой на 0.8 м, без сдвиговых смещений.

8.3.3 Ногликское землетрясение 2 октября 1964 г.

Несмотря на свою небольшую мощность (M_{LH} 5.8), Ногликское землетрясение 2 октября 1964 г. вызвало значительные разрушения на восточном Сахалине. Согласно Оскорбину и др. (1967) интенсивность сотрясений составила 8-9 баллов по шкале MSK; этого вполне достаточно, чтобы вызвать значительные повреждения сооружений из каменной кладки без армирования. Высокая интенсивность этого землетрясения умеренной силы связана с небольшой глубиной его гипоцентра (< 10 км) и широким распространением слабых грунтов в эпицентральной области (Оскорбин и др., 1967).

8.3.4 Монеронское землетрясение 5 сентября 1971 г.

Монеронское землетрясение 1971 года (M_{LH} 7.5) произошло вдоль восточной границы Татарского пролива вдали от юго-западного берега Сахалина около о. Монерон. Интенсивность землетрясения составила 7 - 8 баллов по шкале MSK на Монероне (Соловьев и др., 1973). На Сахалине наибольшие повреждения отмечены в шахтных поселках Шебунино и Горнозаводск на юго-западном побережье острова. В основном разрушились небольшие старые здания из каменной кладки. Более новые здания из панелей и крупных блоков не пострадали. Сообщалось о цунами с высотой волны 2 м в районе Шебунино и Горнозаводска, в то время как на побережье острова Монерон высота волны составила 1,5 м. В других районах высота цунами была меньше 1 м. Механизм очага землетрясения (Соловьев и др., 1973) указывает, что оно было вызвано взбросовой подвижкой по плоскости разрыва меридионального простирания, падающей на восток по азимуту 72.5° .

8.3.5 Лесогорское-Углегорское землетрясение 15 марта 1924 г.

В литературе имеется мало сведений об этом землетрясении, поскольку оно произошло давно и в море около редконаселенного западного побережья центрального Сахалина. Лесогорско-Углегорское землетрясение 1924 года ($M_{LH} 7.0$) охватило область вдоль восточной границы Татарского пролива и приурочено к северному продолжению той же надвиговой зоны, с которой связано Монеронское землетрясение 1971 года ($M_{LH} 7.5$). Эта надвиговая зона протягивается на север от западного Хоккайдо и к ней приурочен ряд сильных Японских землетрясений.

8.4 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

8.4.1 Стратиграфия

В стратиграфическом отношении Сахалин может быть разделен на три основные структурно-геологические провинции (Fournier et al., 1994; Intera, 1991). Это горные сооружения Западно- и Восточно-Сахалинских гор в центральной части острова к югу от 52° с.ш. и район со слабо расчлененным рельефом севернее 52° с.ш. (Рис. 5). На юге острова восточнее Южно-Сахалинска породы фундамента, представленные Сусунайским метаморфическим комплексом, одновозрастны сходным толщам Восточно-Сахалинского хребта. Южнее бухты Терпения, в южной части острова Сусунайская депрессия отделяет Сусунайский метаморфический комплекс от Западно-Сахалинского хребта, занимая положение, аналогичное Центрально-Сахалинской депрессии в центральной части острова.



Рис. 8.5. Морфостратиграфические районы острова Сахалин.

Наиболее древние породы на Сахалине встречаются в пределах Восточно-Сахалинского хребта и Сусунайского метаморфического комплекса (Рис. 5). Они представляют собой отложения палеозойского фундамента, метаморфизованные в условиях высокой температуры и низкого давления в триасе и раннеюрские интрузии. Породы фундамента перекрываются толщей мел-палеогеновых базальтов, кремнистых известняков и глинистых сланцев, представляющей собой аккреционную призму, накопившуюся в зоне субдукции, погружавшейся в западном направлении и располагавшейся у восточного побережья острова (Ben-Avraham, Uyeda, 1983).

Метаморфические породы Восточно-Сахалинского хребта имеют западное падение и перекрываются неогеновыми и четвертичными отложениями Центрально-Сахалинской депрессии (Рис. 5; Fournier et al., 1994). Центрально-Сахалинская депрессия образует осевую долину острова

севернее и южнее бухты Терпения, но теряет свою структурную выраженность на севере острова, где рельеф сглажен.

Неогеновые отложения Центрально-Сахалинской депрессии перекрыты тектоническим покровом, сложенным меловыми осадочными породами Западно-Сахалинского хребта большой мощности, смятыми в складки. Структурная граница на западной окраине Центрально-Сахалинской депрессии образована двумя крупными надвигами. Это Тымь-Поронайский разлом, представляющий собой падающий на запад региональный надвиг, по которому меловые отложения Западно-Сахалинского хребта надвинуты на неогеновые отложения Центрально-Сахалинской депрессии (Fournier et al., 1994). Восточнее Тымь-Поронайского разлома расположен Ключевской надвиг, по которому неогеновые отложения Западного хребта надвинуты на четвертичные осадки. Ключевской разлом моложе Тымь-Поронайского и имеет наиболее важное значение для экспортного трубопровода проекта Сахалин II.

Меловые породы Западно-Сахалинского хребта несогласно залегают на палеозойско – мезозойском фундаменте (Fournier et al., 1994). В западном направлении, за Западно-Сахалинским хребтом, неогеновые терригенные и вулканогенные отложения несогласно перекрывают смятые в складки меловые отложения.

Севернее 52° с.ш. меловые и более древние породы преимущественно не выходят на поверхность и эта часть острова сложена мощной толщей кайнозойских терригенных осадков (Intera, 1991). Рельеф этого района гораздо более спокойный, чем в центре и на юге острова, и прибрежная зона, особенно вдоль Татарского пролива, сложена обширными выходами плиоцен - четвертичных отложений большой мощности.

Геологическое развитие, характерное для неогенового периода, продолжалось на Сахалине и в четвертичное время. Четвертичное осадконакопление в долинах и прибрежных областях сочеталось с продолжающимися активными вертикальными подвижками и надвиганием Западно-Сахалинского хребта на Центрально-Сахалинскую депрессию (Fournier et al., 1994). Признаки этой продолжающейся тектонической активности местами сохранились в молодых четвертичных отложениях и включают уступы поверхностных разрывов в аллювиальных отложениях и серии речных террас, отражающие неоднократные поднятия дна долин и последующие эрозионные врезы (ABSC 2005).

8.4.2 Активные разломы

Геологические структуры, активные в четвертичном периоде, сосредоточены на восточном побережье северного Сахалина, вдоль западной границы Центрально-Сахалинской депрессии у подножья Западно-Сахалинского хребта, а также вблизи Татарского пролива южнее 52° с.ш. (Булгаков и др., 2002). На основании изучения активных разломов (Булгаков и др., 2002) и движения плит (Seno, 1995) установлено, что подвижки вдоль активных разломов на северо-востоке Сахалина являются преимущественно правосторонними сдвигами в отличие от взбросов или надвигов в центре и на юге острова.

8.4.2.1 Северо-восточный Сахалин

Местоположение проектируемых объектов по отношению к активным разломам в северо-восточной части Сахалина представлены на Карте №1. Основными активными разломами на северо-востоке Сахалина являются Пильтун-Горомайский и Верхне-Пильтунский разломы. Пильтунский разлом простирается севернее реки Пороной на протяжении 42 км до северной части Пильтунского залива и характеризуется правосдвиговыми смещениями форм рельефа и речных долин (Булгаков и др., 2002; Рис. 6).

Южнее реки Пороной на простирании расположенного севернее Пильтунского разлома находится Горомайский разлом, имеющий небольшую надвиговую составляющую в приповерхностных частях разреза (Булгаков и др., 2002), что вероятно связано с незначительным изменением простирания этого нарушения, развивающегося в таких же условиях транспрессии, как и Пильтунский разлом (ABS Consulting, 2005).

Верхне-Пильтунский разлом вскрылся во время Нефтегорского землетрясения 1995 года, при котором на протяжении 35 км образовался поверхностный разрыв. Максимальное правостороннее смещение при этом землетрясении составило 8 м, хотя средняя подвижка вдоль поверхностного разрыва не превышала половины этой величины. Поверхностные разрывы представляли собой эшелонированную систему нарушений с левосторонними кулисами, которые разбили единую зону правостороннего сдвига на части (Стрельцов и др., 1995).

Согласно работе (Геориск, 2005), отдельные разломы на северо-востоке Сахалина представляют собой взаимосвязанные ветви в пределах региональной системы правостороннего транспрессионного сдвига. В соответствии с этой моделью поверхностные разрывы на северном Сахалине образовались в результате сдвиговых движений по крутопадающим разломам с узкими зонами приразломных деформаций.

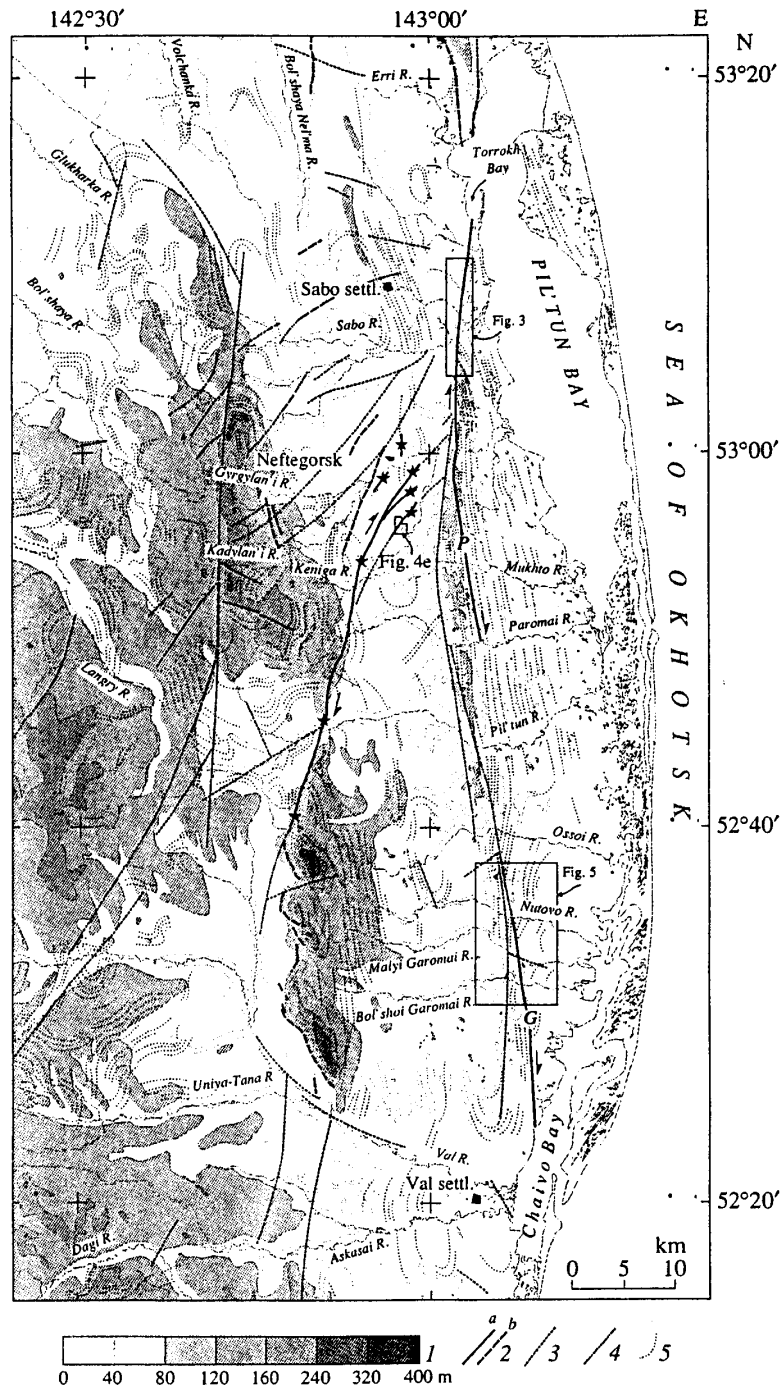


Рис. 8.6. Разрывы и линейменты на северном Сахалине (по Булгакову и др., 2002). (1) шкала высот, (2) активные разломы прослеженные (а) и предполагаемые (б), звездочками показан разрыв Нefтегорского землетрясения, (3) разломы, выявленные при наземной съемке и выраженные в виде линейментов на космических снимках, (4) крупнейшие линейменты, различимые на космических снимках, (5) слоистость в неогеновых отложениях; (P) и (G) обозначают соответственно Пильтунский и Горомайский активные разломы

8.4.2.2 **Магнитуда землетрясений M_{LH}** - это инструментальная шкала магнитуд, широко используемая в России и приведенная в ряде Российских отчетов по проекту Сахалин II (Геориск, 2001). M_{LH} является длиннопериодной телесеismicкой мерой магнитуды, обычно сравнимой с магнитудой по поверхностным волнам (M_S), которая, как правило, используется при сейсмологических исследований на Западе. В Таблице 8.1 сравниваются значения различных типов магнитуды, представленных в отчетах по сейсмичности по проекту Сахалин II (см. Геориск, 2001).

Таблица 8.1: Связь между величинами M_{LH} , M_S и M_w

Тип	Значение магнитуды										
	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50
M_w	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50
M_S	3.59	4.34	5.10	5.79	6.53	6.91	7.38	7.75	8.02	8.26	8.47
M_{LH}	3.69	4.44	5.20	5.90	6.53	7.11	7.55	7.90	8.22	8.46	8.67

Однако, все инструментальные показатели масштаба землетрясений характеризуются насыщением после достижения величины $M_{LH} \sim 8.0$. С другой стороны, моментная магнитуда (M_w) не является инструментальной мерой масштаба землетрясений. Этот показатель физически связан с размерами разрывных нарушений, вызывающих землетрясения. Для параметра M_w шкала не насыщается с ростом масштаба землетрясений и, поэтому, более информативна при изучении разрывов, как формы проявления землетрясений. В приведенном ниже обзоре выполненных исследований масштаб землетрясений выражается в единицах моментной магнитуды (M_w). Однако, для характеристики масштаба прошлых землетрясений используется исходное значение магнитуды M_{LH} .

8.4.2.3 Повторяемость землетрясений по разломам северного Сахалина

Во время палеосейсмологических исследований найдены следы сильных доисторических землетрясений в зоне Пильтун-Горомайского разлома. Судя по данным исследований разломов в траншеях и радиоуглеродному датированию (Геориск, 2005; Besstrashnov et al., 1999; Булгаков и др., 2002) эти события повторялись в среднем через 2300 - 5000 лет. Кроме того, следы, как минимум, трех сближенных во времени палеоземлетрясений, произошедших за последние 1800 лет, были выявлены в зоне Верхне-Пильтунского разлома на участке разрыва Нефтегорского землетрясения 1995 года, а еще одно событие произошло примерно 4000 лет тому назад (Besstrashnov and Strom, 1998). В работе (Геориск, 2005) на основе палеосейсмологических исследований определены средние периоды повторяемости землетрясений, изменяющиеся от 400 до 5000 лет. Булгаков и др. (2002) пришли к выводу, что землетрясения на северном Сахалине с $6.75 \leq M_w \leq 7.75$ имеют периоды повторяемости от нескольких сотен до первых тысяч лет.

8.4.2.4 Разломы Центрального и Южного Сахалина

Местоположение проектируемых объектов по отношению к активным разломам в центральной и южной частях Сахалина представлены на Картах №2 и 3. Активные структуры Центрального и Южного Сахалина сосредоточены вдоль восточной и западной границ активно воздымающегося Западно-Сахалинского хребта. В центральной части Сахалина активная надвиговая граница между Центрально-Сахалинской депрессией и Западно-Сахалинским хребтом проходит по Ключевскому разлому (Рис. 8.7). Южнее бухты Терпения структурная граница между Западно-Сахалинским хребтом и Сусунайской впадиной (аналогом Центрально-Сахалинской депрессии в центре Сахалина) проходит также по Ключевскому разлому. Этот разлом является активным надвигом, падающим на запад, по которому неогеновые отложения Западно-Сахалинского хребта перекрывают четвертичные отложения впадины.

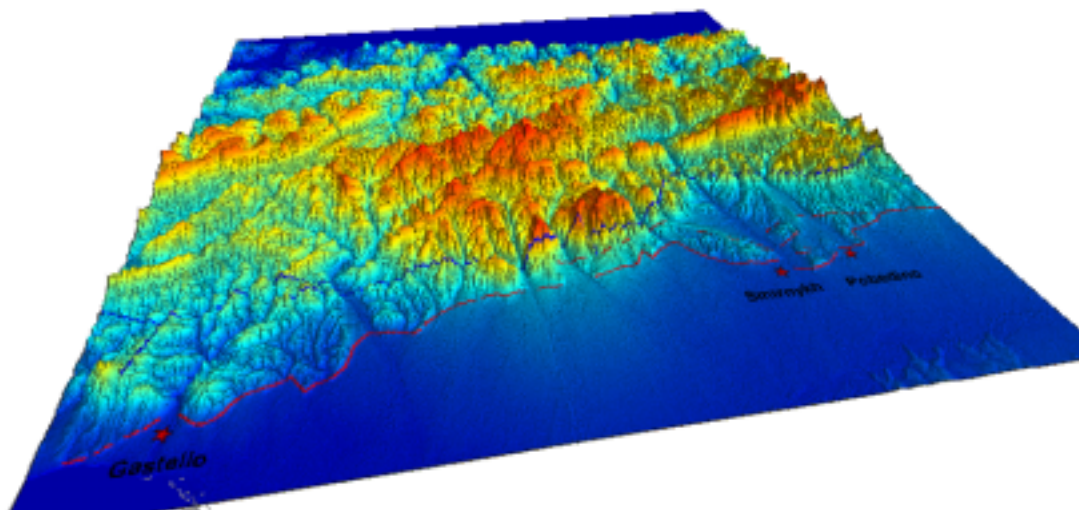


Рис. 8.7. Вид на запад на разломы в висячем крыле Ключевского разлома около поселка Победино. Ключевской (красная линия) и Центрально-Сахалинский (синяя линия) разломы проведены согласно данным из работы (Булгаков и др., 2002). ЦМР по материалам USGS.

Центрально-Сахалинский разлом (Рис. 8.8) обычно рассматривается в геологической литературе как восточная структурная граница Западно-Сахалинского хребта (см., например, Булгаков и др., 2002; Fournier et al., 1994), так как по нему меловые породы западного крыла разлома надвинуты на более молодые неогеновые отложения восточного крыла. Однако, Центрально-Сахалинский разлом является наименее активным среди современных структурных образований, так как наиболее молодые поверхностные разрывы формируются вдоль Ключевского разлома (Рис. 8.8). Согласно геофизическим данным, Ключевской разлом сливается с Центрально-Сахалинским разломом на глубине 4 - 5 км под Западно-Сахалинским хребтом.

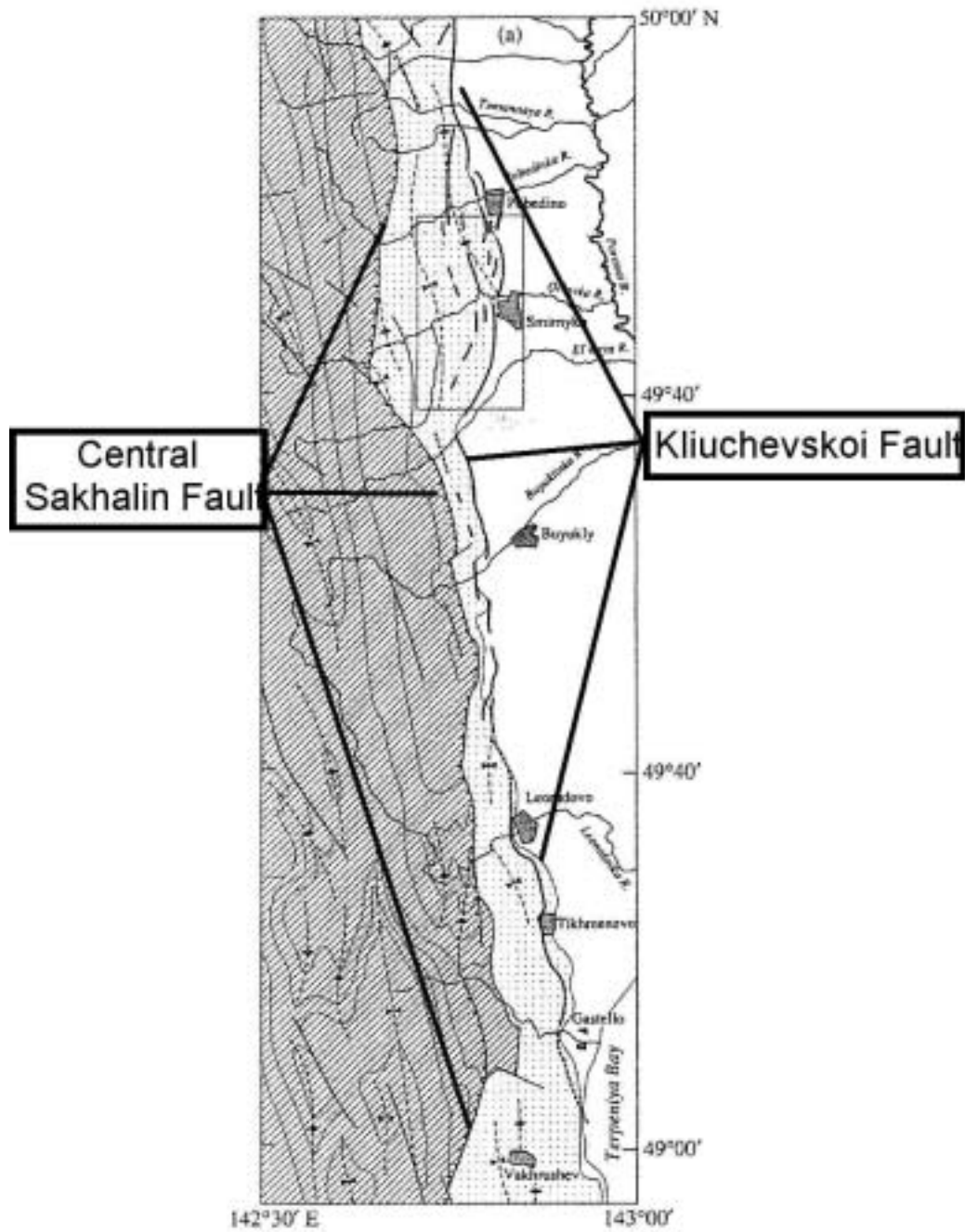


Рис. 8.8. Карта, показывающая взаимное расположение Ключевского и Центрально-Сахалинского разломов (Булгаков и др., 2002). Заштрихована область распространения верхнемеловых пород. Точками показано распространение неогеновых отложений. Поле без знаков соответствует области распространения четвертичных отложений.

В районе между поселками Победино и Смирных (см. оконтуренный участок на Рис. 8.8), в поднятом крыле Ключевского разлома вследствие его внутренних деформаций сформировались короткие кулисообразные разломы (Булгаков и др., 2002; Starstroi, 2004). Это вторичные разломы, образовавшиеся вследствие изгиба висячего крыла или противоположно направленные надвиги, связанные с сейсмогенным смещением по основному Ключевскому разлому.

8.4.2.5 Сегментация Ключевского разлома

Обычно региональные разломы не вспарываются на всей своей протяженности при отдельном землетрясении. Как правило, единовременная подвижка охватывает только участок зоны разломов ограниченной длины. Соответственно, подвижки по разрыву в пределах ограниченных участков зоны разломов, повторяющиеся в течение длительных периодов времени, могут формировать характерные структурные или геометрические элементы зоны разломов различной длины, т.е. происходит так называемая сегментация зоны разломов. Предполагается, что размеры отдельных сегментов влияют на длину очаговых разрывов землетрясений, хотя, согласно наблюдениям в хорошо изученных зонах разломов, границы сегментов могут изменяться во времени. Авторы работы (Геориск, 2005) условно выделили 11 четких геометрических сегментов Ключевского разлома в центральной и южной частях острова Сахалин, а также Пильтунский и Горомайский сегменты на северо-востоке Сахалина (Рис. 8.9). Верхне-Пильтунский разлом, образовавшийся во время Нефтегорского землетрясения 1995 года, представляет собой единый сегмент. За исключением Верхне-Пильтунского сегмента, палеосейсмологических данных на территории острова недостаточно для уверенного суждения о том, что каждый из сегментов, выделенных на основании геометрических изменений в зонах разломов, действительно контролирует протяженность очаговых разрывов предшествующих землетрясений. Тем не менее, модель сегментации является рабочей гипотезой, в рамках которой эмпирические корреляционные уравнения, связывающие длину разрывов и величину подвижки по направлению вектора смещения, основанные на мировых данных о сейсмогенных разломах (см., например, Wells and Coppersmith, 1994), могут использоваться для оценки будущих смещений.

В Таблице 8.2 из работы (Геориск, 2005) представлены расчетные значения подвижки по направлению вектора смещения для пересечений трубопровода с основными разломами, полученные с помощью модели сегментации, представленной на Рис. 8.9. Приняв во внимание неопределенности модели сегментации и уравнений статистической корреляции, авторы работы (Геориск, 2005) показали, что большинство оценок проектных подвижек по основным разломам, представленных в Таблице 1, составляют не менее 85-й процентиля максимального расчетного значения подвижки для каждого из выделенных сегментов. Только для трех пересечений оценки ниже, но и они не меньше 65-й процентиля расчетного значения. Эти результаты статистической обработки данных по разломам позволяют с уверенностью говорить о том, что значения подвижек по направлению вектора смещения из Таблицы 8.2, приведенной в данном отчете, собранные ABSC (2005) и основанные на данных (полевых)

наблюдений, обеспечивают достаточный уровень консерватизма рекомендуемых оценок проектных смещений.

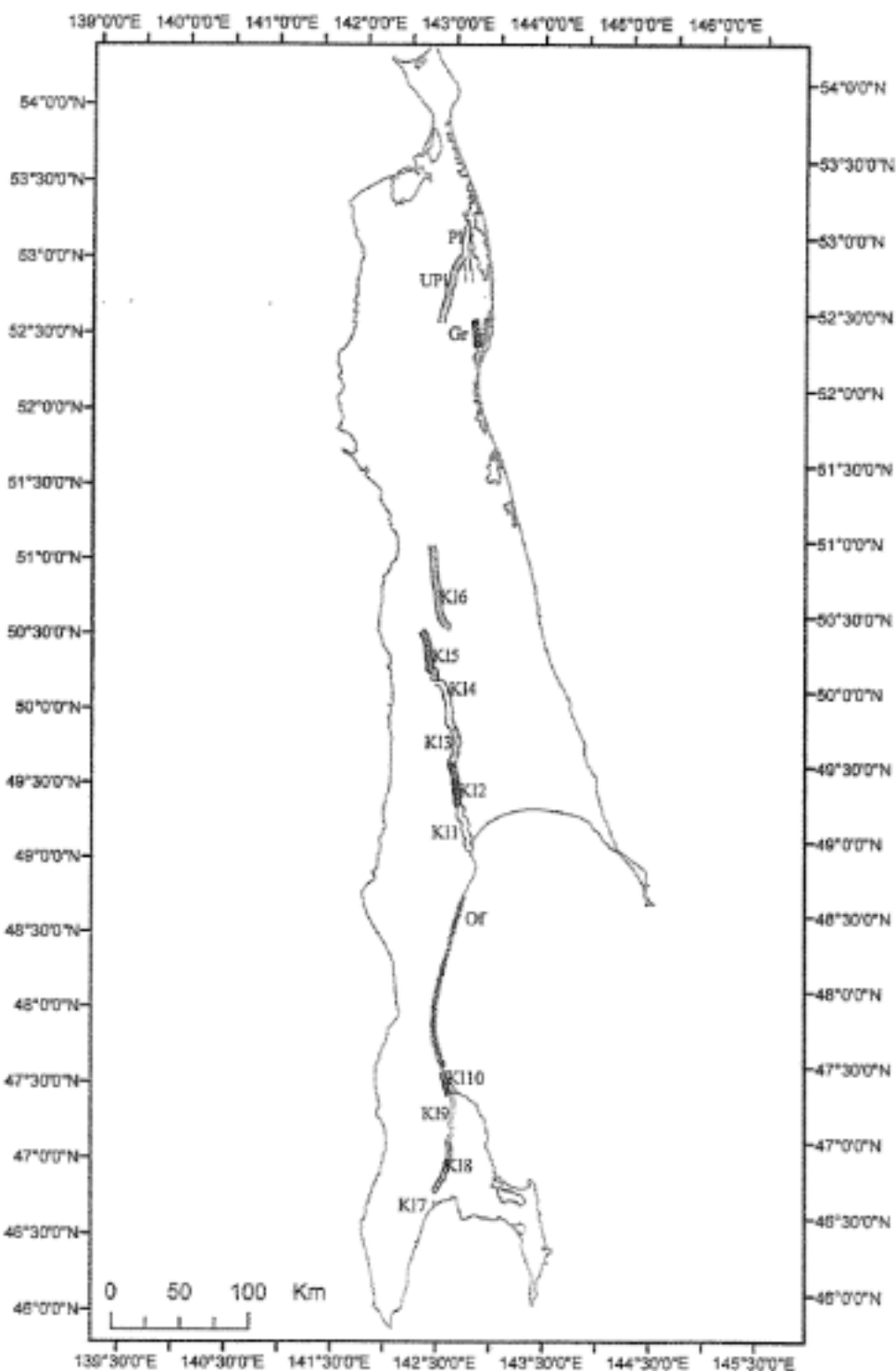


Рис. 8.9. Карта, иллюстрирующая модель сегментации активных разломов вдоль трасс трубопроводов Сахалин II.

8.5 ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

8.5.1 Поверхностные разломы

Выход на дневную поверхность сейсмогенного разлома представляет собой подвижку грунта, опасную для сооружения, пересекающего этот разлом. Такие подвижки обычно сопровождают землетрясения с магнитудами около $M_w 6.5$ и больше. Разрывы, вызванные более слабыми верхнекоровыми землетрясениями, обычно слишком малы, чтобы доходить до поверхности. Ранее описанные Углегорское землетрясение 2000 года ($M_{LN} 6.8$) и Нефтегорское землетрясение 1995 года ($M_{LN} 7.2$) сопровождались смещениями по сейсмогенным разрывам. Во время полевых исследований вдоль Пильтун-Горомайского, Верхне-Пильтунского и Ключевского разломов были выявлены следы других подвижек, произошедших за последние 10000 лет (в голоцене), а также более древних. Экспортные трубопроводы проекта Сахалин II пересекают Пильтун-Горомайский и Ключевской разломы. Ключевской разлом имеет очень извилистый в плане выход на поверхность, в основном следующий вдоль подножия Западно-Сахалинского хребта. Поэтому трасса трубопровода пересекает этот разлом несколько раз, проходя по восточной окраине Центрально-Сахалинской депрессии на юг до технологического комплекса в поселке Пригородное. Трасса трубопровода и местоположение пересечений с разломами показаны на картах № 1- 3.

Ожидаемые горизонтальные и вертикальные смещения на каждом пересечении трубопровода с активным разломом представлены в Таблице 8.2. Эти оценки получены Российским (Старстрой/Геориск) и западным (ABS Consulting) консультантами по данным полевых исследований на каждом пересечении. Для Ключевского надвига первостепенное значение имеют вертикальные компоненты смещения по каждому пересечению трубопровода с разломом. В этом случае вертикальные компоненты преобладают, потому что разлом простирается в целом с севера на юг, а максимальное горизонтальное сжимающее напряжение ориентировано под углом приблизительно СВ 70° (Fournier et al., 1994). Сдвиговые компоненты смещения, которое испытывает трубопровод, имеют подчиненное значение по сравнению с вертикальной компонентой и изменяются в зависимости от угла пересечения разлома. Детальное описание каждого пересечения трубопровода с активным разломом можно найти в работах (ABS Consulting, 2005) и (Геориск, 2005). Рекомендуемые величины смещений для пересечений трубопровода с разломами представлены в Таблице 8.2. Краткое описание результатов геологических исследований и данных, полученных для каждого пересечения, дается в следующем разделе.

Таблица 8.2: Рекомендуемые параметры смещений для переходов трубопровода Сахалин II через разломы

№	Лист (в формате Dwg)	Название	Существующий ПК	Точность локализации разлома ± м	Тип разлома	V (Вертикальное, м)	S (Продольное, м)	Г Поперечное, м)	Гориз. смещение в направл. CD 70°	Смещение по направлению вектора (м)	Метод определения вертикального смещения
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	12	Горомайский (первоначальная трасса)	Примечание: Измененная трасса пересекает Горомайский разлом в точке "1-Alt". Данное пересечение снято.								
1 Alt	N/A	Горомайский (на Пильтунской перетрассировке)	15.23 на принятой Пильтунской перетрассировке.	25	Правосторонний взбросо- сдвиг	1.0	5.4	0.13	Не определя- лось для сдвига.	5.5	Изучен в траншеях в 2005 г. и учтены смещения при Нефтегорском землетрясении "Т" - функция от V для угла падения разлома 70°.
2	N/A	Хоккайдо- Сахалинский	Примечание: Во время полевых работ, проведенных компанией ABSC в июне-июле 2005 г., не было обнаружено пересечение трубопровода активным Хоккайдо-Сахалинским разломом. Данное пересечение снято.								
3	173 - 177	Ключевской (участок у пос. Ясное)	118-119	50	Надвиг	2.3	Не определя- лось	Не определя- лось	2.3	3.3	Поверхностное профилирование в 2005 г. V основано на смещении первой террасы измеренном в 2005 г..
4	208	Ключевской (Десятая речка)	180	Не определя- лось	Надвиг	2.1	Не определя- лось	Не определя- лось	2.1	3.0	Поверхностное профилирование и изучение в траншее в 2005 г.
5	211 и 212	Ключевской (Южно- Хандасинский участок)	185.875	50	Надвиг	2.5	Не определя- лось	Не определя- лось	2.5	3.5	Изучен в траншее в 2004 г.
6	213	Ключевской (ответвление от основного разлома)	188.700	10	Надвиг	0.7	Не определя- лось	Не определя- лось	0.7	1.0	Изучен в траншее в 2004 г.
7	224	Ключевской (обединский участок)	208.545	20	Надвиг	2.0	Не определя- лось	Не определя- лось	2.0	2.8	Построение поперечного профиля в 2004 г.

№	Лист (в форм ате Dwg)	Название	Существу- ющий ПК	Точность локализа ции разлома ± м	Тип разлома	V (Верти- кальное, м)	S (Продо- льное) (м)	Г Попе- лочное) м)	Гориз. смещение в направл. CD 70°	Смеще ние по направ лению вектор а (м)	Метод определения вертикального смещения
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
8	232	Ключевской (Смирныховски й участок)	223.740	20	Надвиг	2.0	Не опреде- лялось	Не опреде- лялось	2.0	2.8	Изучен на основании опубликованного описания траншеи, пройденной в 2000 г. и в траншее, пройденной в рамках проекта в 2004 г.
9	275	Ключевской (Гастелловский участок)	300.590	50	Надвиг	2.0	Не опреде- лялось	Не опреде- лялось	2.0	2.8	Полевое обследование в 2004 г.
10	275	Гастелловский поднятого крыла (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	301.605	10	Левосто- ронний сдвига- взброс	1.0	0.5	0.0	Не определя- лось	1.1	Изучен в траншее в 2004 г.
11	297	Восточно- Макаровский Дополнительный -3 (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	342.540	20	Правосто- ронний сдвига- взброс	0.5	0.5	0.0	Не определя- лось	0.7	Изучен в траншее в 2005 г.
12	297	Восточно- Макаровский Дополнительный -2 (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	342.655	10	Правосто- ронний сдвига- взброс	0.5	0.5	0.0	Не определя- лось	0.7	См. № 11

№	Лист (в формате Dwg)	Название	Существующий ПК	Точность локализации разлома ± м	Тип разлома	V (Вертикальное, м)	S (Продольное) (м)	Г Поперечное) м)	Гориз. смещение в направл. CD 70°	Смещение по направлению вектора (м)	Метод определения вертикального смещения
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
13	297	Восточно-Макаровский Дополнительный -1 (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	342.720	10	Правосторонний сдвиго- взброс	0.5	0.5	0.0	Не определя- лось	0.7	См. № 11
14	297 и 298	Восточно-Макаровский (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	342.955	10	Правосторонний сдвиго- взброс	1.0	1.0	0.0	Не определя- лось	1.4	Изучен в траншее в 2003 г.
15	300	Западно-Макаровский (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	347.265	10	Правосторонний сдвиго- взброс	1.5	1.5	0.0	Не определя- лось	2.1	Изучен в траншее в 2003 г.
16	372	Разрыв реки Черной (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	481.450	20	Левосторонний сдвиго- взброс	0.5	0.5	0.0	Не определя- лось	0.7	Полевое обследование выполненное компанией Старстрой в 2004 г. .
17	378	Разрыв реки Кирпичной (разрыв в висячем крыле Ключевского разлома)	492.688	20	Правосторонний сдвиго- взброс	1.0	1.0	0.0	Не определя- лось	1.4	Полевое обследование выполненное компанией Старстрой в 2004 г.

№	Лист (в формате Dwg)	Название	Существующий ПК	Точность локализации разлома ± м	Тип разлома	V (Вертикальное, м)	S (Продольное) (м)	Г Поперечное) м)	Гориз. смещение в направл. СВ 70°	Смещение по направлению вектора (м)	Метод определения вертикального смещения
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
18 Alt	387	Ключевской (к югу от пос. Советское)	509.176	20	Надвиг	2.7	Не определялось	Не определялось	2.7	3.8	Построение поперечного профиля в 2004 г.
19	394	Ключевской (в долине реки Лебяжья)	На этом участке активный разлом отсутствует								Топографические и геофизические изыскания в 2005 г.
20	419	Ключевской (к западу от Южно-Сахалинска)	567.000 – 567.200	50	Надвиг	3.0	Не определялось	Не определялось	3.0	4.2	Изучен в траншеях и на поперечных профилях в 2004 г.
21	420 и 421	Ключевской (к западу от Южно-Сахалинска)	569.430	50	Надвиг	3.0	Не определялось	Не определялось	3.0	4.2	Изучен в траншеях и на поперечных профилях в 2004 г.

Примечания:

- Для взбросов/надвигов горизонтальная составляющая смещения (графа 10) дается для направления максимального сжимающего напряжения СВ 70°. Это применяется для переходов через Ключевской разлом (Переходы № 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 18 Alt, 19, 20 и 21).
- Разломы 10 - 17 являются вторичными нарушениями в пределах висячего крыла основного Ключевского надвига. Эти разломы имеют крутые углы падения и приведенные значения вертикальных и горизонтальных смещений должны использоваться при проектировании.
- Значения, представленные в графе 5 (точность локализации разлома), являются доверительными показателями при определении местоположения разлома (перпендикулярно его простиранию), для конкретного перехода трубопровода через разлом. При изменении расположения пересечения трубопровода с разломом следует определять новые доверительные показатели местоположения разлома.

8.5.1.1 Пильтун-Горомайский разлом (Таблица 8.2, № 1 и 1 Alt.)

Окончательное расположение данного пересечения - "1-Alt" в Таблице 8.2. Пильтун-Горомайский разлом в целом простирается с юга на север на расстоянии 90 км между заливами Чайво и Пильтун и продолжается далее на север в район полуострова Шмидт на северном окончании острова Сахалин. Зона разлома давно описана в Российской геологической литературе в основном как зона правостороннего сдвига на северо-востоке острова. Вдоль разлома обнаружены вторичные геологические структуры сжатия и растяжения, которые могут быть связаны с небольшими изменениями простираения разлома относительно общего северо-восточного - юго-западного направления тектонических напряжений сжатия. В точке пересечения трубопровода 1-Alt уступ отчетливо прямолинейный. При обследовании траншеи, пройденной вкrest приразломного уступа в ходе полевых работ 2005 г., в приповерхностных грунтах были обнаружены структуры, соответствующие надвиговым смещениям при сжатии. Однако, эти структуры срезаны более молодой узкой зоной сдвига. В стенке траншеи она субвертикальна, но не прямолинейна и относительно линейна в дне траншеи. К разрыву приурочены песчаные инъекционные структуры и по нему контактируют комплексы пород, взаимное положение которых не согласуются с представлениями о вертикальном смещении по разрыву. К тому же в зоне разрыва наблюдаются образования, схожие со сколами Риделя и представляющие собой узкие вертикальные инъекции пылеватого материала, ориентированные примерно под углом 30° по часовой стрелке к следу разрыва в дне траншеи. Положение разрыва и последующих инъекционных структур согласуются с правосторонним сдвигом.

8.5.1.2 Хоккайдо-Сахалинский разлом (Таблица 8.2, № 2)

В работе (Старстрой, 2004-а) указано, что вблизи Объединенного Берегового Технологического Комплекса (ОБТК) расположен предполагаемый активный разлом, выходящий на поверхность и проходящий вдоль Хоккайдо-Сахалинской зоны разломов около восточного берега Сахалина. Эта структура была идентифицирована по космическим снимкам и было показано, что она расположена примерно в 10 км юго-западнее ОБТК. Участок, на трассе трубопровода, в направлении которого простирается предполагаемое продолжение разлома, был обследован во время полевых рекогносцировочных работ 2005 года. Признаки разлома (ни молодого, ни древнего) обнаружены не были. Либо линеймент, идентифицированный Старстроем к югу от трубопровода, вообще не является разломом, либо разлом обрывается намного южнее трассы трубопровода, либо он не активен.

8.5.1.3 Ключевской разлом, участок у поселка Ясное (Таблица 8.2, № 3)

Этот приразломный уступ был идентифицирован по аэрофотоснимкам и во время полевых работ как форма рельефа, образовавшаяся при голоценовом смещении. В точке с координатами 620397 E и 5607298 N приразломный уступ пересекается ручьем. Общая высота уступа составляет 5 - 6 м. Речные террасы в его поднятом крыле на 2 - 3 м выше современного уровня водотока, что указывает на повторяющиеся подвижки

по разрыву, сформировавшие 5 - 6 метровый уступ. В результате последнего события речные террасы поднялись на 2.3 м выше современного уровня водотока. Для проектирования перехода трубопровода через разлом рекомендуется принять вертикальное смещение 2.3 м.

8.5.1.4 Ключевской разлом, Южно-Онорский участок (исключен из Таблицы 8.2)

При обследовании траншеи, пройденной через этот уступ, в приповерхностных отложениях поверхности смещения обнаружены не были. Четко выраженные субгоризонтальные маркирующие пласты в стенках траншеи полого падают на север, падение постепенно увеличивается в сторону южного конца траншеи и в пределах уступа. Грубообломочный материал отложений представлен окатанным и полуокатанным гравием; плоские гальки ориентированы параллельно напластованию. Это говорит о том, что маркирующие пласты представлены речными отложениями и что слабое увеличение наклона пластов возникло при накоплении отложений и не связано с движениями по разрыву. По результатам совместного полевого обследования этой структуры, включая осмотр выкопанной траншеи, был сделан вывод о том, что разрыва здесь нет, и этот участок был исключен из списка пересечений с активными разломами.

8.5.1.5 Ключевской разлом, участок у Десятой речки, (Таблица 8.2, № 4)

Совместное полевое обследование этого участка производилось в 2005 г. В западной части трассы трубопровода была пройдена траншея в которой обнаружены признаки двух эпизодов надвигания по разлому. Над поймой возвышаются две речные террасы, высота которых отражает вертикальные перемещения во время двух последних землетрясений, вызвавших разрывы на поверхности: 1.9 и 2.1 м для последнего и предпоследнего землетрясений, соответственно. Наибольшее смещение (2.1 м) рекомендуется в качестве расчетной величины вертикальной подвижки.

8.5.1.6 Ключевской разлом, Южно-Хандасинский участок (Таблица 8.2, № 5)

Приразломный уступ высотой около 5 м наблюдался на ПК 186. В лежачем крыле разлома траншеей вскрыта почти горизонтальная пачка голубых и бурых глин, на протяжении 10 м несогласно залегающих на прослое речного гравия, падающего на юг под углом 5°. Аллювиальные отложения несогласно перекрывают более древние глины. Плоскости сместителя в траншее не обнаружено; однако, взаимное расположение глин и гравия позволяет сделать вывод, что на этом участке дважды происходили подвижки по разлому. Реконструкция складчатой структуры дает 5-метровый уступ, что, в среднем, соответствует 2.5-метровому вертикальному смещению при каждом событии. Последнее значение принято в качестве рекомендуемой расчетной вертикальной подвижки для этого пересечения.

8.5.1.7 Ключевской разлом, ответвление от основного разлома (Таблица 8.2, № 6)

Ключевской разлом пересекает трубопровод около ПК 189 (Starstroj, 2004b). Это пересечение было вскрыто траншеей в ходе полевого обследования

осенью 2004 г. Разлом был обнаружен в траншее в основании обрыва. Это надвиг, простирающийся с севера на юг и падающий на запад под углом 50°. Вертикальное смещение по нему составляет 0.7 м, что и рекомендовано в качестве рекомендуемой расчетной вертикальной подвижки.

8.5.1.8 Ключевской разлом, Побединский участок (Таблица 8.2, № 7)

Ключевской разлом пересекает трубопровод на ПК 208.5. Разлом простирается в основном с востока на запад и выражен в виде уступа высотой 2 м. Примерно в 100 м восточнее пересечения простирается уступа меняется с широтного на меридиональное, а его высота увеличивается с 2 м на широтном участке до примерно 5 м на меридиональном. По аналогии с уступом Ключевского разлома на Смирныховском участке, 5-метровый уступ соответствует более чем одному сейсмическому событию (см. анализ траншеи на Смирныховском участке, описанной в работе Булгакова и др., 2002, сделанный в разделе 2.3.3, части 2 отчета ABSC 2005 г.). Признаки многократных сейсмических событий были также обнаружены в траншее на пересечении № 8 (см. ниже). Кинематика разлома соответствует подвижке грунта, определенной с учетом максимального горизонтального тектонического напряжения сжатия в направлении примерно СВ 70° (Fournier et al., 1994). Рекомендуемая расчетная вертикальная подвижка составляет 2.0 м, что является удвоенной величиной подвижки во время отдельного события при образовании субширотного уступа с преобладающей сдвиговой составляющей. Это консервативная оценка соответствует наблюдаемому кумулятивному вертикальному смещению на этом пересечении.

8.5.1.9 Ключевской разлом, Смирныховский участок (Таблица 8.2, № 8)

В траншее, пройденной восточнее пос. Смирных, в основании уступа обнаружена разрывная зона мощностью 6 метров с тремя отчетливыми сместителями меридионального простираения, падающими на запад в среднем под углом 45°. Суммарное смещение стратиграфических горизонтов в пределах 6-метровой зоны составляет 2.0 м, хотя есть признаки того, что подвижки по всем трем сместителям происходили не одновременно. Тем не менее, при отсутствии более точной оценки подвижки при отдельном событии, полное вертикальное смещение на 2 м рекомендовано в качестве расчетного вертикального смещения.

8.5.1.10 Ключевской разлом, Гастелловский участок (Таблица 8.2, № 9)

Траншея, пройденная вручную через уступ этого разлома на участке, где он пересекает ручей Кисса около ПК 300.6, не вскрыла разрыва. Однако, приподнятые речные террасы выражены в висячем крыле разлома вдоль ручья Кисса, но отсутствуют в лежащем крыле, что является признаком подвижек по Ключевскому разлому на этом участке. Самая молодая терраса на 1.5 - 2.0 м выше современного уровня поймы ручья Кисса, что показывает величину вертикального перемещения в результате последней подвижки. Рекомендуемая величина вертикальной подвижки на этом участке составляет 2.0 м.

8.5.1.11 Гастелловский разлом поднятого крыла (Таблица 8.2, № 10)

В 500 м к западу от выхода Ключевского разлома на поверхность у ручья Кисса в его висячем крыле находится разрыв с опущенным западным крылом. На этом участке уступ разрыва имеет высоту 5 м. В траншее была обнаружена основная плоскость сместителя и серия погребенных почв в его лежащем крыле. Четыре горизонта погребенной почвы, сочетающиеся с коллювиальными клиньями, свидетельствуют о 5 подвижках по этому нарушению. Плоскость основного разрыва падает на восток по азимуту 82° и покрыта штриховкой, падающей на юг под углом 62° . Такая ориентировка штрихов показывает, что смещения по разрыву имели левостороннюю составляющую. Угол наклона штрихов в 62° говорит о том, что при последней подвижки вертикальное смещение в 2 раза превосходило левостороннюю. Наличие следов 5 эпизодов разрывообразования, выявленных при изучении траншеи, при общей высоте уступа в 5 метров дает среднюю величину одноактной подвижки в 1 м по вертикали и 0.5 м влево, что и рекомендуется в качестве проектного смещения.

8.5.1.12 Восточно-Макаровские разломы (Таблица 8.2, № 11 - 14)

На полукилометровом участке трассы трубопровода около г. Макаров (ПК 342.54 - 342.96) он пересекает следы четырех четко выраженных поверхностных разрывов. Все эти нарушения расположены в висячем крыле Ключевского разлома. Сам Ключевской разлом проходит в море к востоку от этого участка. Поверхностные проявления этих четырех разрывов висячего крыла Ключевского разлома почти параллельны, простираются в ССЗ направлении и практически прямолинейны. У всех разрывов опущены западные крылья. Уступ разрыва № 14 превосходит уступы остальных нарушений, расположенных северо-восточнее. Прямолинейность выходов разрывов на поверхности показывает, что эти нарушения являются или крутопадающими или вертикальными, что препятствует развитию существенной надвиговой составляющей смещений. Разлом № 14 был исследован в траншее, пройденной в 1.8 км к югу от пересечения с трубопроводом. В результате было установлено, что вертикальная и сдвиговая компоненты подвижки равны и составляют 1.0 м. Изучение траншеи, пройденной около разрыва № 11, показало, что вертикальные и сдвиговые смещения составляют 0.5 м. Такие же величины приняты для разломов № 12 и 13 аналогично выраженных на поверхности.

8.5.1.13 Западно-Макаровский разлом (Таблица 8.2, № 15)

Штриховка на основном сместителе разрыва, обнаруженная при обследовании траншеи, показывает, что смещения по этому крутопадающему нарушению имели значительную право-сдвиговую составляющую. Выявлены правосторонние смещения по основному сместителю, простирающемуся по азимуту ССВ 16° и падающему на восток под углом 88° . Штриховка на поверхности сместителя наклонена на север под углом 15° . Строение шва разрыва подтверждает наличие правого сдвига, хотя высота уступа указывает на довольно значительную вертикальную составляющую смещения. По результатам анализа штриховки на плоскости разрыва и морфологии уступа рекомендуется

принять одинаковые значения вертикальной и горизонтальной составляющих подвижки, равные 1.5 м.

8.5.1.14 Пересечение с разломом реки Черной (Таблица 8.2, № 16)

Данное пересечение находится в висячем крыле основного Ключевского разлома, проходящего в море восточнее рассматриваемого участка. Здесь трасса пересекает прямолинейный поверхностный разрыв реки Черной ССЗ простирания. Структурное позиция, а также высота и длина приразломного уступа этого разрыва схожи с таковыми у Восточно-Макаровских разломов, но рассматриваемое нарушение имеет противоположное направление горизонтального смещения. Рекомендуемые проектные смещения также аналогичны таковым у Восточно-Макаровских разрывов, за исключением противоположного направления горизонтального смещения.

8.5.1.15 Переход через разлом реки Кирпичной (Таблица 8.2, № 17)

Разлом реки Кирпичной, закартированный Старстром (2004) в поднятом крыле Ключевского разлома, представляет собой прямолинейный поверхностный разрыв ССВ простирания. По своим характеристикам этот разлом похож на описанные ранее нарушения в висячем крыле Ключевского разлома, и имеет правостороннюю составляющую смещения. Учитывая сходство структурных характеристик и морфологии приразломного уступа рассматриваемого нарушения и разлома № 14 Восточно-Макаровской группы, рекомендуемое расчетное значение смещения принято по аналогии с этим разрывом.

8.5.1.16 Ключевской разлом в устье реки Кирпичной (№ 18 исключен из таблицы 8.2)

Район устья реки Кирпичной был исследован для оценки расположения разлома на пересечении с трубопроводом между ПК 496 и 497. В ходе полевого обследования, выполненного южнее реки, на юго-западной окраине большого гравийного карьера, расположенного в 400 м к западу от трассы трубопровода и в 1 км к югу от реки, был обнаружен четко выраженный уступ, обращенный на восток. Смещение пластов в гравийном карьере подтвердило, что образование уступа связано с подвижкой по разлому. Опущено северо-восточное крыло. Простирание разлома, проходящего около гравийного карьера, близмеридиональное.

При обследовании, проведенном севернее устья реки, около берега между железной дорогой и шоссе был выявлен разрыв северо-восточного простирания с опущенным юго-восточным крылом, пересекающий границу между высокой террасой и поднятой голоценовой морской террасой. Там, где этот уступ пересекает голоценовый береговой вал, гребень последнего смещен на 2.7 м. Опущено юго-восточное крыло. Эта величина была принята в качестве расчетного вертикального смещения. Это пересечение было обойдено.

8.5.1.17 Ключевской разлом, участок к югу от пос. Советское (Таблица 8.2, № 18 Alt)

К юго-западу от пос. Советское Ключевской разлом смещает ряд речных террас вдоль р. Ай. Разлом выражен в виде резкого, хорошо сохранившегося уступа, простирающегося в целом с севера на юг. Смещения по разлому наращивались с течением времени, что проявляется в увеличении высоты уступа на более высоких (древних) террасах. Современная пойма, возвышающаяся на несколько метров над руслом реки, не нарушена разломом. Однако, заметный уступ высотой 2,7 м пересекает самую низкую (молодую) надпойменную террасу. Это вертикальное смещение является минимальной величиной, так как основание обрыва на опущенном лежащем крыле возможно погребено под береговыми отложениями небольшого водотока, текущего вдоль разлома. Слабое развитие почвенного слоя на этой террасе указывает на ее позднеголоценовый возраст. Вертикальное смещение террасы на 2.7 м является, по-видимому, результатом одноактной подвижки по разлому.

Разлом пересекает вторую надпойменную террасу на южной стороне долины реки Ай. Судя по данным профилирования, уступ имеет сложную форму, что характерно для пологого надвига, он изогнут в плане и выражен в виде четкой ступени высотой 6.44 м. Уступ высотой 6.44 м образовался в результате двух подвижек. Однако, из-за сложной формы уступа на этом участке, обусловленной образованием надразломной складки, вертикальное смещение террасы по разлому меньше высоты уступа на 0.99 м, что соответствует высоте обратного уступа, обращенного на запад. Поэтому, суммарная вертикальная составляющая тектонического смещения для двух событий составляет 5.45 м. Так как последнее событие вызвало вертикальное смещение на величину около 2.7 м, предпоследнее событие в этой части разлома привело к почти такому же вертикальному смещению по фронтальному уступу. Эта величина и рекомендована в качестве расчетной вертикальной подвижки.

8.5.1.18 Ключевской разлом, участок реки Лебяжья (Таблица 8.2, № 19)

К юго-востоку от пос. Советское Ключевской разлом образует приблизительно трехкилометровую левостороннюю кулису в районе р. Лебяжья. В результате рекогносцировочного картирования было установлено, что разлом тянется на расстояние около 1 км на север, где его положение определяется по пологому уступу восточной экспозиции высотой 3 м, который смещает низкую речную террасу на южном борту долины р. Найба. Незначительная крутизна уступа указывает на то, что разлом не достигает поверхности смещенной террасы, а напротив, формирует моноклиналичную приразломную Покровскую складку. К северу от деформированной террасы около села Покровка на простирании разлома на протяжении около 4 км располагаются современные поймы и меандрирующие русла рек Найба и Лебяжья. В ходе полевого обследования этого района каких-либо признаков разлома на низких поймах обнаружено не было. В ходе полевых работ 2005 г. было пройдено 7 шурфов глубиной 3.5 м в среднем, для того, чтобы установить, происходит ли резкое изменение состава грунтов вдоль полосы отвода трубопровода при его переходе через предполагаемый разлом. Отдельные слои грунта четко

выражены в разведочных шурфах, но глубина их залегания в семи шурфах практически не отличается, что говорит об отсутствии следов смещений вдоль полосы отвода. Отсутствие разрывообразования на этом участке подтверждено и по результатам дополнительных малоуглубинных геофизических исследований.

На основании этих данных был сделан вывод, что, скорее всего, в районе ПК 520 (т.е. вблизи пересечения № 19) Ключевской разлом не достигает дневной поверхности. Мы полагаем, что геологическим проявлением слепого Ключевского разлома являются деформации палеоген-миоценовых отложений, проявленные на сейморазведочных профилях, но что разрывообразование не распространялось до уровня дневной поверхности. Недеформированные голоценовые торфяники, перекрывающие деформированные палеоген-миоценовые отложения, свидетельствуют, что ни в голоцене, ни, возможно, в позднем плейстоцене на этом участке не было ни складчатых, ни разрывных деформаций. Эти наблюдения позволяют говорить об отсутствии активного разрыво- или складкообразования на этом участке, в соответствии с принятым для проекта определением активных разломов.

8.5.1.19 Ключевской разлом, участок к западу от Южно-Сахалинска (Таблица 8.2, № 20 и 21)

Три геологических и геоморфологических индикатора смещения по разрывам в прошлом были исследованы и измерены с тем, чтобы охарактеризовать недавнюю палеосейсмологическую историю развития Ключевского разлома к западу от Южно-Сахалинска. Такими признаками являются: 1) наличие речных террас ручья Имановка выше по течению от выхода разлома на поверхность; 2) строение и стратиграфия поверхностных отложений, вскрытых в исследовательской траншее, пройденной через разлом; 3) наличие приразломного уступа на участках, где разлом пересекает речные террасы. Оценки вертикальной составляющей смещения для трех последних подвижек были сделаны на основании анализа нескольких групп данных, полученных при проведении измерений в траншее, на террасах и на уступе. Вертикальная составляющая смещения при последней (голоценовой) подвижке по разлому составляет 4.0 ± 0.3 м. Предпоследнее событие привело к вертикальному смещению на 2.0 ± 0.3 м, а предшествующая подвижка сопровождалась вертикальным смещением на 2.0 ± 0.6 м. При этих исследованиях обычно наблюдались признаки надвигообразования, признаки же сдвиговых смещений отсутствовали. Рекомендуемая проектная 3-х метровая вертикальная подвижка рассчитана как среднее арифметическое наблюдаемых максимальных и минимальных смещений. То, что смещения на 2.0 м происходили дважды, не принималось во внимание.

8.5.2 Сейсмические движения грунта (Сейсмические воздействия)

Среди объектов проекта Сахалин II опасность сейсмических движений грунта при землетрясениях наиболее высока на морских платформах около северо-восточного побережья острова и на ОБТК, которые расположены вблизи Пильтун-Горомайского и Верхне-Пильтунского разломов, определяющих уровень сейсмической опасности региона (Рис. 8.9). На объектах СПГ/ТОН/ВПУ, расположенных около пос. Пригородное на северо-восточном берегу залива Анива, опасность сейсмических воздействий ниже, с учетом их удаленности от основных сейсмогенерирующих зон, расположенных вдоль Западно-Сахалинского хребта и в море у западного побережья острова (Рис. 8.10; EQE, 1996b; ABSC, 2002; Росстройизысекания, 1998; URS, 2002).

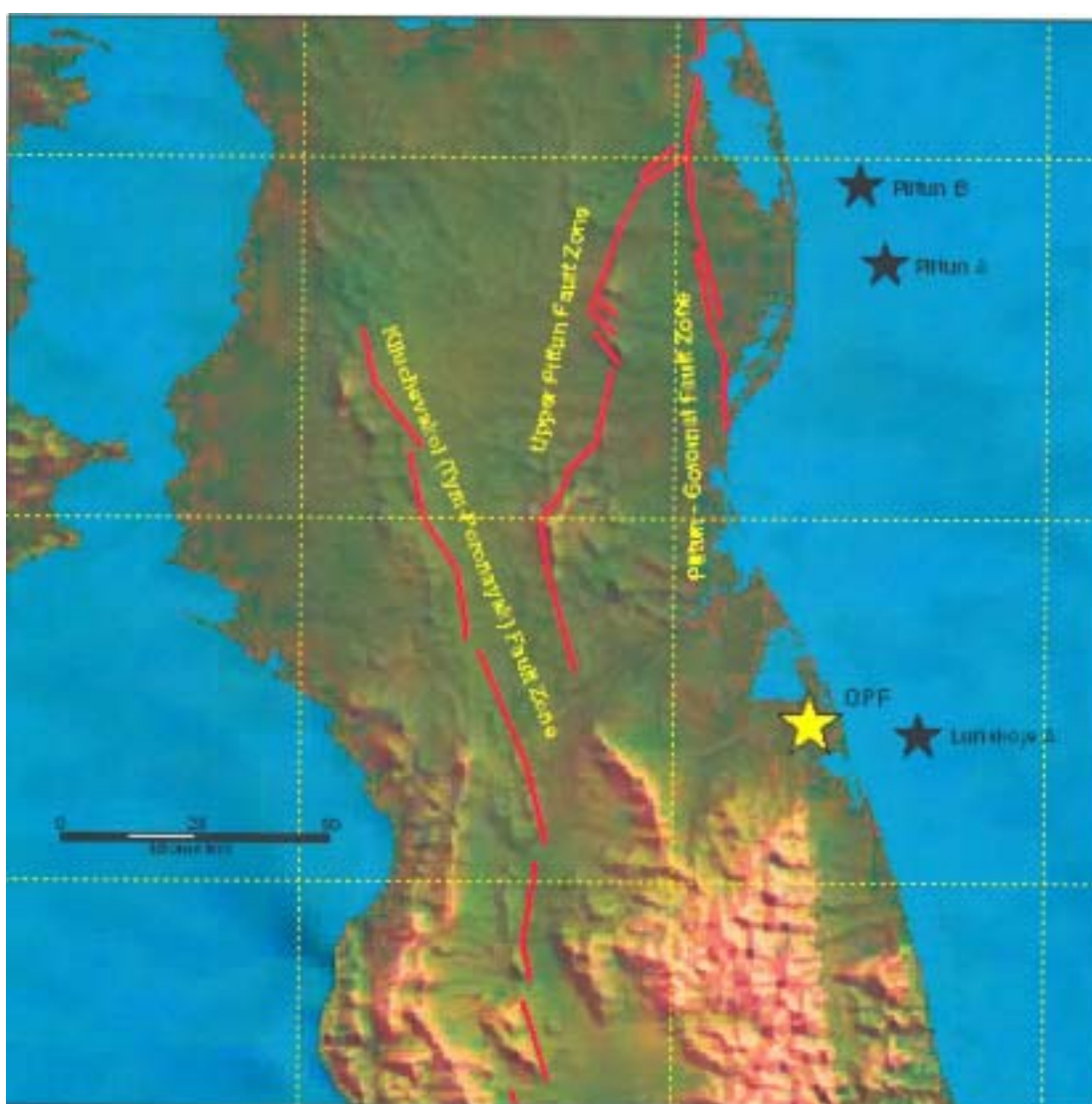


Рис. 8.9. Карта расположения участков платформ Лунская-А, Пильтунская А и Б, а также ОБТК относительно зон активных разломов на севере Сахалина.

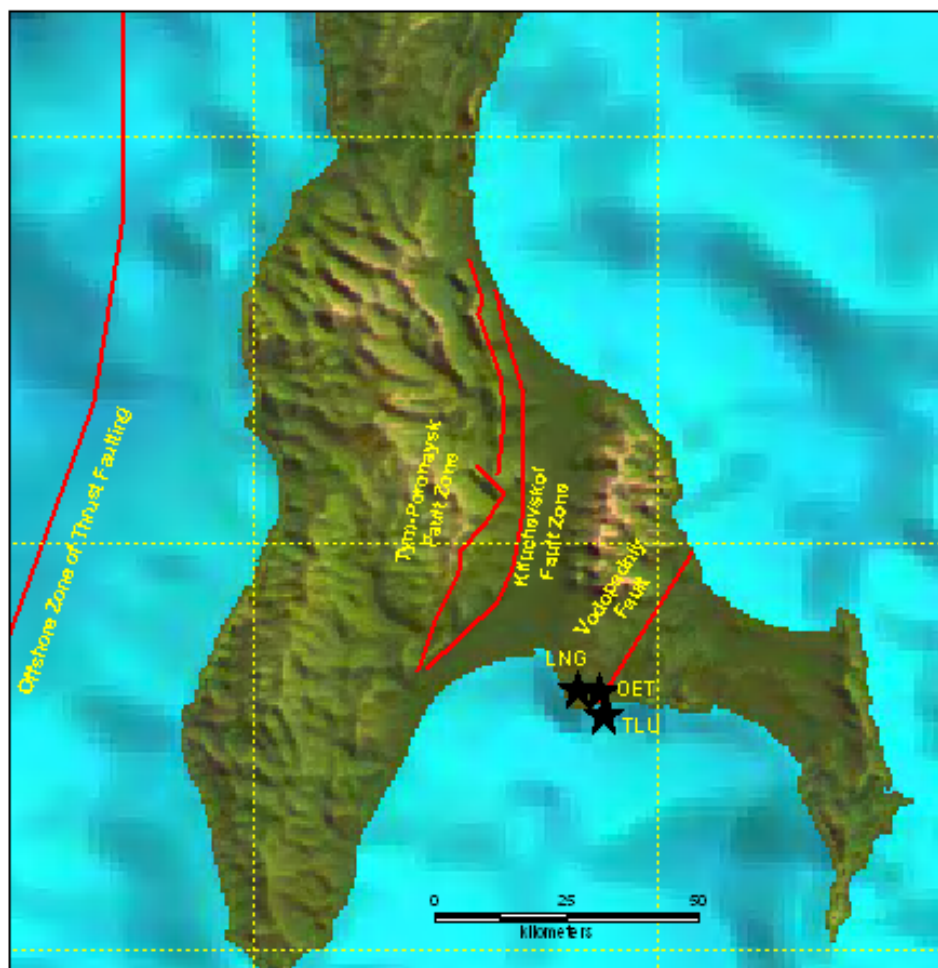


Рис. 8.10. Карта расположения участков завода по производству сжиженного природного газа (СПГ), терминала отгрузки нефти (ТОН) и выносного причального устройства (ВПУ) относительно зон активных разломов на юге Сахалина.

8.5.3 Повторяемость землетрясений

Поперечное тектоническое сжатие в центре и на севере Сахалина в поле сжимающих тектонических напряжений восток-северо-восточного направления (Fournier et al., 1994) составляет около 1 – 2 мм в год (Bulgakov et al., 2002). Если предположить, с использованием консервативного подхода, что все это сокращение реализуется перпендикулярно к простиранию Ключевского разлома по всей его длине, тогда повторяемость вертикальных смещений, приведенных в Таблице 8.2, связана простой синусоидальной зависимостью с углом падения разлома. Для средней скорости сокращения 1.5 мм в год, годовая скорость вертикального поднятия составляет 1.30 мм в год для надвига с углом падения 60° и 1.06 мм в год для угла падения 45° (см. ABSC [EQE], 2000). Типичное вертикальное смещение в Таблице 8.2 для пересечений трубопровода с Ключевским разломом составляет 2 м (т.е., 2000 мм). Деление этой величины на среднегодовую скорость поднятия дает консервативную оценку

повторяемости типичного вертикального смещения в Таблице 8.2 около 1500 - 1900 лет в зависимости от реального падения разлома. Период повторяемости более значительных вертикальных смещений пропорционально увеличивается. Так как разрывы в поднятом крыле надвига имеют сложные соотношения со смещением по его главной плоскости и с изгибанием в его висячем крыле, для таких нарушений эта простая методология скорее всего не подходит.

8.5.4 Методика оценки сейсмической опасности

Вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО), разработанный для проектирования инженерных сооружений, был выполнен для проекта Сахалин II (EQE, 1996b; URS, 2002; URS, 2002). ВАСО для любого заданного пункта в основном включает следующие этапы:

- определение очаговых зон в районе площадки, в которых возможно возникновение землетрясений;
- составление базы данных по очагам землетрясений в районе исследований, включая исторические и инструментальные данные а также, при их наличии, палеосейсмологические данные;
- определение параметров графиков повторяемости (сейсмической активности, угла наклона графика повторяемости - коэффициента b по Гутенбергу-Рихтеру и максимального возможного землетрясения), определяющих сейсмические характеристики каждого очага, на основе исторических сведений и наблюдений за землетрясениями, а также имеющихся геологических данных по более крупным землетрясениям;
- разработка соответствующей модели сейсмического воздействия, включающей оценку затухания сейсмических колебаний и ее изменчивость в зависимости от расстояния, магнитуды и периода колебаний;
- оценка годовой повторяемости превышения выбранного уровня сейсмических воздействий по следующей формуле;

$$\lambda[X \geq x] \approx \sum_{Sources\ i} v_i \int_{M_0}^{M_{Max}} \int_{R|M} P[X \geq x | M, R] f_M(m) f_{R|M}(r|m) dr dm$$

- где $\lambda[X \geq x]$ - годовая повторяемость превышения выбранного уровня сейсмического воздействия на площадке $X=x$; v_i - число землетрясений с магнитудой от M_0 до M_{Max} в i -м сейсмическом очаге в год; M_0 - минимальная магнитуда, имеющая техническую значимость; M_{Max} - максимальная предполагаемая магнитуда землетрясения в данном очаге; $P[X \geq x | M, R]$ обозначает условную вероятность того, что выбранный уровень сейсмического воздействия превышает для данной магнитуды и расстояния; $f_M(m)$ - плотность распределения вероятности магнитуды землетрясения; and $f_{R|M}(r|m)$ - плотность распределения вероятности расстояния от очага землетрясения до исследуемого пункта;
- определение результирующего сейсмического ускорения в конкретном пункте относительно опорной площадки с учетом реакции разреза грунтов в исследуемом пункте.

8.6 СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛОЩАДКАХ СООРУЖЕНИЙ

8.6.1 Морские платформы и Выносное Причальное Устройство

Сейсмические условия площадок размещения морских платформ на Лунском и Пильтун-Астохском месторождениях определялись с использованием критериев сейсмостойкого проектирования, разработанных Американским нефтяным институтом в Практическом руководстве для планирования, проектирования и строительства закрепленных морских платформ (API RP2A) (EQE, 1996b; ABSC, 2002). API RP2A рекомендует рассматривать сейсмические воздействия двух уровней при проектировании закрепленных морских сооружений. Первый уровень - это проектное землетрясение (ПЗ), определяемое как сейсмическое воздействие, которое с обоснованной долей вероятности не будет превышено во время эксплуатации платформы (в этом случае период повторяемости несколько больше периода, используемого при проектировании мероприятий по защите от морских волн с учетом неопределенности оценки сейсмических воздействий и различий между техническими требованиями к проектированию мероприятий по защите от морских волн и по обеспечению сейсмостойкости. В южной Калифорнии период повторяемости для капитальных сооружений обычно составляет 200 лет). Второй уровень - это максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), определяемое как сейсмическое воздействие, вызываемое редким сильным землетрясением (такое сейсмическое событие может повторяться раз в несколько сотен и тысяч лет). Специальными требованиями к проектированию устанавливается период повторяемости в 200 лет для ПЗ и 3000 лет для МРЗ. Для воздействий уровня ПЗ, имеющих сравнительно небольшую вероятность превышения в период эксплуатации платформ, сооружения должны быть запроектированы таким образом, чтобы они не были повреждены при таком событии или были повреждены незначительно. После такого события может потребоваться остановка работ на платформе и ее обследование. ПЗ для морских сооружений имеет период повторяемости 200 лет и соответствует пиковому ускорению (PGA) примерно 0.1g.

Воздействия уровня МРЗ, соответствуют редким сильным землетрясениям с очень малой вероятностью превышения за период эксплуатации сооружений. При этом допускается, что элементы конструкции могут испытывать пластические деформации, но не должно произойти их неприемлемого разрушения, такого, как полное обрушение, приводящего к жертвам и значительному ущербу для окружающей среды. МРЗ для морских сооружений имеет период повторяемости 3000 лет и соответствует пиковому ускорению равному 0.38g.

Платформы P-A, P-B и LUN-A спроектированы с маятниковыми опорами (Friction Pendulum Bearings) (между верхним строением и основанием) с тем, чтобы минимизировать сейсмические нагрузки на верхние строения платформ.

Для ВПУ была принята консервативная оценка воздействия уровня МРЗ равная 0.42g. Нагрузки от сейсмических воздействия являются одним из

нескольких видов нагрузок, которые могут действовать на это сооружение (другие виды нагрузок: столкновение с кораблем, океанические течения, волновые и ветровые нагрузки). Следует отметить, что нагрузки, вызываемые сейсмическими воздействиями, не являются основными проектными нагрузками для ВПУ.

8.6.2 Объединенный Береговой Технологический Комплекс (ОБТК)

Проектирование сооружений БКП ведется в соответствии с Европейским Стандартом 8 ENV 1998 "Проектное Обеспечение Сейсмостойкости Сооружений" (Еврокод 8). Расчетный период повторяемости (РПП) проектного землетрясения принят равным 475 годам, а расчетное пиковое ускорение равным 0.25g.

Обычные строительные нормы, такие как Еврокод 8 и Российские нормы, предусматривают сейсмостойкое проектирование на один уровень сейсмических воздействий. С тем, чтобы обеспечить достаточный уровень безопасности при использовании пикового ускорения, соответствующего проектному землетрясению, нормы предусматривают уровни ответственности сооружения. Для каждого сооружения этот уровень определяется с учетом предназначения объекта и тяжести потенциальных последствий его разрушения.

8.6.3 Завод СПГ и ТОН

Завод по производству СПГ и соседний терминал отгрузки нефти (ТОН) находятся к востоку от реки Мерея на северном берегу залива Анива около пос. Пригородное и в 18 км к востоку от г. Корсаков (Росстройизыскания, 1998; Dames and Moore, 1998; Геориск, 2001). Береговые объекты занимают низовья долины р. Мерея, ручьев Голубой, Гремучий и Водопадный. Наиболее крупным водотоком является р. Мерея, долина которой вытянута в юго-юго-западном направлении вдоль простирания основных структур. Участок покрыт горизонтально залегающими четвертичными отложениями, состоящими из чередующихся слоев песка, гравия и гальки в нижней части разреза, а также супеси, суглинка и глины в верхней части разреза. Четвертичные отложения подстилаются позднемеловыми аргиллитами и алевролитами Быковской серии, смятыми в узкие складки и нарушенными разрывами.

Более древние разломы в пределах участка были активны в дочетвертичное время. Наличие нескольких морских террас позволяет предположить, что в среднечетвертичное время происходило периодическое поднятие территории, хотя некоторые из них вероятно сформировались из-за изменений уровня моря, связанного с позднеплейстоценовым оледенением (Dames and Moore, 1998; Росстройизыскания, 1998). Ни достоверные, ни предполагаемые разрывы не смещают аллювиальные отложения. Линеаменты, выделенные на космических снимках, соответствуют закартированным разломам, но ни один из них не имеет выраженных геоморфологических или топографических проявлений, характерных для голоценовых или позднеплейстоценовых разрывов. Признаки недавней, но незначительной подвижки есть по разрыву у ручья Водопадного около

площадки ТОН. Это нарушение проходит на расстоянии 1 км от ТОН (Рис. 10) и представляет собой взброс со смещением меньше 0.5 м. Радиоуглеродный возраст образцов торфа в зоне разлома показывает, что последняя подвижка произошла не позднее, чем 3700 лет тому назад. С учетом наблюдаемой величины смещений и экстраполяции графика повторяемости для района можно сделать вывод, что с разрывом может быть связано землетрясение с максимальной магнитудой $M_{LN} = 6.5$ и периодом повторяемости около 4500 лет.

Антисейсмическое проектирование завода СПГ основано на различиях между воздействиями уровней ПЗ и МРЗ. Комплекс будет запроектирован на воздействия уровня ПЗ, чтобы выдержать такое землетрясение без значительных повреждений с тем, чтобы можно было продолжить его эксплуатацию после обычного предпускового обследования и/или минимального ремонта. При ПЗ допускается отключение комплекса и незначительные повреждения. ПЗ определено, как сейсмическое воздействие со средним периодом повторяемости в 475 лет, которому соответствует пиковое ускорение 0.18g.

МРЗ соответствует воздействию, для которого будут проведены поверочные расчеты проектов отдельных сооружений завода СПГ, включая резервуары СПГ с тем, чтобы избежать катастрофического разрушения комплекса. Необходимо избежать существенной утечки углеводородов. МРЗ для целей проектирования соответствует землетрясению со средним периодом повторяемости 10,000 лет. Ему соответствуют пиковые ускорения в 0.47g.

Проектирование комплекса ТОН будет выполнено в соответствии с нормами Еврокод 8. Антисейсмическое проектирование учитывает воздействия с эффективным пиковым ускорением 0.18g, соответствующим землетрясению с расчетным периодом повторяемости 475 лет. Нефтяные резервуары будут запроектированы так, чтобы исключить их катастрофическое обрушение или существенную утечку углеводородов при МРЗ с расчетным периодом повторяемости в 5,000 лет, которому соответствует пиковое ускорение 0.39g. Это означает, что, хотя работа терминала будет остановлена и потребуются его ремонт, не произойдет катастрофического разлива нефти.

8.6.4 Опасность цунами

Данные по наблюдению за приливами на южном Сахалине собраны за последние 40 лет в г. Корсаков (Росстройизыскания, 1998). За это время записано 30 мареограмм цунами. Пункт регистрации находится в гавани г. Корсаков, отгороженной от открытого моря. Поэтому, зарегистрированная высота цунами, по-видимому, минимальна. Цунами затопили порт в 1952 г. и после большого Чилийского землетрясения в мае 1960 г. В 1952 г. цунами было вызвано землетрясением, произошедшим восточнее Камчатки. Высота цунами в порту составила 0.9 м. Высота цунами от большого Чилийского землетрясения 1960 г. была примерно 1.5 м., хотя точная высота этого цунами не может быть определена, поскольку лента записывающего устройства закончилась до его окончания (Росстройизыскания, 1998). Судя по записям всех остальных цунами, их высота была значительно меньше, чем при этих двух событиях. В течение 43-летнего периода наблюдений высота 24-х цунами превышала 10 см. Накопленные данные наблюдений

умеренных и слабых цунами говорят о том, что Сахалин защищен от сильных цунами Тихоокеанского региона полуостровом Камчатка и Курильской грядой, которые расположены на расстоянии более 600 км на восток, в результате чего энергия цунами в окраинном Охотском море уменьшается (Росстройизыскания, 1998).

Численные модели цунами для двух пунктов в Озерске (около пос. Пригородное) при различных преобладающих периодах в интервале от 15 до 60 мин дают высоту волн приблизительно на 10% выше, чем в Корсакове в основном из-за особенностей прибрежного рельефа дна. Высоты цунами, рассчитанные для Озерска для периодов повторяемости 25, 50 и 100 лет, составляют, соответственно, 110, 165 и 220 см. Батиметрия мелководья для Озерска такая же, как и для Пригородного и, следовательно, результаты расчетов для Озерска применимы для района Пригородное.

Все прибрежные сооружения расположены выше уровня подъема любого ожидаемого цунами.

8.6.5 **МОРСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ**

Два морских трубопровода проложены на восток от платформы ПА-Б, затем поворачивают на юг и через 35 км соединяются с двумя трубопроводами от платформы ПА-А. Дальше четыре трубопровода проложены на юг на протяжении 20 км, а затем поворачивают на запад и через 23 км подходят к берегу (см. карту №1). Разрывообразование выявлено глубинной и поверхностной сейсморазведкой в пределах Пильтунского месторождения и хотя некоторые разрывы почти достигают уровня дна моря, смещения затрагивают только неогеновые и, возможно, плейстоценовые отложения. Голоценовые осадки не нарушены. Приповерхностного разрывообразования около трубопроводов между платформой ПА-А и берегом не обнаружено.

Разрывы на небольшой глубине в неогеновых отложениях установлены в пределах Лунского месторождения. Они смещают неогеновые отложения, но не затрагивают голоценовых осадков.

В заливе Анива экспортный трубопровод проложен на протяжении 5 км от ТОН до ВПУ, а дренажный коллектор простирается на 1 км от ТОН. Активных тектонических разломов вдоль морских трасс трубопроводов не обнаружено (SAIPEM, 2003). В заливе Анива разрыв ручья Водопадного не прослежен, но в любом случае он находится к востоку от береговых сооружений и морских трубопроводов (См. карту №3).

Значения пиковых ускорений и скоростей сейсмических колебаний были получены для периодов повторяемости в 200 и 2000 лет в соответствии с проектными периодами повторяемости, заданными в Специальных Технических Условиях на Проектирование (СТУП). Значения пиковых ускорений грунта находятся в диапазоне от 0.1 до 0.3g в зависимости от положения вдоль трассы и от периода повторяемости. Подробно это указано в проектной документации.

8.6.6. БЕРЕГОВЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Трубопровод, находящийся в грунте, то есть подверженный воздействию поперечных волн, испытывает продольные и изгибающие деформации, обусловленные деформациями в грунте. В большинстве случаев эти деформации относительно малы, и трубопроводы, находящиеся в хорошем техническом состоянии не повреждаются. В результате распространения сейсмических колебаний в подземных трубопроводах возрастают кольцевые и касательные напряжения, но они невелики и могут не приниматься во внимание.

Значения максимального ускорения грунта и скорости были определены для периодов повторяемости 200 лет (ПЗ) и 1000 лет (МРЗ) в соответствии с проектными периодами повторяемости, указанными в СТУП (Специальные Технические Условия на Проектирование). Пиковые ускорения грунта обычно варьируют в диапазоне от 0.1 до 0.4g в зависимости от положения вдоль трассы и от периода повторяемости. Подробно это указано в проектной документации.

8.6.7. Определения применительно к трубопроводам

Трубопроводы должны выдерживать воздействия Проектного землетрясения (ПЗ) без нарушения работоспособности или с минимальными остановками в работе и без необходимости проведения значительных ремонтных работ.

Трубопроводы должны выдерживать воздействия Максимального Расчетного Землетрясения (МРЗ) без разрывов. При этом допускаются значительные повреждения трубопровода, приводящие к временной остановке его эксплуатации и необходимости проведения ремонтных работ в одном или нескольких местах.

8.7. ОПАСНОСТЬ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТОВ

Разжижение рыхлых грунтов или осадков является одним из наиболее опасных процессов для трубопровода. Разжижение в естественных отложениях происходит не случайно, а в довольно узком диапазоне геологических и грунтовых условий, показанном в Таблице 8.5. Грунты, наиболее восприимчивые к разжижению, представляют собой рыхлые несцементированные молодые отложения (современные или позднечетвертичные). Разжижение происходит только в водонасыщенных отложениях, т.е., в толщах, находящихся ниже уровня грунтовых вод. Во многих местах вдоль трассы трубопровода уровень грунтовых вод находится близко от поверхности, что вполне может вызвать разжижение соответствующих категорий грунтов.

Близость к источникам сейсмических воздействий также влияет на вероятность разжижения. Ранее было описано, что существуют две основные системы разломов, которые оказывают влияние на трубопроводы: Ключевской разлом, проходящий в основном параллельно трубопроводу на значительном протяжении, а также Горомайский разлом, который только

один раз пересекает трубопровод, но протягивается параллельно ему на протяжении почти 30 км. Эти разломы могут вызвать землетрясения достаточной силы для создания угрозы трубопроводу на участках, сложенных разжижаемыми грунтами.

Основной опасностью для трубопроводов, связанной с разжижением грунтов, является латеральное растекание пойменных или береговых отложений. Латеральное растекание представляет собой боковую подвижку на расстояние до нескольких метров поверхностных (часто прочных) отложений, подстилаемых разжижаемыми грунтами. В зависимости от глубины залегания разжижаемых грунтов, поверхностный слой грунта скользит вниз по пологим склонам или в направлении более крутого склона (например, к руслу реки или к береговому обрыву). Латеральное растекание может распространяться на расстояние до 100 м и более от русла реки и приводить к образованию структур растяжения, таких как открытые трещины в головной (вверх по склону) части разрушенного участка, сдвиговых деформаций в краевых частях и структур сжатия, таких как продольный изгиб, во фронтальной части области разрушения.

Смещения при латеральном растекании грунта важно исследовать для заглубленных трубопроводов, поскольку трубопроводы, пересекающие зоны развития этого явления, должны испытывать продольные и изгибные деформации в соответствии с подвижками грунта. При пересечении трубопроводом такой зоны необходимо определить длину участка трубопровода в пределах области деформаций, а также направление движений грунта и их распределение по величине относительно трассы трубопровода.

Другие формы деформации или разрушения грунта в результате разжижения, воздействующие на заглубленные трубопроводы, включают в себя образование оплывин, усиление колебаний, всплывание трубопровода, или осадку грунта. Тип и степень разрушения грунта зависит от формы площадки и глубины залегания, мощности и площади распространения разжижаемых грунтов. Напряжения, вызываемые этими типами деформаций обычно меньше, чем при вышеописанном латеральном растекании грунта.

Таблица 8.5 Ожидаемая разжижаемость осадочных отложений во время сильных землетрясений (Youd And Perkins, 1978)

Тип отложений	Распространение несвязных грунтов в отложениях	Вероятность того, что несвязные грунты при обводнении будут подвержены разжижению (с учетом возраста отложений)			
		< 500 лет	Голоцено-вые	Плейсто-ценовые	Доплейстоценовые
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(а) Континентальные отложения					
Русловые	Местами	Очень высокая	Высокая	Низкая	Очень низкая
Пойменные	Местами	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Конусов выноса и аллювиальных равнин	Широкое	Средняя	Низкая	Низкая	Очень низкая
Морских террас и равнин	Широкое	-	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
Дельтовые	Широкое	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Отложения озер и мелководных бассейнов	Разное	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Коллювий	Разное	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Делювий	Широкое	Низкая	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
Дюны	Широкое	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Лесс	Разное	Высокая	Высокая	Высокая	Неизвестная
Ледниковые	Разное	Низкая	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
Туф	Редкое	Низкая	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
Тефра	Широкое	Высокая	Высокая	?	?
Элювий	Редкое	Низкая	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
Себха (Отложения засоленных равнинных участков)	Местами	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
(б) Береговые					
Дельтовые	Широкое	Очень высокая	Высокая	Низкая	Очень низкая
Отложения эстуариев	Местами	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Пляжевые:					
В условиях сильного прилива	Широкое	Средняя	Низкая	Очень низкая	Очень низкая
В условиях слабого	Повсеместное	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая

прибоя					
Лагунные	Местами	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Отложения зоны прилива	Местами	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
(в) Искусственные					
Неуплотненные насыпные	Разное	Очень высокая	-	-	-
Уплотненные насыпные	Разное	Низкая	-	-	-

8.8 Опасности, обусловленные склоновыми процессами и потерей устойчивости грунта

8.8.1 Опасные участки

В этом разделе рассматриваются опасные геологические процессы, обусловленные движением грунта на склонах под действием силы тяжести. В рамках данного раздела рассматриваются также склоновые процессы, вызванные дополнительными нагрузками и осадками грунта в результате разработки недр в прошлом. Эти опасные процессы в основном приурочены к Макаровскому участку трассы берегового трубопровода на км 340 – км 464, см. карты № 4-11. Однако, в связи с тем, что трасса трубопровода была изменена около пос. Советское для обхода ряда разломов, на км 502- км 503 она прошла по территории с расчлененным рельефом и неустойчивыми склонами. Еще один участок с расчлененным рельефом находится около км 45 – км 60, но здесь склоны устойчивы. В этом районе рельеф выработан в прочных изверженных породах и здесь нет опасности, обусловленной возникновением оползней или эрозией.

8.8.2 Геологическое строение и геоморфология

Геологическое строение острова в целом и его отдельных участков описано в разделе 1.2. В этом разделе более детально рассмотрены особенности геологического строения и геоморфологии Макаровского района, важные для анализа устойчивости склонов в пределах этого участка трубопровода.

Рельеф Макаровского района в значительной мере определяется меридиональным простираем слоистости в коренных породах, их составом, составом покровных отложений, а также кайнозойскими тектоническими движениями, проявившимися в виде сильной складчатости и воздымания территории, которое во многом способствовало последующему развитию речной сети, основные водотоки которой направлены на восток. При этом, в соответствии с меридиональным простираем геологических структур, их истоки и притоки часто впадают в основные русла под прямыми углами.

Коренные породы представлены мелководными морскими осадками, илами (глинами и алевролитами), и более грубыми песками, местами с прослоями

известняков, а также телами изверженных пород (андезитов и базальтов). В нескольких осадочных горизонтах присутствует вулканический туф. Эти отложения литифицированы до состояния от слабых до среднепрочных осадочных пород. Изверженные породы, включая вулканические туфы, относятся к категории прочных.

На западе Макаровского района развиты более древние меловые породы, содержащие значительные толщи алевролитов (преимущественно алевритистых глин). В целом, меловые отложения обычно хорошо литифицированы, а алевролиты в естественном состоянии переуплотнены до состояния полутвердой, трещиноватой породы.

В прибрежной части Макаровского района сходные, но более молодые породы встречаются в кайнозойских отложениях, от олигоценых до миоценовых и плиоценовых в самой восточной части района. Эти отложения тоже литифицированы, но не так сильно, как меловые, и, судя по результатам обследования и литературным данным, содержат значительно меньше алевролитов. Они часто перекрываются рыхлыми мелководными четвертичными отложениями прибрежных и речных фаций.

Все породы и грунты имеют зону выветривания глубиной от одного до нескольких метров и обычно перекрыты тонким слоем коллювиального и/или делювиального материала, зачастую представляющего собой переотложенный грунт размытых высоких речных террас. В холодный период покровные отложения местами могут быть подвержены солифлюкционным процессам.

Материал выветрелых коренных пород вместе с вышележащим материалом формируют *реголит* (т.е. кору выветривания) над неизменной породой. Инженерные свойства грунтов в основании сооружений во многом определяются свойствами пород зоны выветривания, характеризующимися значительной изменчивостью часто с непредсказуемым уровнем верховодки. Эти грунты легко разрушаются и в них формируется большинство оползней и более мелких склоновых образований.

Неизменные коренные породы будут вскрыты в траншее трубопровода только в тех местах, где ее глубина достигает нескольких метров и/или где зона выветривания полностью размыта или ее мощность сокращена в результате эрозионных процессов.

В пределах западной половины Макаровского района трубопровод проложен в меловых породах, т.е. значительная часть трассы проходит по оползнеопасным алевролитам. Меловыми алевролитами слагают территория, в наибольшей степени пораженную оползнями. Более молодые кайнозойские породы, залегающие ближе к берегу, восточнее трассы трубопровода, менее литифицированы, но слагают территорию с более расчлененным рельефом и содержат меньше слоев алевролитов.

Алевролиты особо подвержены оползневым процессам, так как они представляют собой тип горных пород/грунтов, обогащенных глинистым материалом и склонны к образованию оползней-потоков и связанных с ними склоновых нарушений. В неизменном состоянии этот материал может

удерживаться на крутых склонах десятилетиями, но в выветрелом состоянии или под воздействием морозного выветривания он быстро разрушается, особенно при наличии воды. Алевролиты также легко размываются реками и ручьями, особенно во время паводков. Таким образом, в алевролитах проявляются различные формы разрушений при том, что большая часть трассы трубопровода сложена именно этими породами.

В Макаровском районе к югу от реки Макарова трасса уходит вглубь острова в юго-западном направлении. Там она попадает в район распространения меловых пород с более спокойным рельефом, но с большей мощностью потенциально оползнеопасных алевролитов, с чем связана особая сложность меридионального участка трубопровода. На участках трассы, проложенных по долинам, встречаются грунты, обогащенные глинами, высокий уровень подземных вод и древние оползневые участки; эти грунты также очень чувствительны к промерзанию. С другой стороны, участки трассы на возвышенных формах рельефа особенно подвержены различным типам склоновых процессов, что требует осторожности при формировании отвалов с точки зрения защиты окружающей среды.

8.8.3 Сейсмичность

При оценке устойчивости склонов принимается во внимание местная сейсмичность. Соответствующие ускорения берутся из отчетов Росстройизыскания, где приведены значения ускорений в ряде точек вдоль трассы. Учитывается также возможность разжижения, но этот процесс в общем не представляет особой опасности для Макаровского участка трассы, так как здесь развиты связные грунты.

Сейсмические эффекты также рассмотрены при анализе и проектировании мер по повышению устойчивости склонов. Должное внимание уделяется возможности увеличения сейсмического ускорения за счет фокусировки волн на острых гребнях и крутых склонах.

Обзор оползневой опасности выполнен компанией DJ Nyman & Associates в январе 2001 г. после полевых работ в октябре 2000 г. В обзоре учтены данные из отчетов Росстройизыскания, а также результаты полевых наблюдений, проведенных во время этой поездки. В обзоре подтверждается вывод Росстройизыскания о том, что 'оползни будут неизбежно образовываться в будущем вдоль трассы трубопровода в Макаровском районе' и приводится список, включающий 21 оползневой (геодинамический) участок, где указаны ширина, глубина, тип и геоморфология оползней, а также оценивается их современная активность. Что касается мер по снижению опасности воздействий геологических процессов, в обзоре поддерживается вариант прокладки трубопровода в море и даются рекомендации по дальнейшим действиям в случае выбора сухопутного варианта трассы.

Эти рекомендации включают:

- i) Выполнить детальный обзор имеющихся данных Росстройизыскания;

- ii) Провести аэрофотосъемку и картирование;
- iii) Выполнить исследование грунта вдоль предполагаемой трассы;
- iv) Провести полевое обследование с тем, чтобы выбрать трассу в обход наиболее оползнеопасных участков;
- v) Провести инженерно-геологические исследования и анализ устойчивости склонов на оползнеопасных участках;
- vi) Выполнить анализ напряженно-деформационного состояния трубопровода на оползнеопасных участках;
- vii) Определить методы проведения работ, которые позволяют минимизировать активизацию оползневых процессов в ходе строительства.

пункты i) - iv) уже выполнены, пункты v) - vii) выполняются.

8.8.4 Полевые исследования

Полевые изыскания были начаты в 1998 и продолжаются в ходе строительства. Изыскания выполнялись в три этапа:

1998 г.: Институт ДальТИСИЗ выполнял изыскания в рамках большой программы, включающей бурение скважин через одинаковые расстояния вдоль трассы согласно требованиям СНиП.

Эти исследования выполнялись с помощью шурфовки на участке приблизительно между ПК 341 и 469.

Работы 2003 г.

Инжзащита ПК 322-362 (старые), ПК 339-379 (новые) на северном участке

ДальГео ПК 362-407 (старые), ПК 379-424 (новые) на центральном участке

ИнжГео ПК 407-437 (старые), ПК 424-454 (новые) на южном участке

В ходе полевых работ, выполнявшихся фирмой "Инжзащита" предполагалось провести бурение, проходку разведочных шурфов и геофизические съемки, но из-за сложных грунтовых условий изыскания с применением горных работ свелись к исследованиям в шурфах, пройденных вручную.

Для центрального участка трассы отчеты о запланированных работах не были представлены из-за сложностей, возникших у субподрядчика.

Для южного участка трассы специальные отчеты были представлены только для двух оползнеопасных участков № 1 и № 2.

Работы 2004 г.:

Инжзащита ПК 322-442 (старые), ПК примерно 340-464 (новые)

Этот этап включал горные работы (проходка скважин и разведочных шурфов) и работы без проведения горных выработок (геофизика). Получены 33 тома отчетов, содержащих фактические данные и их интерпретацию. По этим отчетам был составлен Сводный реестр опасных геологических процессов для Макаровского района.

Оценка трассы на Макаровском участке по заказу Сахалин Энерджи была выполнена международной консалтинговой компанией Scott Wilson в 2001 и 2002 годах. Дальнейшая работа выполнялась компанией Scott Wilson совместно с инженерно-геологической группой Подрядчика по проектированию и строительству в 2004 г. для определения положения перетрассировок и минимизации воздействия опасных геологических процессов. Эта работа включала дешифрирование аэрофотоснимков, инженерно-геологическое и геоморфологическое полевое картирование, районирование территории и моделирование. В рамках программы обеспечения качества работ по проекту компания Scott Wilson дополнительно осуществляет техническую поддержку и надзор за выполнением работ.

Рабочее проектирование трассы трубопровода на переходах через опасные участки выполняет фирма "Инжзащита" по заказу Старстроля. В рамках программы исследований трассы компанией Scott Wilson осенью 2004 г. было проведено обследование траншей для уточнения некоторых деталей. Из-за отсутствия подъезда и трудностей, связанных с логистикой во время предыдущих исследований, до настоящего времени имеются участки, требующие уточнения грунтовых условий для подтверждения, например, поверхностей скольжения оползней. Для этого в настоящее время, проводятся дальнейшие изыскания с проходкой разведочных шурфов до необходимой глубины; при необходимости эти исследования будут продолжены во время строительных работ. Программа шурфовки приведена в Приложении 8В. По мере обеспечения подъезда к полосе отвода, для подтверждения результатов геофизических изысканий и установления параметров для проектирования фундаментов, анализа устойчивости склонов, траншей и т.п. используются экскаваторы, с помощью которых вскрываются предполагаемые поверхности скольжения оползней.

Данные инженерно-геологических лабораторных испытаний часто относятся к грунтам, залегающим на малых глубинах. Сильная изменчивость пород и грунтов зоны выветривания в пределах небольших участков требует внимательного рассмотрения лабораторных данных. Требуется участие опытного специалиста чтобы определить насколько эти данные могут характеризовать средние и типичные параметры грунтов. При необходимости, при оценке устойчивости учитывается изменчивость критических параметров.

8.8.5 Выделение опасных геологических процессов

Опасные геологические процессы на Макаровском участке трассы трубопровода выделены и описаны в ряде отчетов. Список отчетов приведен в Разделе Список Литературы 8.10.

Опасные процессы подразделяются на 2 категории: преимущественно естественные и антропогенные (вызванные человеческой деятельностью). Процессы могут быть потенциальными, активизирующимися, активными или в стадии стабилизации. Некоторые процессы неизбежно остаются неисследованными и обнаруживаются только во время строительных работ на площадке. Для выявления опасных природных процессов, не обнаруженных в ходе предшествующих изысканий, осуществляется надзор с привлечением компетентных специалистов.

Естественные опасные геологические процессы, связанные с неустойчивостью склонов и их подвижками, проявляются в виде эрозионных форм, поверхностной солифлюкции, оплывин, а также оползней различной мощности. Данные процессы проявляются как на самих склонах, так и в виде выноса материала и его накопления в зонах аккумуляции на дне долин.

Антропогенные опасные геологические процессы связаны с заселением, освоением и использованием территории. В Макаровском районе основными видами деятельности, влияющими на трассу трубопровода, являются производившаяся ранее добыча полезных ископаемых, заброшенное строительство автодороги меридионального направления и продолжающаяся в настоящее время разработка карьеров. Существуют также объекты меньшего масштаба, такие как проселочные дороги, подъездные пути, террасы на склонах холмов и небольшие выемки и насыпи, которые местами совпадают с трассой трубопровода. Антропогенные опасные геологические процессы обычно проявляются в виде потери устойчивости склонов, но, могут также происходить в виде оседания грунта и изменения режима поверхностных и подземных вод вследствие проходки горных выработок.

Строительные работы сами по себе также могут порождать опасные геологические процессы при перемещении строительного оборудования, расчистке полосы отвода, разработке и засыпке траншей, непродуманном воздействии на соседние склоны и отвале вынутого грунта. Любая подобная деятельность может вызвать подвижки грунта, ухудшить грунтовые условия и активизировать древние оползни. Для минимизации этих опасных геологических процессов производится соответствующее проектирование и надзор.

Основные опасные геологические процессы и места их проявления показаны на топографических картах №4 – 11. Эти процессы включают проблемы, вызванные проходкой выработок на севере района (в долине р. Кринка), далее на юг они сменяются интенсивной солифлюкцией, оползнями, отвалами пород (в долине р. Пульки), и, далее, узкими гребнями и неустойчивой размытой насыпью (гряда Лесная).

Подрядчик составил каталог всех опасных геологических процессов на участке работ от км 340 до км 464. Опасные процессы классифицированы как:

Опасный геологический процесс	Уровень риска	Уменьшение опасности проявления
Уровень 1	Низкий	После строительства с использованием типовых решений
Уровень 2	Средний	Во время строительства с использованием типовых решения
Уровень 3	Высокий	Во время строительства с использованием специальных решений

В каталоге опасных процессов предлагаются проектные решения, которые утверждаются компанией Сахалин Энерджи. Выделено 230 участков 1-го уровня риска, 205 участков 2-го уровня и 24 участка 3-го уровня. Участки 3-го уровня риска требуют детального изучения и разработки детальных проектных решений до подготовки продольных планов и профилей. Перечень участков 3-го уровня риска, используемый для детального проектирования, приведен в приложении С. В перечне представлены участки, для которых разрабатываются или будут разработаны специальные проектные мероприятия по снижению воздействия опасных геологических процессов.

Для участков с геологическими процессами 1 и 2 уровней опасности были разработаны нижеследующие типовые чертежи:

1. Берегоукрепление с использованием габионных стенок;
2. Подпорные стены;
3. Противозерозионная защита и дренаж на участках пересечения эрозионных врезов;
4. Противолавинные сооружения;
5. Противозерозионная защита срезанных склонов;
6. Противоселевые сооружения;
7. Берегоукрепление с использованием габионов и матрацев;
8. Дренаж вдоль траншеи трубопровода;
9. Противозерозионная защита полосы отвода;
10. Берегоукрепление с помощью георешеток ;
11. Берегоукрепление каменной наброской;
12. Противозерозионные экраны;
13. Берегоукрепление при помощи габионов матрацного типа;
14. Дренажная траншея по оси полосы отвода.

Во многих случаях для уменьшения опасности геологических процессов 3 уровня предпочтительным решением является изменение трассы. В случае невозможности такой перетрассировки рассматривается полное удаление опасных грунтов. Третьим вариантом является устройство удерживающих сооружений и дренажей.

8.8.6 Специфические грунты

Специфические грунты не встречены ни в Макаровском районе ни где либо еще по трассе трубопровода.

8.9 МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ОПАСНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

8.9.1 Переходы через активные разломы

В предыдущих разделах было указано, что трасса трубопроводов проходит по сейсмоактивным зонам и пересекает активные разломы, способные образовать разрывы на поверхности грунта. Переходы через разломы представляют значительную опасность для заглубленного трубопровода: если во время сейсмического события разрыв выйдет на поверхность, трубопроводу придется противостоять значительным дифференциальным смещениям поперек зоны разрыва.

Трубопроводы пересекают две разломные зоны. Имеется одно пересечение с переход через Горомайским разломом и 18 пересечений в зоне через Ключевского разлома. Последняя разлом проходит в основном параллельно трассе трубопровода Сахалин II на большей его части. В процессе проектирования несколько пересечений с разломами были исключены благодаря изменению трассы. Однако, из-за наличия населенных пунктов и действующих дорог и транспортных коридоров дальнейшее уменьшение числа пересечений представляется невозможным. В таблице 8.6 приведены данные о смещениях по 19 пересечениям.

Обычно предпочтение отдается пересечению с подземной прокладкой трубопровода, так как при этом можно избежать технических решений, связанных с длинными участками незащемленной трубы; это также уменьшает возможность повреждений трубопровода при стороннем воздействии. Обычным проектным решением для переходов через разломы является укладка трубопровода в неглубокую траншею с выположенными стенками и засыпка его рыхлым грунтом для обеспечения подвижности трубопровода в грунте. Однако, постоянное зимнее промерзание грунта на Сахалине диктует необходимость применения для обратной засыпки специальных легких сыпучих материалов и полиэтиленовой пены. Для определения физические свойств этих материалов предусмотрена программа лабораторных исследований. Для проверки проектной концепции сейчас проводятся лабораторные испытания этих материалов на модели трубы в масштабах 1:8 и 1:4. Несмотря на это, из-за сложностей с отводом земельных участков один или два пересечения могут быть выполнены надземно в связи с необходимостью пересечения разлома под неблагоприятным углом. Следует отметить, что 8 разломов, с № 10 по № 17, являются разрывами в пределах висячего крыла Ключевского разлома с относительно небольшими смещениями типа сдвиго-взброс, которые могут быть легко восприняты правильно спроектированным трубопроводом.

Таблица 8.6 Сводная таблица компонентов разрывных смещений

№	Название	Тип разлома	Ближайший ПК	Разрывные смещения по таблице ABSC			
				V ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	T ⁽³⁾	Всего
1 Alt	Горомайский	Правосторонний взбросо-сдвиг	15	1.0	5.4	0.13	5.5
3 ⁽⁴⁾	Ключевской	Взброс	118	2.3			3.3
4	Ключевской	Взброс	180	2.1			3.0--
5 ⁽⁵⁾	Ключевской	Взброс	186	2.5			3.5
6	Ключевской	Взброс	189	0.7			1.0
7	Ключевской	Взброс	209	2.0			2.8
8	Ключевской	Взброс	224	2.0			2.8
9 ⁽⁵⁾	Ключевской	Взброс	301	2.0			2.8
10	Гастеллоовский	Левосторонний сдвига-взброс	302	1.0	-0.5	0.0	1.1
11 ⁽⁵⁾	Восточно-Макаровский	Правосторонний сдвига-взброс	343	0.5	0.5	0	0.7
12 ⁽⁵⁾	Восточно-Макаровский	Правосторонний сдвига-взброс	343	0.5	0.5	0	0.7
13 ⁽⁵⁾	Восточно-Макаровский	Правосторонний сдвига-взброс	343	0.5	0.5	0	0.7
14 ⁽⁵⁾	Восточно-Макаровский	Правосторонний сдвига-взброс	343	1.0	1.0	0	1.4
15	Западно-Макаровский	Правосторонний сдвига-взброс	347	1.5	1.5	0.0	2.1
16	Разлом р. Черная	Левосторонний сдвига-взброс	481	0.5	-0.5	0.0	0.7
17	Разлом р. Кирпичная	Диагональный правосторонний	493	1.0	1.0	0.0	1.4
18 Alt	Ключевской	Взброс	509	2.7			3.8
20 ⁽⁶⁾	Ключевской	Взброс	567	3.0			4.2
21 ⁽⁵⁾	Ключевской	Взброс	569	3.0			4.2

Примечания:

1. V = вертикальное смещение по разлому.
2. S = смещение вдоль простирания разлома (параллельное разлому), положительные значения указывают на правосторонний сдвиг.
3. T = поперечное смещение (перпендикулярно разлому), положительные значения указывают на сжатие.

8.9.2 Методология анализа

Большие напряжения и постоянные деформации трубопроводов допустимы в экстремальных случаях подвижки по разлому при условии, что сохраняется герметичность трубы. Методология оценки трубопроводов, испытывающих воздействие больших деформаций грунта описана в двух современных руководствах: конструктивное руководство, подготовленное

ASCE (1984), после которого было выпущено усовершенствованное руководство, подготовленное Хоннегером и Ниманом (Honegger, Numan, 2004) для PRCI. Эти документы используются при анализе всех пересечений.

Анализ заглубленного трубопровода, подверженного воздействию поверхностного разрывного нарушения, производится с учетом жесткости трубопровода, нелинейного характера изменения окружающих грунтов, а также влияния большого смещения. Взаимодействие грунта и трубопровода моделируется дискретными нелинейными пружинами, ориентированными в осевом, горизонтальном и вертикальном направлениях. Методология расчета грунтовых пружин хорошо обоснована (ASCE, 1984; ALA, 2001). Смещение по разлому моделируется как подвижка основания грунтовых пружин на одной стороне разлома - см. идеализированную модель на Рис. 8.13. Расчетные значения защемления грунтом (пружиной) должны соответствовать натурным условиям. В частности, для поперечного горизонтального смещения трубопровода, призма разрыва грунта не должна выходить за пределы траншеи трубопровода, заполненной подобранным материалом. Размеры траншеи должны быть такими, чтобы эта призма могла в ней поместиться. Аналогично, в случае вертикальной подвижки смещение трубопровода вверх должно происходить в пределах заданной обратной засыпки.

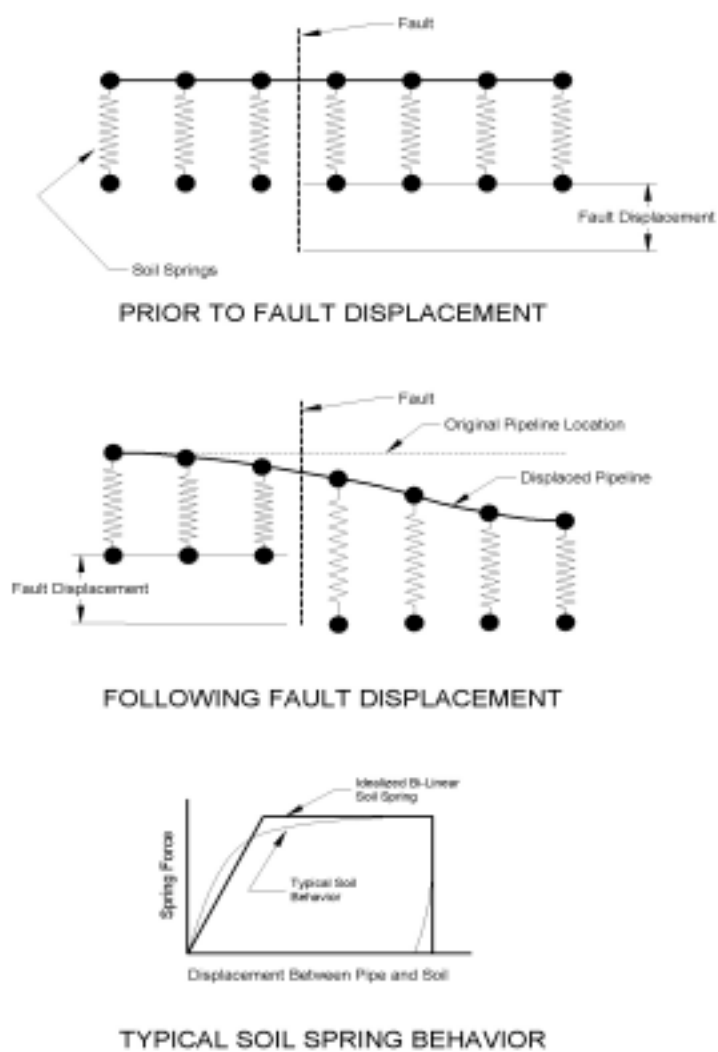


Рис. 8.13. Характеристики грунтовых пружин, используемых для моделирования сжатия грунта.

Компоненты смещений по разлому

Смещение грунта по разлому описывается сдвигом (параллельным разлому), сжатием (перпендикулярным разлому), а также вертикальной составляющей смещения. Компоненты смещений по разлому определяются в соответствии с типом разлома и азимутом его простирания относительно направления оси главного регионального геологического напряжения. В соответствии с пояснением, данным компанией ABS, компоненты смещений для взбросов определяются следующим образом:

1. Горизонтальная составляющая смещения считается равной вертикальной составляющей, что соответствует углу падения разрыва 45° и ориентирована в направлении главного регионального сжатия, ориентированного СВ 70° согласно оценкам ABS;
2. Продольные и поперечные составляющие смещения определяются соответственно как косинус и синус угла между локальным¹ азимутом разлома и региональным азимутом напряжения.

Концепция регионального напряжения не применяется к сдвигам или сдвиго-взбросам; для этих разломов используются табулированные значения смещений по разломам, что подразумевает почти вертикальный угол падения.

Был проведен анализ для определения наиболее благоприятных углов пересечения для различных типов разломов, который показал, что азимут трубопровода должен находиться где-то в пределах $126^\circ - 194^\circ$. Для того, чтобы обеспечить наиболее благоприятные углы пересечения в конкретных местных условиях, на участках пересечений произведены локальные перетрассировки трубопроводов .

Допустимые деформации трубопровода

Трубопровод, в момент смещения на разломе, испытывает нагрузки со стороны грунта,двигающегося относительно трубопровода. После того, как смещение трубопровода сравнялись с подвижкой грунта, грунт перестает оказывать нагрузку на трубопровод. Данный тип нагрузки обычно называется нагрузкой, с контролируемым смещением. Для трубопроводов, испытывающих такие нагрузки, проектирование следует производить по предельным деформациям, а не по предельным напряжениям.

Расчет по предельным деформациям для оценки способности трубопровода под давлением выдерживать смещения на разломах допускает пластические деформации и повреждения трубопровода при обеспечении его целостности. Смещение по разлому является очень маловероятным событием за 30-летний период эксплуатации трубопровода, так как, согласно данным полевых исследований, смещения по поверхностным

¹ Локальным азимутом разлома является простирание приразломного уступа на участке пересечения с трубопроводом. Приразломные взбросовые уступы обычно изменяют свое простирание в зависимости от положения в рельефе.

разрывам в зонах разломов, влияющих на трубопровод, имеют период повторяемости в сотни лет.

Существует много примеров использования сильно деформированных сварных труб с барж-трубоукладчиков при укладке подводных трубопроводах диаметром до 457 мм (18 дюймов). Допускаемая деформация изгиба (при растяжении и сжатии) в трубе, намотанной на катушку составляет порядка 2%, и только изредко отмечалось их повреждение. Стальные трубопроводы, сооружаемые из труб средней прочности и удовлетворяющие критериям по сварке и приемочному контролю аналогичным морским трубопроводам обычно позволяют достигать уровня деформации при растяжении в 4 % до момента потери герметичности.

Натурные комбинированные испытания на осевое сжатие и изгиб, а также дополнительный анализ методом конечных элементов, были проведены во многих университетах и исследовательских организациях. Максимальная деформация, достигнутая во время этих испытаний, была получена из опубликованных статей и отчетов, и был построен график ее изменений в зависимости от отношения диаметра к толщине, D/t (см. Numan et al., 2003). Результаты показывают, что предельные проектные деформации находятся намного ниже уровня разрушения.

Сварка и контроль качества

Величина допустимых деформаций основана на предположении, что кольцевые сварные соединения трубопроводов должны выдерживать напряжения вызывающие пластические деформации металла трубы. Эта способность, часто называемая «усиленный шов», означает, что труба разрушится раньше, чем разрушится шов или участок трубы, подвергающийся термическому воздействию при сварке. Это значит, что свариваемый участок имеет большую прочность на растяжение, чем труба. Были разработаны соответствующие инструкции по сварке, позволяющие достигать «усиленных швов». Все сварные соединения на участках переходов через разломы будут подвергнуты специальному неразрушающему контролю для подтверждения соответствия сварных соединений критерию «усиленный шов».

Обзор концепции проектирования переходов через разломы

При проектировании пересечений трубопроводов с разломы используется современная практика устройства переходов путем укладки трубопровода в неглубокую траншею с выположенными стенками и рыхлым грунтом обратной засыпки для обеспечения трубопроводу возможности перемещаться поперек траншеи и вверх при внезапных подвижках по разлому. Трубопровод может испытывать высокие напряжения и постоянные деформации при условии недопущения разрыва трубы. Риск повреждения трубопровода считается приемлемым, в случае, если может потребоваться его ремонт при обеспечении его целостности (т.е., при отсутствии разрывов и утечки перекачиваемого продукта). Специальный анализ и лабораторные испытания проводятся с тем, чтобы учесть

возможное промерзание грунта. Трубопроводы воспринимают смещения грунта, смещаясь вбок и вверх из траншеи.

Промерзание грунта может учитываться несколькими способами, которые изучаются в настоящее время:

- Устройство изолирующего слоя для ограничения оттока тепла в атмосферу, для предотвращения промерзания грунта. Дренаж грунта обратной засыпки для уменьшения возможности промерзания.
- Укладка синтетического материала на дно и откосы траншеи для уменьшения сопротивления при его перемещении в грунте.
- Использование в качестве грунтов обратной засыпки непромерзающих материалов с небольшим удельным весом, таких как синтерированной зола. Предлагаемая засыпка создает низкую заземляющую способность из-за меньшего удельного веса и менее подвержена промерзанию.
- Использование блоков из полистирола или других материалов, которые при разрушении или перемещении, позволят трубопроводу перемещаться в траншее покрытой геотекстилем. Например, полистирол использовался за подпорными стенками и на склонах из-за его небольшого удельного веса и, следовательно, незначительного влияния на устойчивость.
- Использование коленообразной конфигурации трубопровода для снижения сжимающих нагрузок, которые могут привести к значительным деформациям и, возможно, к потере местной устойчивости трубопровода. Сжимающие нагрузки уменьшаются в результате перемещения трубопровода в месте установки колена (аналогично компенсатору).
- В качестве последнего варианта рассматривается надземная прокладка трубопровода, позволяющая воспринимать большие смещения на разломах. Такие конструкции менее чувствительны к конфигурации пересечения, при условии, что трубопровод имеет коленообразные или Z-образные участки, позволяющие компенсировать тепловое расширение и смещение по разрыву вдоль оси трубопровода.

Схемы участка с коленообразным изгибом и траншеи с засыпкой сыпучим материалом и изоляцией показаны на Рис. 8.14 и 8.15.

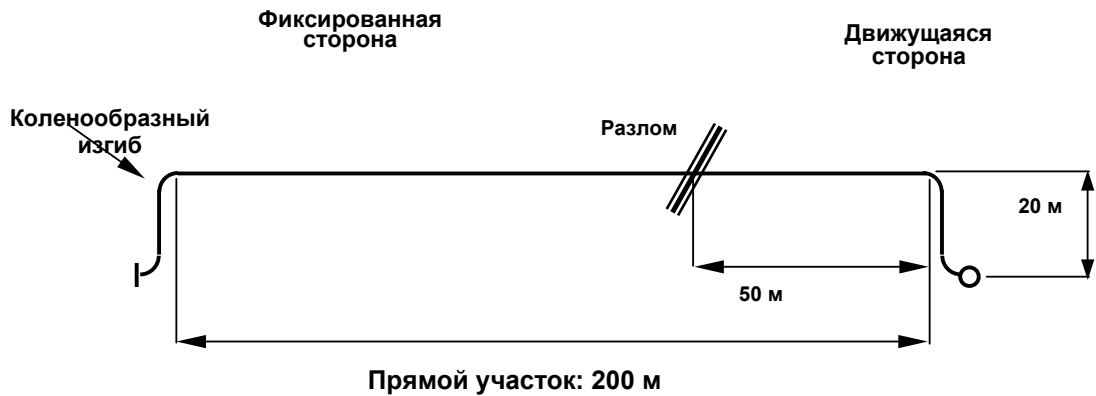


Рис. 8.14. Схема участка трубопровода пересекающего разлом

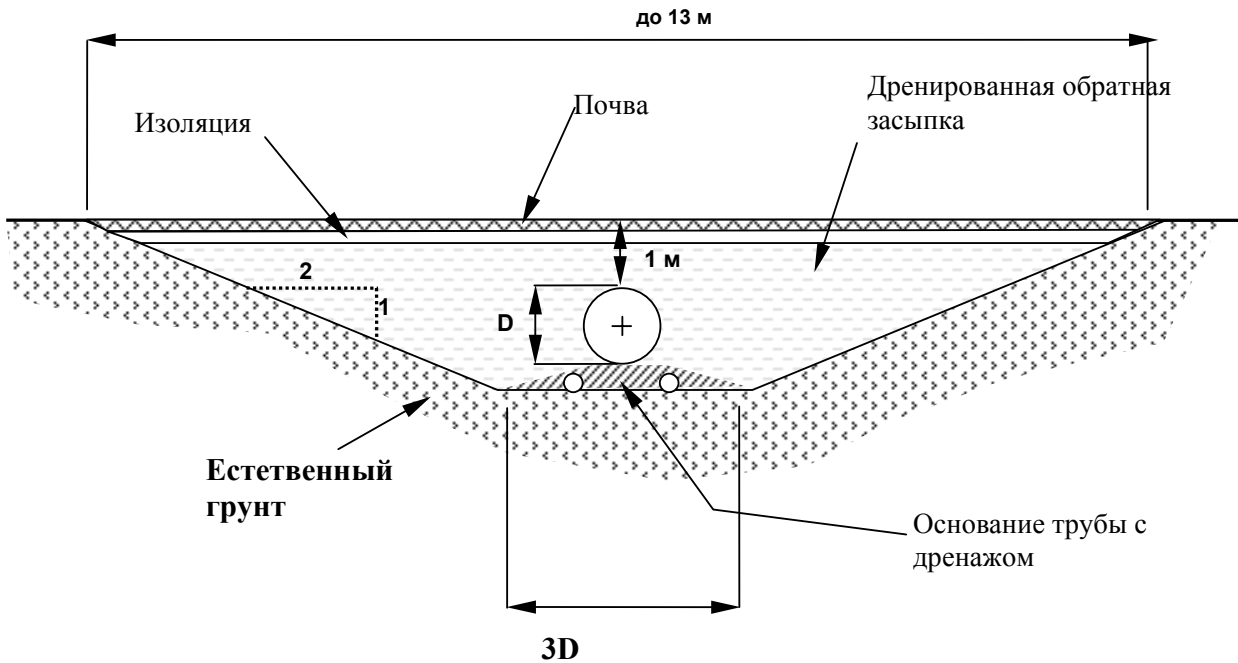


Рис. 8.15. Схема трапецевидного поперечного сечения траншеи

8.9.3 Сейсмические воздействия

Воздействие сейсмических колебаний на трубопровод

Упрощенный подход к оценке деформации грунта представлен в (ASCE, 1984). Этот подход был проверен и включен в последние руководства (ALA,

2001) рабочей группой ASCE/ASME, финансировавшей American Lifelines Alliance. Подземные трубопроводы подвергаются кратковременным деформации, вызванными деформациями грунта, из-за распространения сейсмических колебаний. Так как перемещения трубы ограничены, то деформации, возникающие в трубах при распространении сейсмических колебаний, аналогичны деформациям, возникающим от других постоянных подвижек грунта. То есть, деформация трубы ограничена деформацией грунта. Предел допустимых деформаций растяжения и сжатия трубопроводов при прохождении сейсмических волн составляет 0.5%. Сейсмические колебания не влияют на подземные нефте- и газопроводы, находящиеся в удовлетворительном техническом состоянии. Это подтверждается отсутствием случаев разрушения нефте- или газопроводов с качественными сварными соединениями под воздействием сейсмических колебаний. Недавнее землетрясение (Honegger, 1999) показало, что сейсмические колебания может представлять опасность для трубопроводов только в случаях крайне плохого качества сварных швов или коррозии в случае очень сильных сейсмических колебаниях грунта.

Воздействие сотрясений грунта на надземные объекты

Сотрясение грунта в результате землетрясения вызовет динамическую сейсмическую нагрузку на надземные сооружения трубопровода. Типичными такими объектами для трубопроводов проекта Сахалин II являются здания, сооружения, корабли, хранилища жидкостей, трубы, механическое и электрическое оборудование, системы контроля, измерительное оборудование и коммуникации. Антисейсмическое проектирование объектов трубопровода производится согласно типовым строительным нормам, например, Унифицированным строительным нормам и правилам (UBC) (ICBO, 1997) и недавно заменившим их Международным строительным нормам и правилам (ICC, 2003). Будет уделено внимание обеспечению работоспособности систем мониторинга, контроля, безопасности и аварийных систем. Примерами наиболее ответственных систем являются: аппаратура для мониторинга, аппаратура связи, вычислительная техника, оборудование обеспечивающее дистанционное управление запорной арматуры, системы аварийного энергоснабжения и источники бесперебойного питания.

8.9.4 Разжижение

Для оценки опасности разжижения грунтов вдоль трассы трубопровода использовался системный подход. На первом этапе участки, сложенные потенциально разжижаемыми грунтами выделялись по геологическим данным. По трассе трубопровода Сахалин II такие грунты встречаются в первую очередь в руслах водотоков и на побережье. Если по геологическим данным речное русло или другой участок сложены неразжижаемыми грунтами, данный переход или участок классифицировался как неопасный, и процесс проверки заканчивался. В 2001 г. на таких участках осуществлялась программа работ по спектральному анализу поверхностных волн (САПВ). Если геологическая проверка показывала, что на каких-то участках возможно разжижение грунтов, производились инженерно-геологические исследования в скважинах и конусные пенетрационные испытания (при наличии соответствующего оборудования) для оценки их разжижаемости.

При этом использовались общепризнанные методики таких исследований. При недостатке или отсутствии данных о подстилающих грунтах делались обоснованные предположения с учетом геологического строения рассматриваемого участка. В 2004 г. подрядчик по проектированию и строительству выполнил дополнительные конусные пенетрационные испытания.

На основе этих данных определена разжижаемость грунтов вдоль трассы трубопровода и выделены участки, подверженные этому явлению, на которых следует предусмотреть мероприятия по минимизации последствий. Перечень участков с разжижаемыми грунтами представлен в таблице в Приложении 8А.

В пределах первого сегмента зоны высокого риска составляют относительно большую часть трассы трубопровода. Это связано с преобладанием водонасыщенных песчаных образований в сочетании с высокими значениями пиковых ускорений .

В пределах третьего сегмента количество опасных участков по трассе трубопровода, где возможно разжижение грунта, значительно меньше. Они в основном приурочены к руслам и старицам (современным рыхлым аллювиальным отложениям).

Течение грунта

Течение грунта является наиболее катастрофическим типом остаточных деформаций грунта, вызываемых разжижением. Оно происходит на крутых склонах (круче 6% или 3.5°), сложенных рыхлыми разжижаемыми грунтами и характеризуется большими горизонтальными перемещениями (на расстояние в несколько метров и больше), а также сильным разрушением внутренней структуры грунта. Сооружения, расположенные на поверхности или внутри разжиженного грунта обычно сильно разрушены и часто разбиты трещинами и перемещены. Однако вдоль трассы трубопроводов Сахалин II участки с разжижаемыми грунтами на склонах крутизной более 6% обнаружены не были. Небольшие участки с течением грунта могут встречаться на крутых берегах рек, но их влияние на трубопровод невелико, так как он заглублен на переходах через реки.

Латеральное растекание грунта

Латеральное растекание на участках распространения разжижаемых грунтов оценивалось с помощью регрессионного уравнения на основе статистической глобальной базы данных по наблюдениям за разжижением во время крупных землетрясений (Youd et al, 2002). Регрессионное уравнение применяется для двух основных ситуаций: для “свободной поверхности”, т.е. крутосклонных образований, таких как берега водотоков, и для пологих склонов.

Опасность бокового растекания грунта на переходах через реки уменьшается путем выбора таких трасс, по которым поперечное смещение трубопровода сводится к минимуму, а его способность противостоять продольным смещениям полностью сохраняется. Кроме того, трубопровод

помещается ниже зон максимального латерального растекания, чтобы не подвергаться воздействию наиболее значительных деформаций грунта.

На переходах через водотоки на участках распространения разжижаемых грунтов трубопровод прокладывается горизонтально под руслом водотока так, чтобы расстояние между дном водотока и верхом трубы было не меньше 1.5 м. Такая глубина обычно сохраняется на расстоянии 30 м за пределами берегов водотока, после чего трубопровод с уклоном 1:10 переходит на нормальную глубину заглубления.

При анализе этого опасного процесса важными исходными данными являются расстояние от разлома и магнитуда землетрясения, возможного в зоне этого разлома. На основе деагрегационного анализа опасности сейсмических воздействий в Меморандуме ABSC 2005 года рекомендуется принимать консервативное значение магнитуды $M_w = 6.5$ на всем протяжении трубопровода. Реальное расстояние от трубопровода до разлома не превышает 30 км. Для любой точки, расположенной на расстоянии больше 30 км, принимается расстояние в 30 км, для которого минимальное значение пикового ускорения грунта составляет 0.11g.

Нелинейный анализ методом конечных элементов, подобный анализу, выполненному для переходов через разломы, будет производиться для предельных условий на участках с разжижаемыми грунтами чтобы подтвердить работоспособность трубопровода для проектных деформационных критериев. Трубы и сварные швы должны обеспечивать работу трубопровода в условиях больших деформаций.

Всплытие

Трубопроводы и другие легкие подземные сооружения могут всплывать при разжижении окружающих грунтов. В большинстве ситуаций вдоль трассы трубопровода Сахалин II правильно спроектированные стальные трубы могут испытывать некоторые вертикальные подвижки, особенно при их распределении на большом протяжении трубопровода, без превышения прочности труб на изгиб. При необходимости могут применяться следующие меры для ослабления опасности всплытия сооружений:

- Обратная засыпка трубы неразжижаемым грунтом;
- укладка трубопровода ниже разжижающегося слоя для устранения любой опасности, связанной с разжижением грунтов;
- Использование бетонных пригрузов, аналогичных тем, которые применяются при прокладке трубопроводов на поймах и в болотах для противодействия их всплытию.

8.9.5 Неустойчивость грунтов и оползни

8.9.5.1 Мероприятия по снижению воздействия опасных геологических процессов

В предыдущих разделах описан широкий диапазон опасных геологических процессов. Защитные мероприятия делятся на 4 группы:

- обход опасных участков или устранение опасности;
- земляные работы (мелиорация, закрепление, перераспределение нагрузок, удерживающие сооружения);
- закрепление поверхностных грунтов;
- дренаж.

Перетрассировка является самым простым инженерным решением, применяемым на участках, протяженностью от 100 м и менее до нескольких километров. Однако, во многих случаях этот способ применять нецелесообразно, и следует использовать другие решения. В Таблице 8.7 представлены потенциально опасные геологические процессы и возможные защитные мероприятия, что позволяет подрядчику в стандартных ситуациях использовать типовые решения. Данная таблица может использоваться как пособие для оценки проектных решений и их стоимости, а также для выделения участков, на которых требуется применять специальные нетиповые решения.

Таблица 8.7: Потенциально опасные геологические процессы и возможные меры минимизации их последствий

Категория опасности			Мероприятия		
Природная неустойчивость склонов	1A	Попятная эрозия	Обход	1a	Перетрассировка
	1B	Солифлюкция		1b	Заглубление
	1C	Оплывины		1c	Увеличение расстояния между трубопроводами
	1D	Оползни		1d	Уменьшение расстояния между трубопроводами
	1E	Блоковые оползни		1e	Отвод водотока
Потенциальная неустойчивость	2A	Узкий гребень	Земляные работы	2a	Выемка / Замещение
	2B	Косогорный участок		2b	Уплотнение
	2C	Насыпной грунт		2c	Анкеровка
	2D	Свалки и отвалы		2d	Террасирование
Связанные со строительством	3A	Слабый грунт		2e	Габрионная / ряжевая стена
	3B	Горная выработка		2f	Бетонная подпорная стена
	3C	Переход через водоток		2g	Шпунтовые сваи
	3D	Близость к руслу		2h	Обратная засыпка грунта
	3E	Последствия разработки недр		2j	Упорные призмы
				Закрепление поверхностных грунтов	3a
			3b		Биологическая рекультивация
			3c		Габрионная сетка / маты
			3d		Торкретирование
			Устройство дренажа	4a	Поверхностный дренаж
				4b	Подземный дренаж

8.9.5.2 **МОНИТОРИНГ И надзор за строительством**

В процессе проектирования может возникнуть необходимость мониторинга на сложных участках проявления опасных геологических процессов, которые нельзя обойти за счет изменения трассы трубопровода. Ниже приводится перечень оборудования, используемого при мониторинге, который, при необходимости, может быть расширен:

- поверхностные марки и репера используемые для высокоточной съемки;
- инклинометры;
- пьезометры;
- наклонометры;
- датчики измерения деформаций (грунта и/или трубопровода);
- регистраторы акустической эмиссии;
- волоконная оптика.

Подрядчик должен разработать руководство по мониторингу опасных геологических процессов, осуществляемому после ввода трубопровода в эксплуатацию, в котором должны быть подробно описаны все виды мониторинга и обследования и содержаться рекомендации по интерпретации данных, особенно в отношении уровней срабатывания для принятия соответствующих мер по защите трубопроводов.

8.9.5.3 **Примеры участков**

Для иллюстрации особенностей некоторых встречающихся опасных геологических процессов и соответствующих потенциальных мер по снижению их воздействия ниже кратко рассмотрены два участка: долина р. Кринка, где проявляются последствия добычи угля, и долина р. Пулька с разнообразными проявлениями склоновых процессов.

Р. Кринка

Этот участок показан на карте 4 и расположен на севере Макаровского участка трассы. В геологическом строении принимают участие тонкослоистые алевролиты и алевролиты, местами карбонатные, с прослоями угля от небольшой до средней мощности и редкими прослоями песчаника средней мощности. Слои почти вертикальные, так что в результате неравномерной эрозии более прочных песчаников и слабых аргиллитоподобных пород образовались субмеридиональные гребни.

Первоначальный створ трубопровода пересекал крупный селевой очаг, направленный на восток от заброшенного карьера к р. Кринка. Сели зарождаются на конце отвала вблизи карьера, но, похоже, вовлекают и естественный грунт. В головной части очага в карьере сформировалось

озеро подпруженное отвалом. Мощность селевых отложений оценивается в несколько метров, при высокой вероятности последующих перемещений грунта на этом участке. Было сделано заключение, что при прокладке трубопровода по первоначально намеченной трассе возникнут сложности, преодолеть которые будет невозможно без выполнения очень большого объема дорогостоящих инженерных работ с последующими долговременными эксплуатационными расходами.

В результате, Подрядчик предложил перенести трассу на запад выше по склону от озера и ограничивающего его высокого борта заброшенного карьера. Компания Scott Wilson также изучила участок и выделила еще одно возможное положение трассы еще немного западнее (см. карту 1), но Подрядчик остановился на первом варианте. Это новое положение трассы было временно принято Сахалин Энерджи с условием проведения последующих изысканий с проходкой траншей и с тем, чтобы Подрядчик выполнил проектирование для демонстрации жизнеспособности этого варианта. Эти работы включают изыскания и оценку:

- грунтовых условий вдоль нового участка трассы;
- видимых проявлений шахтных выработок, т.е. просадок грунта;
- предлагаемых мероприятий на крутопадающих, в различной степени выветрелых слоях горных пород, ориентированных под углом к трассе;
- устойчивости откоса уступа;
- риска образования новых селей в существующем очаге с подпруживанием, прорывом и последующей очисткой русла р. Кринка, с учетом спуска подпрудного озера и его возможных последствий;
- общее укрепление берегов р. Кринка и следующего к югу перехода через ручей, стабилизация соседних склонов.

В целом меры по минимизации последствий опасных процессов в этом районе включают производство большого объема работ по всем четырем категориям, а именно: перетрассировки, земляные работы, закрепление поверхностных грунтов и дренаж.

Р. Пулька

Этот участок также показан на карте 4 и расположен немного южнее долины р. Кринка.

Река Пулька течет примерно с севера на юг по асимметричной долине, с более пологим западным и обрывистым восточным бортами. Трасса проходит по западному борту или по днищу долины. Коренные породы представлены падающими на восток чередующимися слоями аргиллитов и песчаников плиоцен-миоценового возраста. На западном борту и в русле коренные породы не встречены. На восточных склонах обнажается чередование глинистых и песчанистых пачек. На более низких западных склонах преобладают грубозернистые аллювиальные отложения, вероятно,

речных террас. Более низкий уровень занимает выровненная пойма. Материал террас западного склона (переработанный грубый коллювий/щебень) был вероятно размыв, перенесен и отложен во время гораздо более влажного периода в плейстоцене.

Поверхность террас/конусов выноса часто холмистая, со следами подвижек грунта, вряд ли охватывающих толщю большой мощности. Скорее они вызваны процессами промерзания и оттаивания. В основании отложений верхней террасы проходит большая мочажина. Отмечен участок неглубокого, вероятно, реликтового сползания. Анализ аэрофотоснимков и полевые обследования подтвердили наличие оползневых и селевых отложений, принесенных с водосборных площадей вышерасположенных притоков р. Пульки. Большая часть этих отложений представляет собой мелкозернистые осадки, а активные подвижки вероятно имеют место только в верхнем слое, подверженном солифлюкции.

Была предложена перетрассировка в обход обрыва террасы и возможных опасных участков, выявленных по аэрофотоснимкам, но в этом случае трасса окажется на более влажной пойме. Целесообразность и гидрогеологические/экологические последствия прокладки трассы по нижней части долины вблизи реки сейчас исследуются.

Этот участок трассы проходит по коридору с уязвимыми инженерно-геологическими и экологическими условиями. Меры по снижению последствий опасных воздействий будут, вероятно, включать частичное изменение расположения трассы, земляные работы, закрепление поверхностных грунтов и дренаж.

8.9.5.4 Грунтовые условия

Так как участки со сложными грунтовыми условиями в этом районе отсутствуют, специальные меры по ослаблению опасности воздействия геологических процессов или мониторинг не требуются.

8.10 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Abrahamson, N.A. and W. Silva (1997) Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes. *Seismological Research Letters*, Vol. 68, p. 94-127.

ABSC [EQE] (2000) Validation of State Association Fault Studies Along the Trans-Sakhalin Island Pipeline Route and Development of Fault Displacement Parameters for Engineering Applications. *Report Prepared for Marathon Upstream Sakhalin Services, LTD.*, 81 p. + Appendices.

ABSC (2002) Seismic Hazard Reassessment of the Piltun, Lunskeye, and TLU Offshore Sites, Sakhalin Island, Russia. *Report prepared for AMEC Offshore Services Limited*, by ABS Consulting, Lakewood, Colorado, 99 p.

ABSC (2003). "Seismic Hazard Sensitivity Testing Results", *Report prepared for Sakhalin Energy Investment Company, Ltd.*, by ABS Consulting, Lakewood, Colorado, 15 p.

ABSC (2005) Review and Resolution of Active-Fault Geological Displacements for the Sakhalin II Export Pipeline Project. *Report prepared for Sakhalin Energy Investment Company, Ltd.* by ABS Consulting, Lakewood, Colorado, 130 p plus Appendices.

ALA (American Lifelines Alliance) (2001) Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe, G.A. Antaki and J.D. Hart, Co-Chairmen, July, 76 p.

Apel, E V, R. Burgmann, M. Mikhail, R. King, N.F. Vasilenko, V.I. Levin, G.M. Steblou, D.I. Forlov, A.I. Ivaschenko, and Y.I. Gordeyev (2004) Active Tectonics of Northeast Asia: Using Block Modelling to Test Okhotsk Plate Motion Independent from North America, *Abs Eos. Trans. AGU, Vol. 85, No. 28, Western Pacific Geophysics Meeting Supplement, Abstract T344A-06.*

ASCE (American Society of Civil Engineers) (1984) Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems. *Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines*. New York, 473 p.

American Society of Mechanical Engineers (1992) ASME B31.1 – Power Piping, Appendix VII, Non-mandatory Procedures for the Design of Restrained Underground Piping.

Ben-Avraham, Z., and Uyeda, S. (1983) Entrapment Origin of Marginal Seas, in T.W. Hilde, and S. Uyeda (eds) *Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region*, AGU/GSA *Geodynamics Series*, Vol. 11, p. 413-422.

Besstrashnov, V.M. and A.L. Strom (1998) Traces of Prehistoric Earthquakes Along the Hokkaido-Sakhalin Fault, Northern Sakhalin. *8th International IAEG Congress*, Balkema, Rotterdam, p. 697-702.

Besstrashnov, V.M., H. Goto, G. Kimura, A.I. Kojurin, K. Okumura, M.I. Streltsov, A.L. Strom, Y. Suzuki, H. Tsutsumi, T. Ueki, and H. Watanabe (1999) Evidences

of Strong Past Earthquakes Along the Major Sakhalin Faults: Implications for Seismic Hazard. *Journal of Geology*, Series B, No. 13-14, p. 287-291.

Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У., Сергеев К.Ф., Стрельцов М.И., Кожурин А.И., Бесстрашнов В.М., Стром А.Л., Сузуки И., Цуцуми Х., Ватанабе М., Уеки Т., Шимамото Т., Окумура К., Гото Х., Кария И., (2002). Активные разломы Сахалина. Геотектоника, 36, 227-246.

Campbell, K.W. (1995) Preliminary Empirical Assessment of Near-Source Ground Motion From the *Mw* 6.7 Northridge, California, Earthquake of January 17, 1994. *Seismological Research Letters*, Vol. 66, 2, p. 27.

Dames and Moore (1998) Seismic Hazard Assessment for Proposed LNG Terminal and Adjacent Oil Terminal at Prigorodnoye, Aniva Bay, Sakhalin Island, Russia.

D J Nyman & Associates (2001) Review of Earthquake –Induced Landslide Hazards, Sakhalin Pipeline.

EQE (2000) Validation of State Association 'Rosstroizyskaniya' Fault Studies Along the Trans-Sakhalin Island Pipeline Route and Development of Fault Displacement Parameters for Engineering Applications. *Report Prepared for Marathon Upstream Sakhalin Services Limited*, 81p. + Appendices.

EQE International, Inc. (1996a) Seismic Hazard Assessment of Selected Oil and Gas Facilities on Sakhalin Island, Russia, Phase 1: Seismotectonic Characterization. *Report prepared for Sakhalin Energy Investment Company, Ltd.*, Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Island Russia, and Exxon Neftegas Ltd., Houston, Texas, by EQE International Inc., Evergreen, Colorado.

EQE International, Inc. (1996b) Seismic Hazard Assessment of Selected Offshore and Onshore Oil and Gas Facilities on Sakhalin Island, Russia, Phase 2: Seismic Design Criteria for the Piltun-Astokhskoye, Lunskeye, and Katangli Facility Sites. *Report prepared for Sakhalin Energy Investment Company, Ltd.*, by EQE International Inc., Evergreen, Colorado.

ФГУП Росстройизыскания, ООО "Инжзащита". (2004 г.) Внутренний отчет по результатам инженерной съемки: проектирование и строительство экспортных трубопроводов в оползневых районах на третьем и четвертом сегментах трассы от ПК 341 до ПК 381.

Fournier, M., L. Jolivet, P. Huchon, K.F. Sergeev, and L.S. Ocorbin (1994) Neogene Strike-Slip Faulting in Sakhalin and the Japan Sea Opening. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, p. 2701-2725.

НИЦ "Геориск" (2001) Сейсмическое микрорайонирование участка завода СПГ, Проект Сахалин-2. 2-я редакция

Goodling, E.C. (1991) Restrained Underground Piping – Some Practical Aspects of Analysis and Design. *Proceedings of the Third U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph No. 4, American Society of Civil Engineers*, pp. 395-404.

Hadjian, A.H. and D.M. Hadley (1981) Studies of Apparent Seismic Wave Velocity. *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, American Society of Civil Engineers.*

Honegger, D. G. (1999) Assessment of Wave Propagation Effects on a 1925 Pipeline with Oxyacetylene Girth Welds. *Proceedings of the 5th National Conference on Lifeline Earthquake Engineering, American Society of Civil Engineers, August.*

Honegger, D. G., and D. J. Nyman, (2004) Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines. *Report prepared for the Pipeline Design, Construction & Operations Technical Committee of Pipeline Research Council International, Inc., PRCI Catalogue No. L51927.*

ICBO (International Conference of Building Officials) (1997) The Uniform Building Code, 1997 Edition, Whittier, California.

ICC (International Code Council) (2002) International Building Code 2003, Falls Church, Virginia.

Intera Corporation (1991) Geological Map of Sakhalin; Map Compilation and Explanatory Notes, 3 Plates, Scale 1:500,000, 33 p.

Инжзащита (2004 г.) Результаты инженерных изысканий для трассы трубопровода Сахалин II, оползневые процессы. Книга 1, ПК 322-362

Jolivet, L., T. Kensaku, and M. Fournier (1994) Japan Sea, Opening History and Mechanism: A Synthesis. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, Number B11, p. 22,237-22,259.

Mohareb, M. E., A. E. Elwi, G. L. Kulak, and D. W. Murray (1994) Deformational Behaviour of Line Pipe. *Structural Engineering Report 202, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Canada.*

Нефтегорское землетрясение 27 (28).05.1995 г. 1995. Федеральная Система Сейсмологических Наблюдений и Прогноза Землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск. М., 236 с.

Nyman, D. J., D. G. Honegger, and P. C. Thenhaus (2003) Considerations for the Design of Buried Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipeline Fault Crossings. *Proceedings of the 6th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering (Advancing Mitigation Technologies and Disaster Response)*, Long Beach, CA, TCLEE, ASCE pp. 744-756.

Оскорбин, Л.С., А.А. Поплавский, Б.Н. Занюков (1967 г.) Ногликское землетрясение 2 октября 1964 г.", Южно-Сахалинск. Сахалинский комплексный исследовательский институт Академии наук СССР.

Росстройизыскания (1998 г.) Сейсмическое микрорайонирование, Южно-Сахалинск, Москва.

Saipem (2003) Sakhalin II Phase 2 Development Project, Offshore Pipelines and Cables, Seismic Design Data Report prepared for Sakhalin Energy Investment Company, Ltd.

Sadigh, K., C.-Y. Chang, J.A. Egan, F. Makdisi, and R. R. Youngs (1997) Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data. *Seismological Research Letters*, Vol. 68, p. 180-189.

Scott Wilson (2001) Pipeline Route and Slope Stability Study.

Scott Wilson (2002) Pipeline Route and Slope Stability Study – Phase 2.

Scott Wilson, Starstroi, (2004) Landslide Hazard (Makarov Area) – Кр 339-379 (new): Review of Inzhaschita Report (2003 Surveys).

Scott Wilson (2005) Sakhalin 2 Phase 2 – Technical Support for Pipeline Route Feasibility and Slope Stability Study: Review Report 01 – Final.

Seno, T. (1995) The Neftegorsk Earthquake as the Intraplate Event: Tectonic Interpretation, in The May 27(28) 1995 Neftegorsk Earthquake”, *Informational-Analytical Bulletin of FSSO*, Special Issue, October 1995, R.P. Laverov, ed., p. 135-138.

Seno, T., T. Sakurai, and S. Stein (1996) Can the Okhotsk Plate be Discriminated from the North American Plate?. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, p. 11,301-11,315.

Shimamoto, T., M. Watanabe, Y. Suzuki, A.I. Kozhurin, M. Strel'tsov, and E, Rogozhn (1996) Surface Faults and Damage Associated with the 1995 Neftegorsk Earthquake. *Journal of the Geological Society of Japan*, Vol. 102, p. 894-907.

Соловьев, С.Л., Н.Н. Ленов, Л.С. Оскорбин, Л.Ф. Волкова, Е.А. Воробьева, (1973 г.) Монеронское землетрясение 5-6 сентября 1971 г. *Докл. Росс. Акад. Наук, Науки о Земле*, Том 212, №. 1, с. 3-6.

Стельцов, М.И., Рождественский, В.С. (1995 г.) Активные разломы в Курильско-Охотском регионе, на Сахалине и на Дальнем Востоке, в Сейсмичность и сейсмическое районирование северной Евразии, Москва: Инст. Физики Земли, Росс. Акад. Наук, с. 387-407.

Starstroi, (2002) Definition Engineering Report (5000-Y-90-01-T-0001).

Starstroi (2004-a) Том 9. Оценка сейсмической опасности. Книга 2. Оценка кинематики активных разломов. *Sakhalin II Project, Phase 2, EPC Contract H-00244, Onshore Pipelines*, 98 p. Plus Plates.

Starstroi (2004-b) Engineering Survey: Landslide Areas. Spread 3 and 4 from Кр 339 to Кр 464. Detail Design Phase.

Sylvester (1988) Strike-Slip Faults. *Geological Society of America*, Vol. 100, p. 1666-1703.

URS Corporation (2002) Seismic Hazard Analysis and Development of Seismic Design Spectra for Proposed Onshore Processing Facility, Sakhalin Island, Russia. *Prepared for Shell International Oil B.V.*

Walker, A. C. and K. A. Williams (1995) Strain Based Design of Pipelines. *Proceedings of the 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 5, American Society of Mechanical Engineers, pp. 345-350.

Youd, T.L., C.M. Hansen, and S.F. Bartlett (2002) Revised Multilinear Regression Equations for Prediction of Lateral Spread Displacement. *J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, December, Vol. 128, no. 12, pp. 1007-1017.

Youd, T.L., and D.M. Perkins, 1978. Mapping of liquefaction induced ground failure potential: American Society of Civil Engineers. *J. Geotechnical Engineering Division*, Vol 104, no. GT4, p. 433-446.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8А

**ПЕРЕЧЕНЬ УЧАСТКОВ ВДОЛЬ ТРАССЫ ТРУБОПРОВОДА,
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХСЯ НАЛИЧИЕМ СЛОЕВ ВОДОНАСЫЩЕННОГО ПЕСЧАНОГО
ГРУНТА, КОТОРЫЕ ПОДВЕРЖЕНЫ ЯВЛЕНИЮ РАЗЖИЖЕНИЯ**

СЕГМЕНТ 1				
№ п/п.	КП		КП	ИГЭ
	от	от		
1	0.0	4.3	4300	СНАИВО
2	6.0	9.0	3000	
3	10.2	10.3	100	
1	31.20	31.35	150	20
2	32.10	32.40	300	21
3	33.65	33.80	150	20
4	33.95	34.30	350	21
5	37.30	37.45	150	21
6	38.10	38.45	350	21, 23
7	45.70	47.60	1900	21
8	47.85	48.15	300	21
9	49.40	49.70	300	21
10	52.15	52.50	350	21
11	53.80	54.00	200	20, 21
12	54.25	54.60	350	25
13	57.70	58.00	300	21
14	58.50	58.70	200	25
15	58.80	58.90	100	25
16	61.25	61.35	100	25
17	62.00	62.50	500	21
18	63.95	64.30	350	26
19	64.75	64.95	200	23
19	66.10	66.40	300	21/23
20	67.40	67.70	300	21
21	68.50	68.65	150	21
22	68.85	69.00	150	21
23	70.70	70.80	100	21
24	70.95	71.10	150	21
25	72.45	72.60	150	21
26	72.90	73.00	100	21
27	73.25	73.30	50	21
28	73.60	73.70	100	21
29	74.25	74.30	50	21
30	74.40	74.55	150	21
31	75.10	75.30	200	21
32	75.40	75.60	200	22
33	76.75	76.90	150	21
34	77.00	77.30	300	21

Опасные геологические процессы в районе работ по проекту

СЕГМЕНТ 1				
35	78.30	78.40	100	21
36	79.60	79.75	150	21
37	80.60	80.75	150	23
38	81.70	81.90	200	21
39	82.65	82.75	100	21
40	83.05	83.30	250	23
41	84.45	84.75	300	21
42	87.95	88.10	150	21
43	92.60	92.65	50	21
44	96.40	96.55	150	21
45	101.50	101.75	250	21
46	102.05	102.10	50	21
47	106.35	106.90	550	21
48	108.10	108.40	300	21
49	109.40	109.60	200	21
50	111.75	111.85	100	22
51	113.40	113.45	50	21
52	113.90	114.00	100	20
53	116.80	116.90	100	21
54	117.70	117.75	50	21
55	118.10	118.15	50	20
56	120.90	121.40	500	21
57	124.15	124.45	300	23
58	125.50	125.80	300	21
59	136.95	137.05	100	21
60	138.10	138.20	100	21
61	138.30	138.40	100	20
62	138.75	138.90	150	21
63	140.300	140.900	600	21
64	163.400	163.620	220	24
65	163.800	163.950	150	21
66	166.750	166.950	200	24
TOTAL LENGTH (m)			15320	

СЕГМЕНТ 2				
№ п/п	КП		Протяженность (м)	ИГЭ
	от	от		
67	0.00	0.75	750	23, 25

Опасные геологические процессы в районе работ по проекту

СЕГМЕНТ 3				
№ п/п	КП		Протяженность (м)	ИГЭ
	от	от		
68	0.58	0.63	50	23
69	0.75	0.85	100	24
70	6.95	7.05	100	22
71	13.30	13.55	250	23
72	19.60	19.80	200	23
73	20.10	20.30	200	23
74	54.00	54.30	300	23
75	90.10	90.45	350	25
76	91.20	91.50	300	21, 25
77	99.23	99.28	50	27
78	102.28	102.38	100	26
79	107.15	107.25	100	22
80	108.20	108.45	250	22
81	108.92	109.02	100	22
82	109.05	109.15	100	22
83	109.28	109.38	100	22
84	109.55	109.65	100	22
85	111.14	111.19	50	25
86	111.23	111.33	100	25
87	112.50	112.70	200	25
88	113.88	114.45	570	24
89	116.63	116.66	30	23
90	119.50	119.90	400	27-25
91	121.30	121.50	200	21-25
92	122.300	122.550	250	25
93	123.400	123.750	350	21
94	124.10	124.30	200	21
95	124.45	124.70	250	25
96	125.40	125.60	200	25
97	128.85	128.90	50	24
98	129.00	129.30	300	24
99	136.15	136.25	100	25
100	136.90	137.05	150	27
101	142.95	143.20	250	21
102	144.25	144.35	100	25
103	144.60	144.70	100	23
104	160.20	160.40	200	21
105	160.70	160.80	100	28 (sandy)
106	167.70	167.85	150	27
107	173.95	174.15	200	27
108	220.80	221.50	700	20, 21

СЕГМЕНТ 3				
109	228.75	229.20	450	
110	251.15	251.40	250	27
111	251.65	251.75	100	28 (sandy)
112	252.60	253.20	600	27
113	276.25	276.70	450	21
114	279.50	280.10	600	21
115	286.00	286.20	200	28 (sandy)
116	324.10	324.30	200	27
117	327.10	327.18	80	22
118	332.30	332.40	100	22
119	334.20	334.40	200	22
120	337.75	337.87	120	22
121	340.65	340.85	200	21
122	398.45	398.65	200	27
123	415.32	415.45	130	27
124	469.85	469.95	100	27
125	474.45	474.49	40	21
126	474.80	475.20	400	22
127	476.55	477.00	450	22
128	480.09	481.08	990	22
129	491.82	491.86	40	27
130	501.65	501.85	200	28 (sandy)
131	506.00	506.05	50	22
132	511.60	511.72	120	21
133	512.45	512.60	150	21
134	512.85	513.10	250	21
135	517.65	517.80	150	21
136	522.60	522.85	250	21
137	531.25	531.40	150	21
138	546.20	546.55	350	28 (sandy)
139	566.00	566.10	100	21
140	586.05	586.35	300	26
TOTAL LENGTH (m)			15920	

ПРИЛОЖЕНИЕ 8В

МАКАРОВСКИЙ РАЙОН – ПРОХОДКА ШУРФОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ ГРУНТА В ЦЕЛЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ (АВГ. 2005Г.)

КП	Проблемы, связанные с устойчивостью склонов	Предлагаемые мероприятия	Состояние дел с работами на трассе трубопровода на текущий момент
343.280	Возможность формирования обширного оползня глубокого заложения	Осмотр участка, инженерно-геологическое картирование и проходка шурфов	
343.784	Вершина оврага вдоль линии хребта	Проходка шурфов для определения (проектирования) отметки закладки фундамента	
343.920	Узкий водораздельный гребень	Проходка шурфов для определения (проектирования) отметки закладки фундамента	
347.250	Возможность солифлюкции или разжижения грунта	Проектирование отметки закладки фундамента в ходе строительстве	Подготовлена полоса отвода
347.600	Оползень	Проходка шурфов с целью подтвердить результаты геофизических исследований	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
348.900-349.200	Возможность оседания грунта, вызванного горными разработками	Проходка шурфов на участке оседания	Подготовлена полоса отвода
350.430	Узкий водораздельный гребень	Проходка шурфов для определения (проектирования) отметки закладки фундамента	
350.700	Оползень	Осмотр участка, выполнение работ по проектированию, геологическому картированию и шурфованию	
351.000-351.300	Возможность оседания грунта, вызванного горными разработками; наличие узкого отрога горного кряжа	Проходка шурфов на участке оседания	
353.380-356.800	Корректировка трассы в долине реки Пулька	Предлагаемый проект находится в процессе подготовки. Необходимо выполнить шурфование везде, где на откосах отмечается наличие оползневых отложений	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
359.950	Солифлюкция и осыпи	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
360.940	Узкий водораздельный гребень	Проходка шурфов для определения (проектирования) отметки закладки фундамента	Подготовлена полоса отвода
362.225-	Прокладка и	Предлагаемый проект	Работы по

Опасные геологические процессы в районе работ по проекту

КП	Проблемы, связанные с устойчивостью склонов	Предлагаемые мероприятия	Состояние дел с работами на трассе трубопровода на текущий момент
362.660	корректировка трассы в долине реки Варварка	находится в процессе подготовки.	подготовке полосы отвода еще не проводятся
363.340, 363.610	Оползневые отложения и оплывины	Проходка шурфов	Продолжается /завершена прокладка труб
364.250-364.800	Узкий водораздельный гребень с осыпавшимися отвалами грунта	Проектирование отметки закладки фундамента в ходе строительстве	
370.200-370.700	Оползни выявлены на склоне выше трассы (на ПК 370,6) и ниже трассы (на ПК 370,3)	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
372.860 участок	Оползни в полосе отвода или вдоль ее траектории	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
373.060 участок	Оползни-потоки поперек полосы отвода	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
374.010	Оползень на склоне ниже уровня трассы трубопровода	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
374.300-374.800	Вершины оврага и оползня в непосредственной близости от узкой линии хребта	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
374.950	Узкий водораздельный гребень	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
376.640-377.070	Оползень большой мощности на первоначальном варианте трассы	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
377.770-378.650	Узкий горный хребет, наличие искусственного грунта, неустойчивый склон	Проходка шурфов	Полоса отвода в стадии подготовки
378.870-380.470	Горный хребет, подверженный эрозии, поблизости обратные уступы на склоне	Проходка шурфов	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
381.470-381.620	Узкий горный хребет с оползнями глубокого заложения по обе стороны от гребня	Проходка шурфов	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
381.725-381.850	Оползни на склонах горного отрога	Проходка шурфов	Работы по подготовке полосы отвода

Опасные геологические процессы в районе работ по проекту

КП	Проблемы, связанные с устойчивостью склонов	Предлагаемые мероприятия	Состояние дел с работами на трассе трубопровода на текущий момент
			еще не проводятся as yet
381.850-382.300	Оползень глубокого заложения, возможно активный, на борту долины	Требуется пересмотреть маршрут трассы трубопровода	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
382.310-382.560	Неустойчивые вершины оползня и оврага	Проходка шурфов и тщательное проектирование трассы трубопровода	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
382.885-383.000	Вероятный глубоко-сидящий оползень на западном борту долины	Корректировка трассы в пределах участка с целью обойти разлом	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
383.170-383.400	Подъем и опускание уровня речной долины, с неустойчивыми бортами	Тщательный выбор маршрута трассы трубопровода и Проходка шурфов	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
Участок у ПК 384.500	Неустойчивость борта долины	Проходка шурфов	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
участок у ПК 385.360	Неустойчивость обеих бортов долины	Проходка шурфов	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
участок у ПК 398.200	Оползень ниже гребня хребта	Проходка шурфов с целью проверки того, что оползень не затрагивает трассу трубопровода	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
400.700-406.000	Высокая оползневая опасность на данном участке	Необходимо произвести оценку безопасности трассы трубопровода	Работы по подготовке полосы отвода еще не проводятся
407.550	Оползень на борту речной долины	Проходка шурфов	По всей вероятности, прокладка трубопровода (-ов) уже завершена
409.050	Вершины оползней на излучине ниже уровня трассы трубопровода	Проходка шурфов	По всей вероятности, прокладка

Опасные геологические процессы в районе работ по проекту

КП	Проблемы, связанные с устойчивостью склонов	Предлагаемые мероприятия	Состояние дел с работами на трассе трубопровода на текущий момент
			трубопровода (-ов) уже завершена
Участок у ПК 410.600	Трасса трубопровода пересекает ряд оползней	Проходка шурфов	По всей вероятности, прокладка трубопровода (-ов) уже завершена
417.980	Узкий гребень и вершина оврага	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
Участок у ПК 423.470	Обрушения с обеих сторон гребня	Проходка шурфов	Прокладка нефтепровода завершена
425.825-426.500	Оползень No 1. Решение о необходимости изменения трассы трубопровода к востоку от оползня, одобренное представителями Парижского офиса компании Saipem и Сахалин Энерджи, должно быть подтверждено в ходе изысканий	Проходка шурфов	Частично завершена подготовка полосы отвода согласно первоначальному проекту трассы трубопровода
428.000-429.700	Склоны покрыты оползнями и оплывинами	Необходимо выбрать маршрут трассы трубопровода и получить от GI подтверждение относительно безопасности выбранного маршрута и рекомендации по глубине укладки трубопровода	Полоса отвода подготовлена, ведется прокладка трубопровода
430.800	Оползень пересекает трассу трубопровода	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
431.000	Трасса трубопровода пересекает ряд небольших оползней	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
431.260	Трасса трубопровода пересекает ряд небольших оползней	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
Участок у ПК 433.000	Наличие оползней на борту долины	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
434.730-435.250	Узкий хребет с вершинами оврагов по обоим склонам	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
436.130 участок	Вершины оврагов и неглубоких оползней	Проходка шурфов	Данные отсутствуют
449.500	Вершины оползня и	Проходка шурфов	Данные

Опасные геологические процессы в районе работ по проекту

КП	Проблемы, связанные с устойчивостью склонов	Предлагаемые мероприятия	Состояние дел с работами на трассе трубопровода на текущий момент
участок	оврага вдоль линии хребта		отсутствуют
456.300-456.700	Узкий хребет, эрозионные явления и оползневые цирки	Проходка шурфов	Данные отсутствуют

ПРИЛОЖЕНИЕ 8С

ЗОНА МАКАРОВСКОГО РАЙОНА – КОНТРОЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ ДЛЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО РИСКА 3 УРОВНЯ