

# Современные геологические методы оценки сейсмической опасности при проектировании сложных инженерных сооружений топливно- энергетического комплекса

Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов  
А.В., Новиков С.С., Ларьков А.С.

ИФЗ РАН

Бурное развитие техники, наращивание темпов добычи и транспортировки углеводородов и других полезных ископаемых, развитие энергетики, происходящие в последнее десятилетие, сочетаются с увеличением ответственности по отношению к окружающей среде. Постоянное усложнение инженерных конструкций и сооружений увеличивают их уязвимость от всевозможных природных опасностей. Среди них, землетрясения представляют собой один из самых серьезных поражающих факторов.



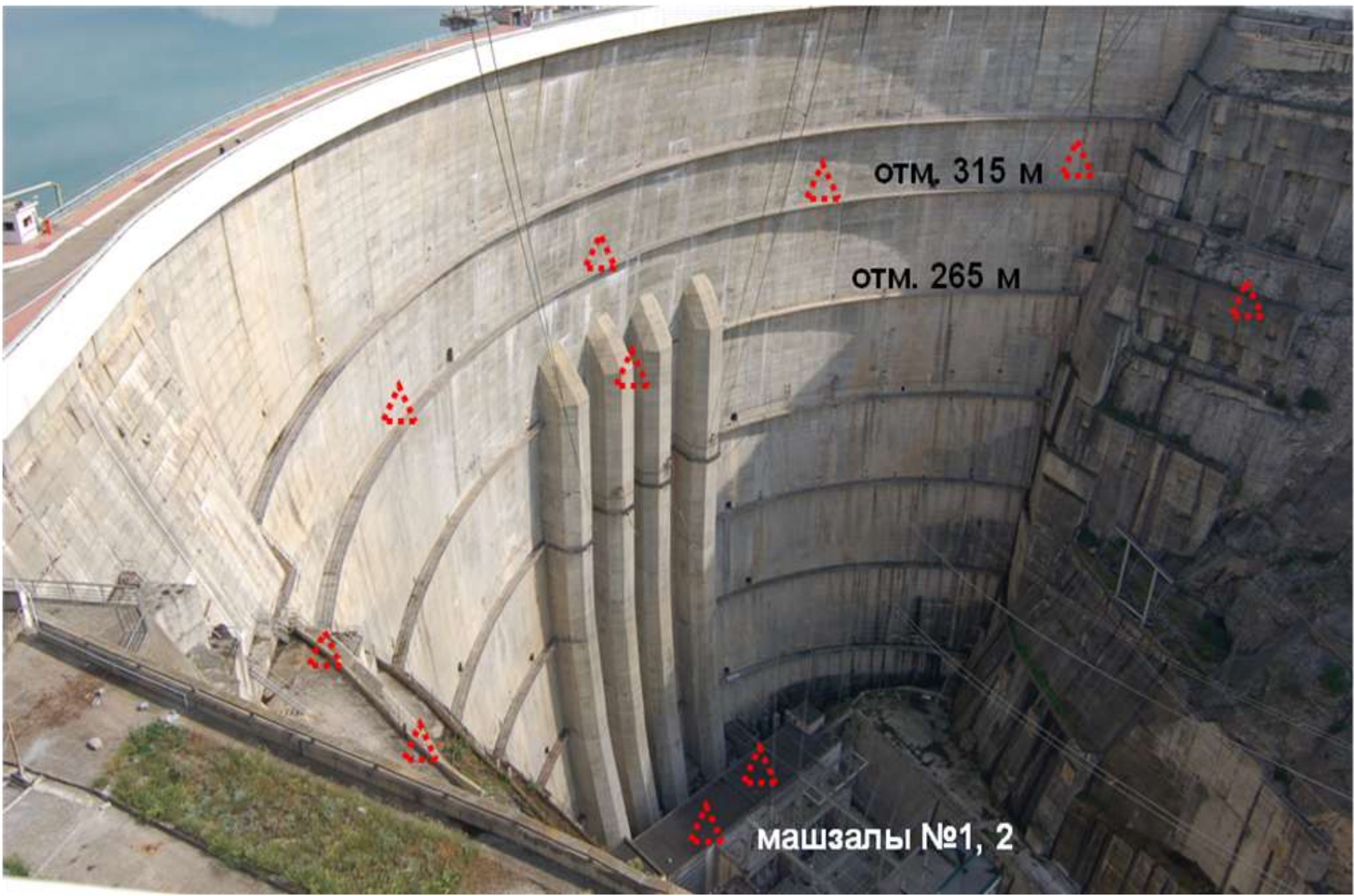
Сахалинский город Нefтегорск после землетрясения 1995 г. Дома построенные в 1980-х годах, с учетом сейсмической опасности, устояли. Более ранние здания, построенные на заре развития сахалинской сейсмологии, без учета сейсмической опасности, были полностью разрушены.

Многочисленные уроки современных сейсмических катастроф показывают, что при проектировании зданий и сооружений чрезвычайно важен учет степени сейсмической опасности региона строительства. В особенности это касается ответственных сооружений, разрушение которых может привести к гибели людей, большому материальному ущербу и нанести вред окружающей среде.



Плотина Шэйпай, оказавшаяся в 12 км от эпицентра катастрофического Вэньчуаньского землетрясения в Китае (2008 г.), не получила существенных повреждений так как была спроектирована с учетом сейсмической опасности

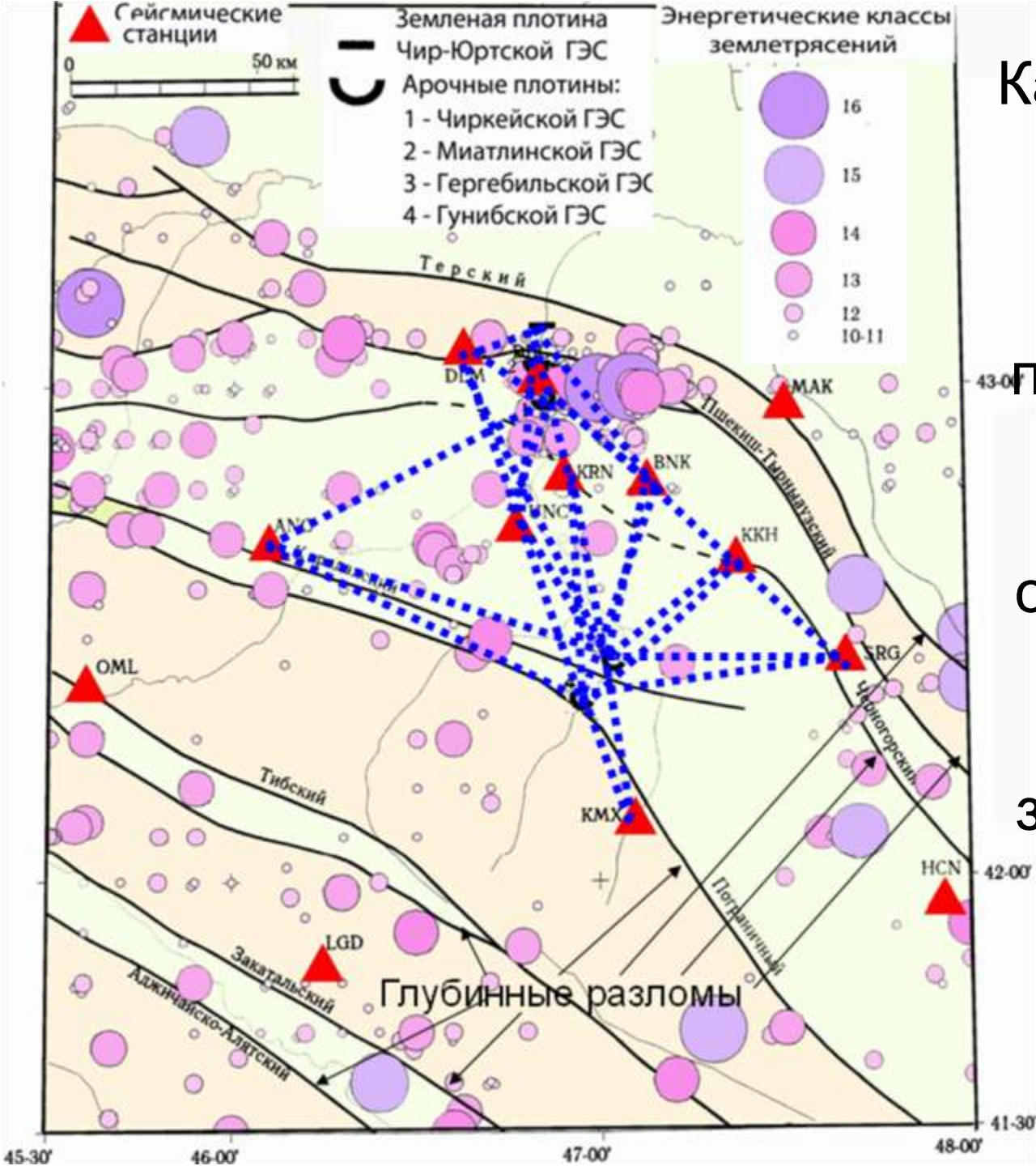
# Высотная плотина Чиркейской ГЭС



ОТМ. 315 м

ОТМ. 265 м

машзалы №1, 2



Карта размещения объектов Дагестанского каскада ГЭС с показом активных разломов, сейсмических станций (красные треугольники) и эпицентров зарегистрированных землетрясений

Основным затруднением при этом является выявление потенциальных очагов сильных землетрясений, так как между сейсмическими активизациями может пролежать нескольких сотен-тысяч лет затишья. В настоящее время многие из них могут показаться не опасными, поэтому сильные землетрясения часто происходят «неожиданно».

1996



2003



Сильное землетрясение на Алтае, 2003 г. За всю историю сейсмологических наблюдений на юге Горного Алтая землетрясения такой силы не наблюдались. Однако, специалистами ИФЗ РАН в 1996-1999 гг. проводились палеосейсмогеологические исследования, в результате которых выяснилось, что период повторяемости сильных землетрясений составляет здесь от 1000 до 2000 лет. На фото показан изученный в 1996 г. древний сейсмоструктурный разрыв земной поверхности, обновлённый при землетрясении 2003 г. Землетрясение 2003 г. «неожиданным» не оказалось.

# Транс-Аляскинский трубопровод, переход через тектонический разлом



# Последствия землетрясения для Транс-Аляскинского трубопровода, $M=7.9$ , 3 ноября 2002 года





# Последствия землетрясения для Транс-Аляскинского трубопровода, $M=7.9$ , 3 ноября 2002 года



В ИФЗ РАН разработана комплексная технология оценки сейсмической опасности геологическими методами. Она реализована практически на всех масштабных строительных проектах нефтегазовой отрасли последнего десятилетия в сейсмически опасных районах.



Карта изученных линейных объектов проложенных в сейсмоопасных районах. Сплошными линиями показаны построенные, пунктирными – проектируемые или отклонённые

К опасным явлениям относятся собственно сейсмические сотрясения, оползни, обвалы, разжижения грунта и сейсмотектонические разрывы, Практически мгновенные разрывные сейсмотектонические смещения связаны с разрывными выходами сейсмических очагов на земную поверхность - сейсморазрывами. Смещения земной поверхности могут достигать многих метров и, безусловно, опасны для любых инженерных сооружений.



Сейсморазрыв в очаге Олюторского землетрясения 2006 г.

# Горизонтальное смещение трубопровода



Крупный  
сейсмогенный  
оползень

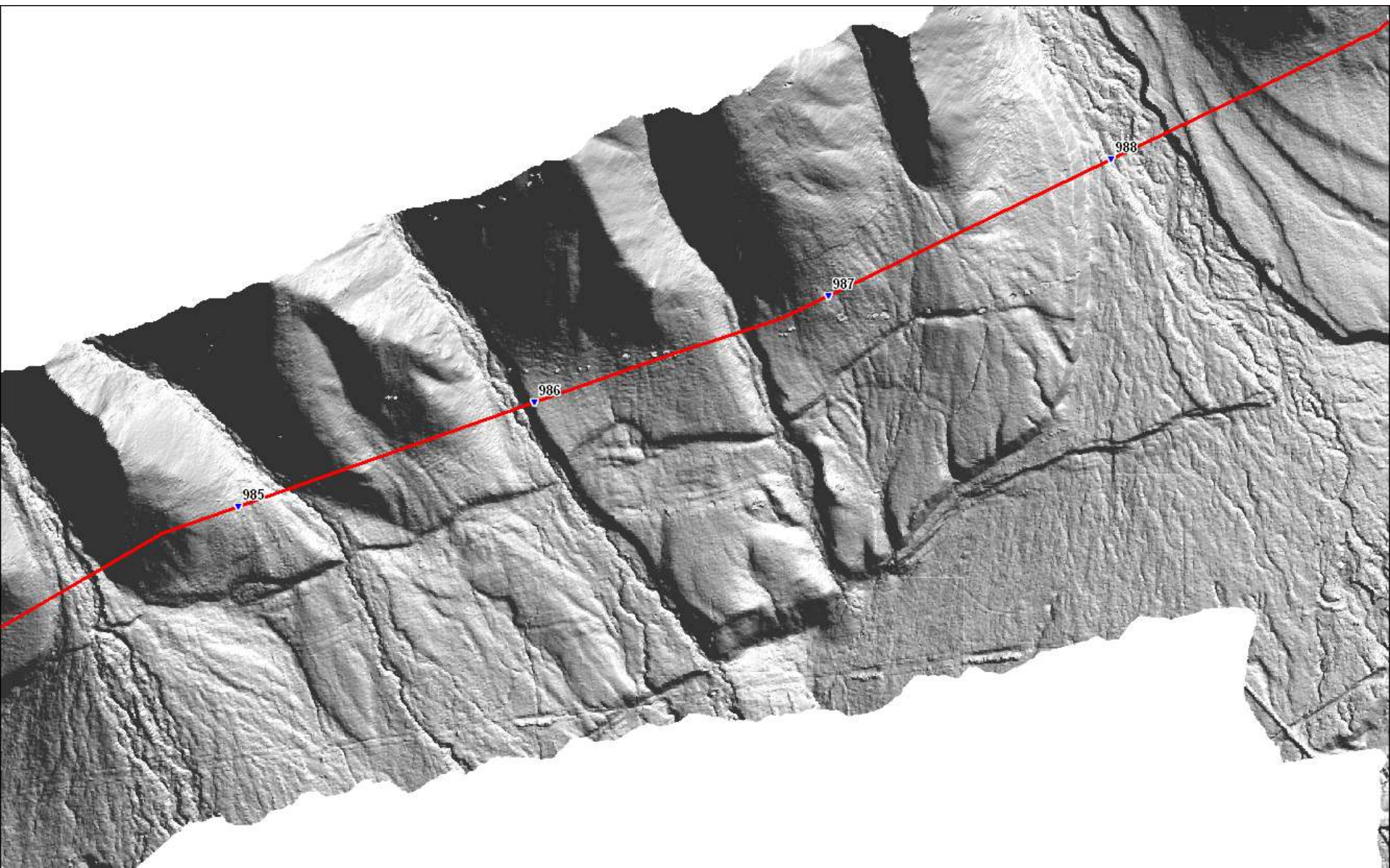
В задачи исследований входит:

- выявление активных разломов в районе проектируемого объекта с оценкой параметров прогнозных сейсмотектонических смещений;
- разработка сейсмотектонической модели и построение карты возможных очагов землетрясений.



Сейсморазрывы в очаге Алтайского землетрясения 2003 г., нарастившие формы рельефа сохранившиеся от предыдущих событий. Очаги сильных землетрясений представляют собой устойчивые структуры в геологической среде - активные разломы земной коры.

Нарушения земной поверхности в районе пересечения Чульмаканского разлома с трассой ВСТО на основе материалов авиационного лазерного сканирования. Красная линия – трасса трубопровода



## Совмещение дистанционных и полевых исследований позволяет точно привязать активные разломы к проектируемым объектам



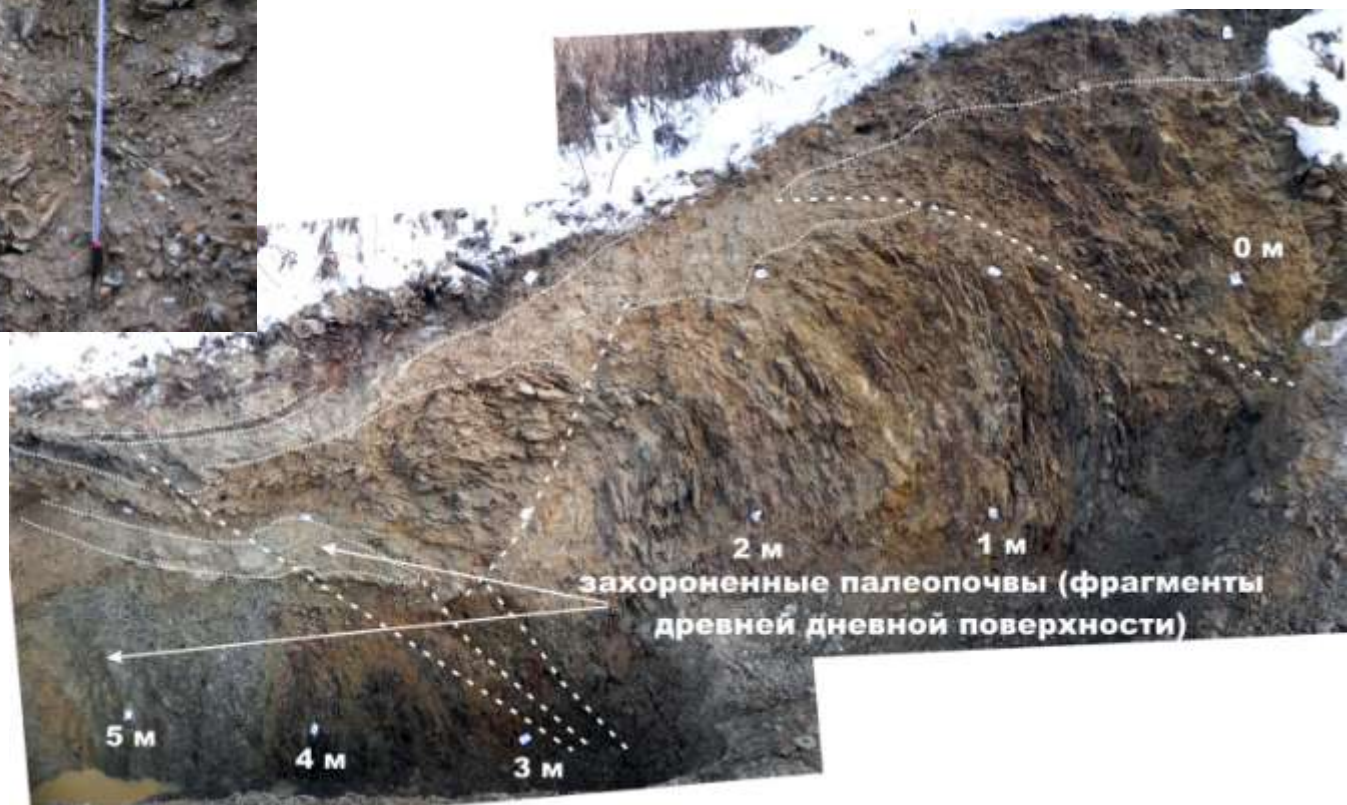
Активный разлом, выраженный в виде древнего смещения земной поверхности, прослеженный с использованием дистанционных методов на местности, привязанный к проектируемому трубопроводу, и вскрытый траншеей. Трасса ВСТО.

С целью изучения приповерхностного строения очагов землетрясений, определения параметров прогнозных смещений и восстановления их сейсмической истории, активные разломы изучаются в специально пройденных горных выработках



Сдвиг почвы по разрыву в очаге Алтайского землетрясения 2003 г.

Параметры сейсморазрывов позволяют оценить силу древних землетрясений и дать прогноз на будущее



Сдвигание и захоронение древней дневной поверхности в результате неоднократных сейсмоструктурных смещений по разлому в Еврейской АО. Радиоуглеродное датирование палеопочв позволяет определить возраст землетрясений.



Выход очага сильного землетрясения на поверхность, по ряду причин, происходит далеко не всегда. В задачи исследований входит изучение всех следов древних землетрясений, так как наличие или отсутствие ярко выраженных активных разломов на поверхности далеко не всегда прямо отражает уровень сейсмической опасности. При сильных землетрясениях значительный урон наносят вторичные нарушения земной поверхности - оползни, обвалы, разжижения грунта.



Оползень полностью  
перегородивший долину р. Паца  
во время Рачинского  
землетрясения 1991 г., Южная  
Осетия

Обвал в эпицентральной области Рачинского землетрясения 1991 г., Южная Осетия. В результате землетрясения массив скальных пород объемом около 30 млн м<sup>3</sup> вылетел из склона горы полностью уничтожив селение Хохети и 50 его жителей.

Результаты разжижения и выброса грунта— кластические дайки и грифоны, также наносят значительный урон. Они образуются при сотрясениях в 7 баллов и выше. Обнаружение следов разжижения от древних землетрясений также помогает в выявлении потенциальных очагов.



Выбросы разжиженного песка (грифоны) по сейсмовибрационным трещинам в эпицентральной области Алтайского землетрясения 2003 г., п. Бельтир.

Конечным итогом исследований является:

- разработка сеймотектонической модели региона;
- построение карты возможных очагов землетрясений;
- выделение активных разломов, оценка их параметров и точная привязка относительно проектируемых объектов.

Исследования позволяют проводить детальную локализацию сейсмической опасности. В ряде случаев это приводит к существенному сокращению участков с высокой (8-9 баллов) сейсмической опасностью по сравнению с картами Общего сейсмического районирования России и, соответственно удешевляет строительство. В других случаях могут быть найдены новые, ранее неизвестные источники сейсмических воздействий.

Тогда уровень сейсмической опасности может быть повышен на локальных участках.

Разработанный комплекс исследований неоднократно показал свою эффективность в самых разных сейсмоактивных регионах России.

**Спасибо за внимание!**