

**Российская академия наук · Уральское отделение
Институт горного дела (ИГД УрО РАН)**

**Использование методов диагностики
карстопроявлений при инженерно-геологических
изысканиях**



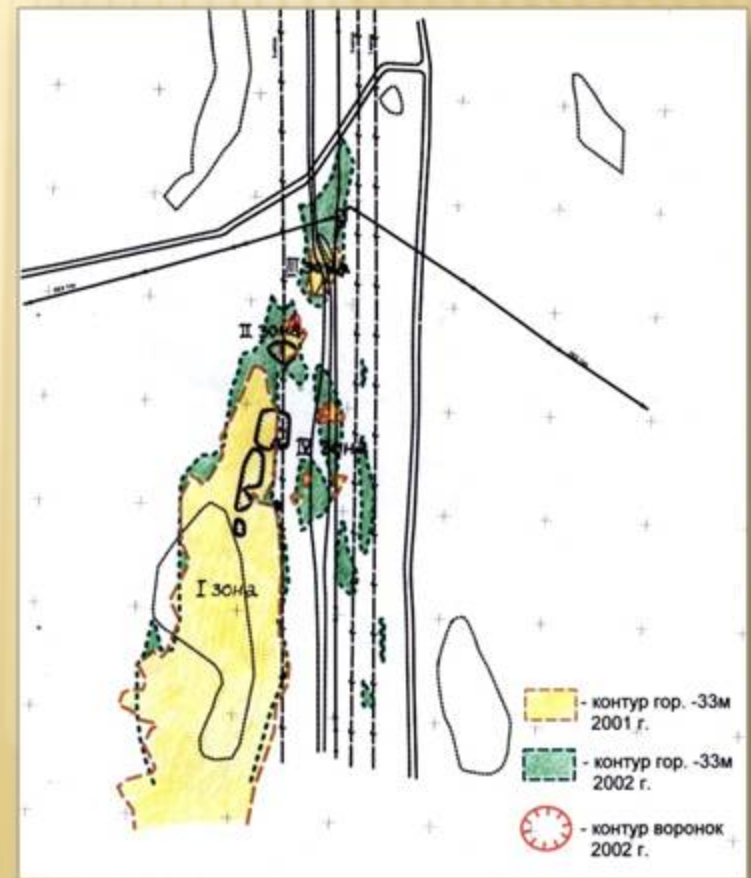
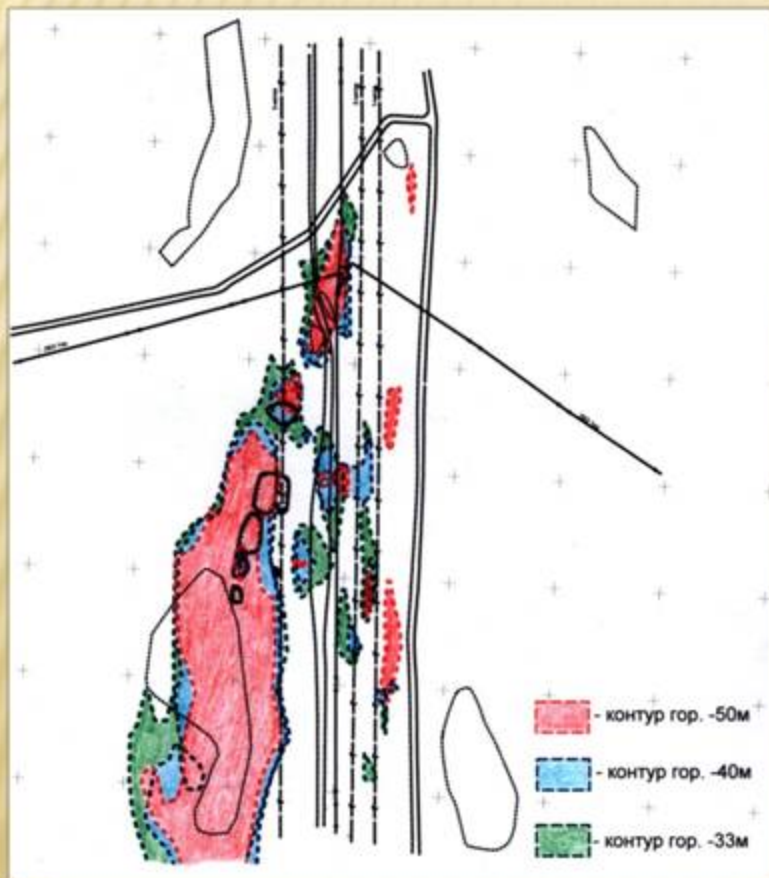
Мельник Виталий Вячеславович

**Заведующий лабораторией
«Технологии снижения риска
катастроф при недропользовании»**

Екатеринбург, 2009 г

Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений :

➤ Детальные геофизические исследования позволили ограничить площадь распространения карста и дать прогноз его развития на следующий год, который полностью оправдался на следующий год, выходом на поверхность новых воронок обрушения в пределах обозначенного изысканиями контура.



Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений :

➤ Определение параметров деформирования рассчитывалось с помощью метода "эквивалентных пролетов"

Метод "эквивалентных пролетов" заключается в оценке устойчивости обнажений произвольной формы по величине эквивалентного по устойчивости пролета выработки постоянной ширины и неограниченной большой длины. Для обнажения, в котором длина по простиранию меньше двукратной величины проекции обнажения на горизонтальную плоскость, значение эквивалентного пролета определяется из формулы:

$$l_{\text{экв}} = \frac{nL}{\sqrt{n^2 + L^2}}$$

Критерием устойчивости обнажения является неравенство:

$$l_{\text{экв}} \leq l_0$$

где l_0 - предельный пролет выработки или пустоты большой длины, найденный экспериментальным путем.

Как показали дополнительно проведенные расчеты при самых неблагоприятных условиях нагружения **труба газопровода способна сохранять устойчивость при пролетах провалов от 47 до 57 м.**

В сопоставлении с предельными параметрами воронок обрушения, для разных пород, представленных на участке, газопровод обладает следующими коэффициентами запаса:

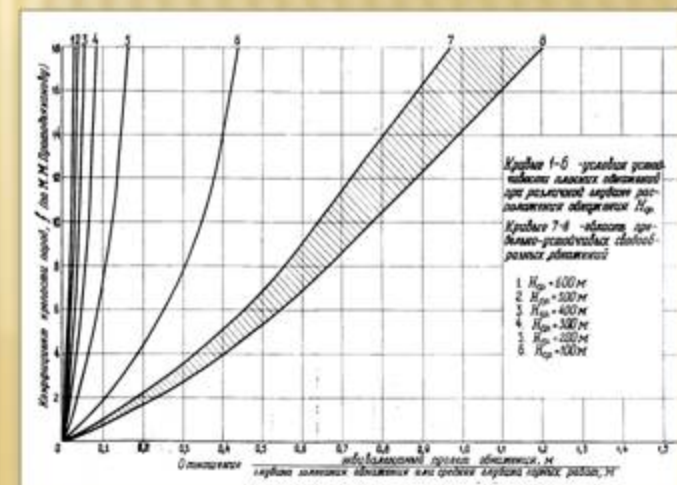
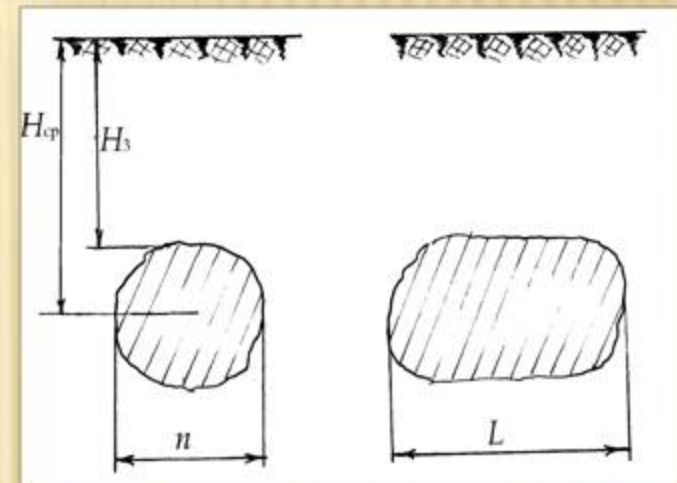
в рыхлых грунтах от 5 до 10;

в выветрелых известняках от 1,9 до 3,9;

в скальных известняках от 1,5 до 3,1.

Следовательно, на исследуемом участке образование карстовых провалов не может вызвать разрушения газопровода.

Были даны рекомендации ограничить доступ людей в опасную зону и засыпать места образования воронок скальным грунтом.



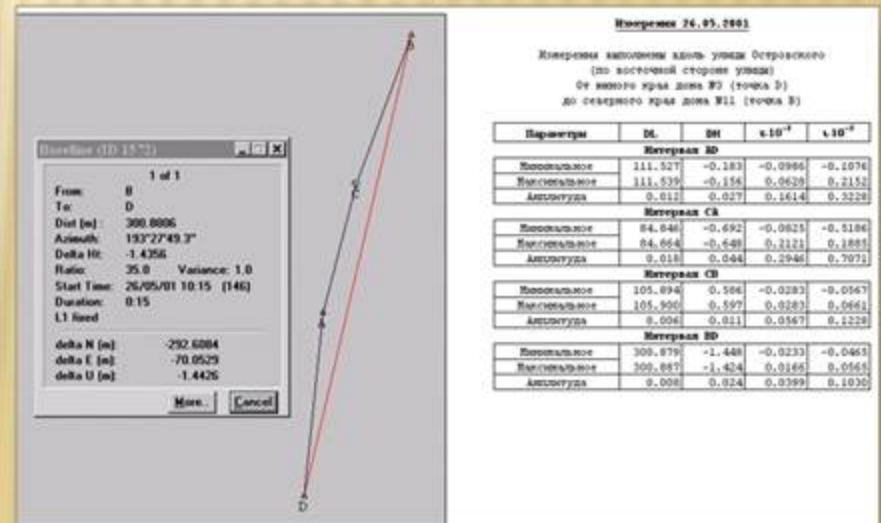
Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений :

➤ Следующим шагом по изучению карста была работа в г. Сургуте, где на определенном участке в черте города образовалась воронка, повлекшая за собой погружение части канализационного коллектора на неопределенную глубину – **суффозионный карст**. Перед исследованиями, проведенными на объекте, стояла задача уточнения границ разломных зон на аварийном участке канализационного коллектора для обеспечения проведения последующих геодезических исследований параметров их подвижности, выявления воздействия смещений и деформаций на крепь коллектора и разработки рекомендаций по восстановлению нарушенного участка и предупреждению новых аварий.



С помощью электрометрии были уточнены границы тектонических нарушений в районе аварии, определена сущность процесса формирования карста

С помощью GPS выявлены геодинамические параметры разломных зон в районе и с их учетом даны рекомендации по ремонту и эксплуатации коллектора



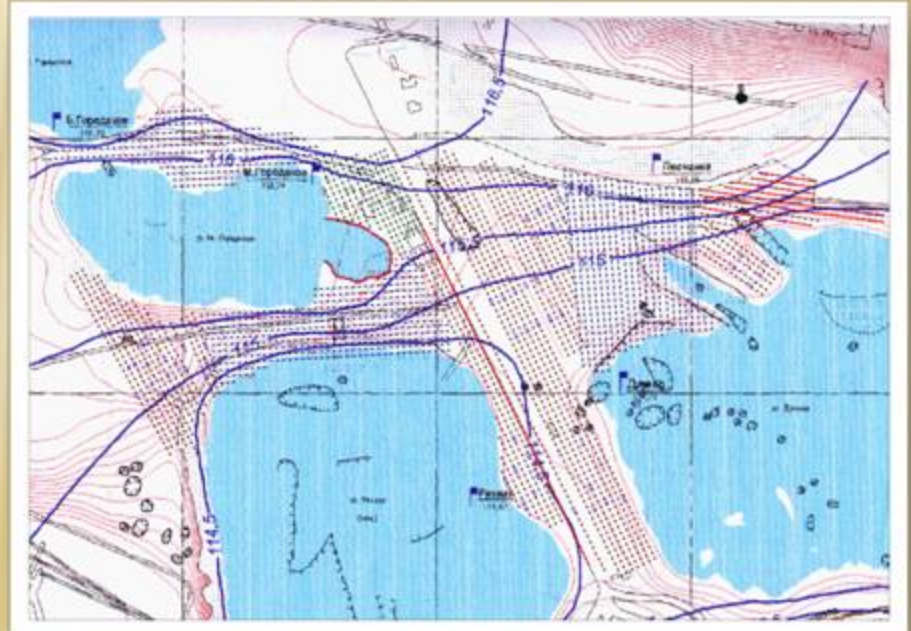
Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений :

➤ С течением времени методика проведения исследований постепенно уточнялась и совершенствовалась на различных объектах горнопромышленного комплекса и городской застройки, оборудование обновлялось и в распоряжении лаборатории появились упомянутые выше комплексы - ССП (спектральное сейсмопрофилирование) и Георадар. Расширились возможности для более детальной диагностики карстопрооявления массива.



Тестирование нового оборудования проходило на Соль-Илецком соляном руднике, где в процессе активизации соляного карста образовалась крупная карстовая воронка

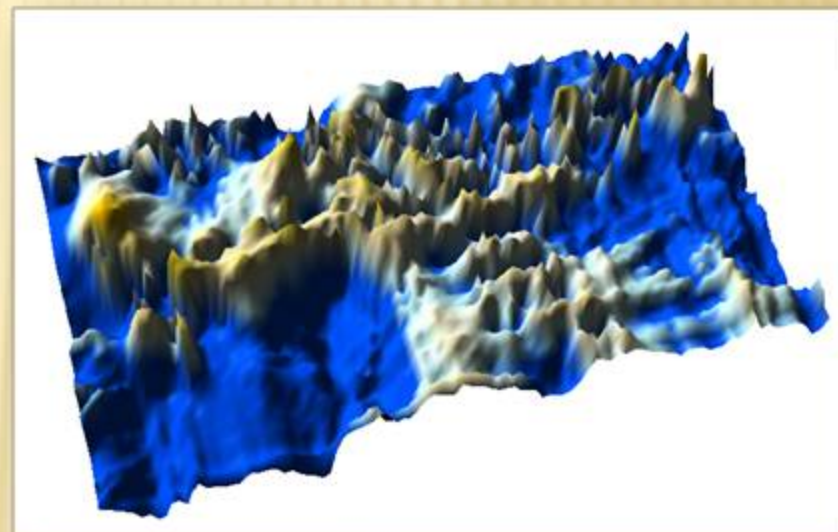
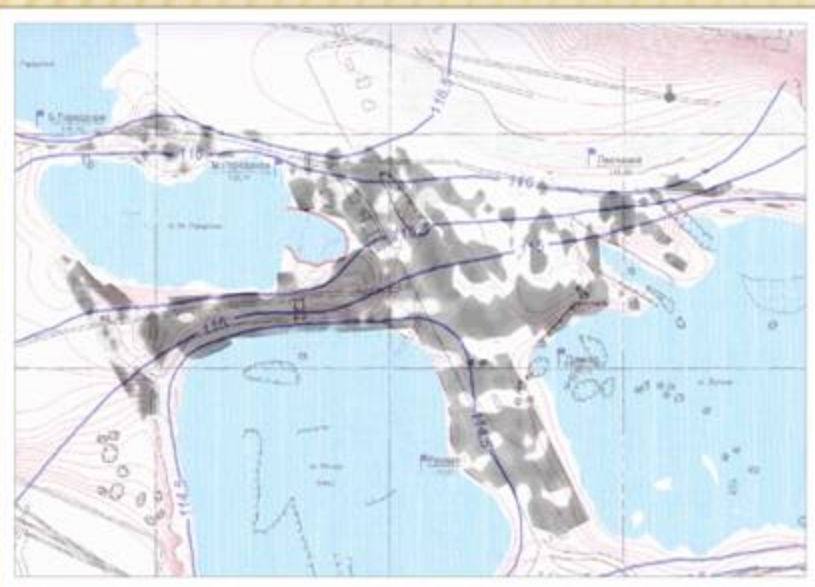
В процессе работ участок работ был разбит на сетку 5x5 м, с точной привязкой к плану местности



Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений :

➤ Другая задача поставленная перед исследованиями на этом объекте – изучение морфологии кровли затопленного рудника. Задача схожая с поиском карста, только отличается большой глубиной зондирования (порядка 80-120 метров) и большой площадью распространения пустот.

В результате исследований методом ССП был получен план расположения выработок и объемная модель рудника.



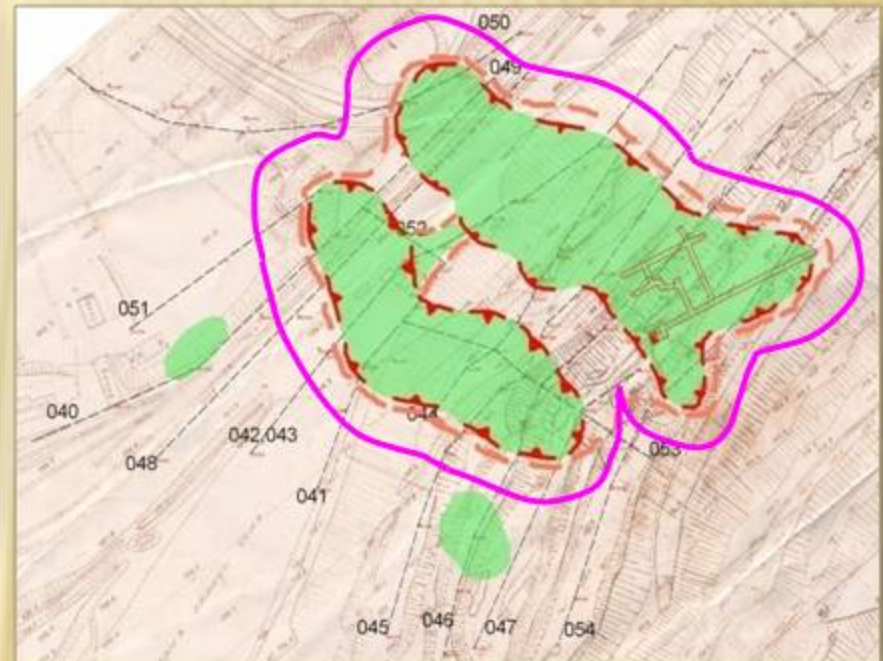
При сопоставлении впоследствии с маркшейдерскими данными наблюдалась высокая степень сходимости очертаний выработок с детализацией растворенной потолочины камер

Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений:

Использование методики при прогнозировании развития техногенного карста



Зона плавных деформаций на участке железнодорожного поста №12 г. Нижний Тагил



Прогнозная граница зоны опасных сдвижений от карстовых пустот

Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений:

Использование методики при прогнозировании развития техногенного карста



Район разрушенного участка канала
р. Вагран в г. Североуральске

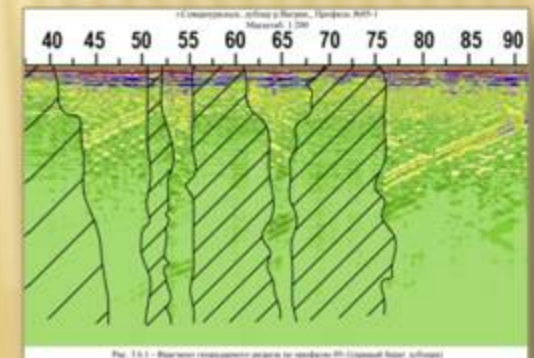
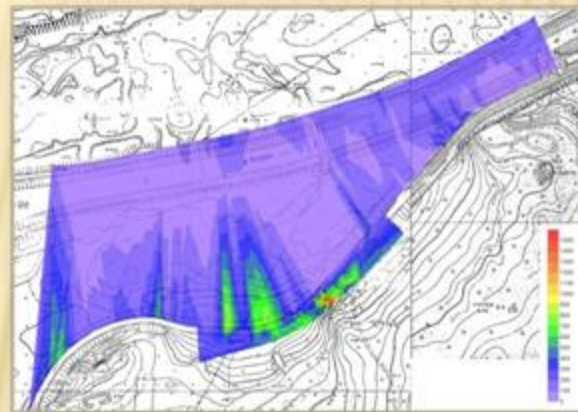
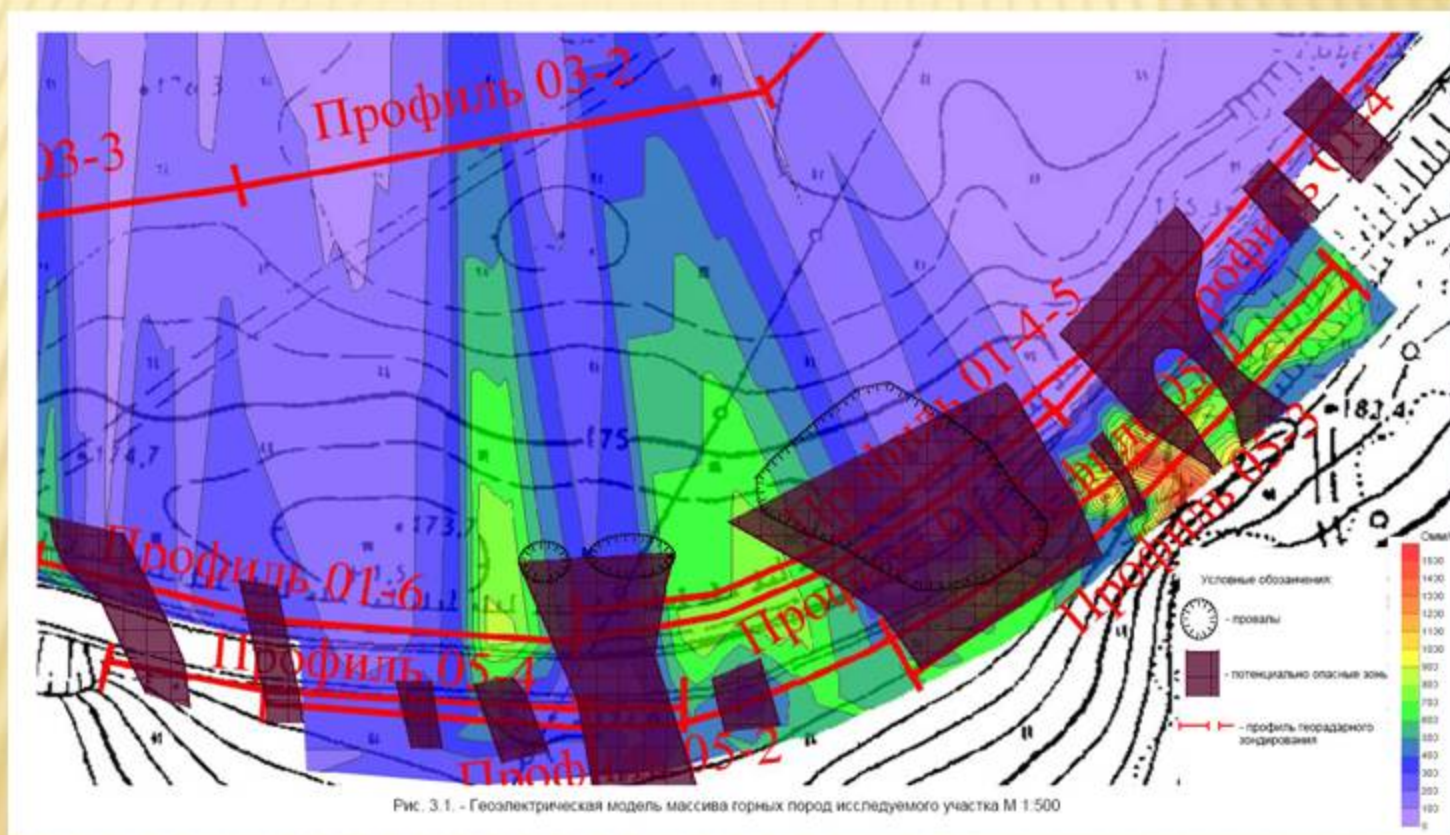


Рис. 1.6.1 - Физическое строение участка на профиле 00-Суровый берег, 4/2007

Разработка и использование методики диагностики карстопроявлений:

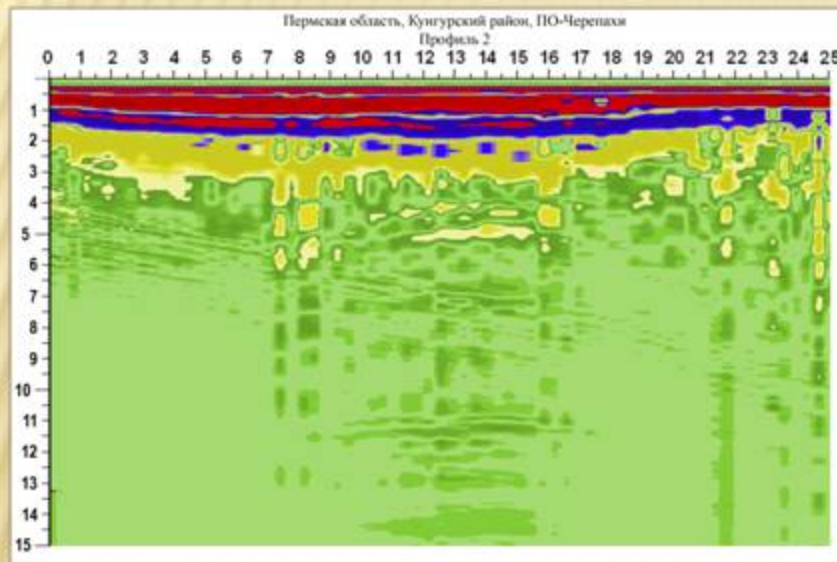
Использование методики при прогнозировании развития техногенного карста

Район разрушенного участка канала р. Вагран в г. Североуральске

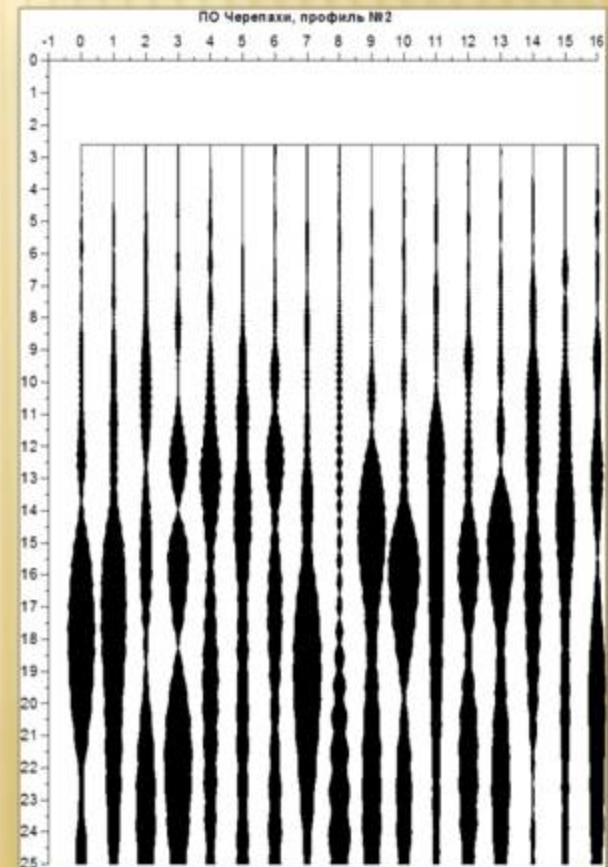


Использование методики при проведении инженерно-геологических изысканий:

➤ Широкое применение **разработанная методика** нашла при проведении **инженерно-геологических изысканий** под строительство объектов недропользования на карстоопасных территориях. Как правило эти исследования проводятся в дополнение к стандартным инженерным изысканиям.



Исследования под строительство опор базовых станций сети СРТС стандарта GSM 900/1800 в Пермской области



Актуальность проблемы :



Проблема освоения территорий, осложненных неблагоприятными геологическими процессами и явлениями, наиболее остро встает в настоящее время, в связи с быстрыми темпами развития промышленных предприятий, городов и инфраструктуры.

В этой связи остро встает вопрос прогнозирования опасных природных и техногенных процессов и явлений. Особое место среди них по степени скрытости протекания процесса, внезапности проявления, катастрофичности последствий и трудности прогнозирования проявлений занимает карст.

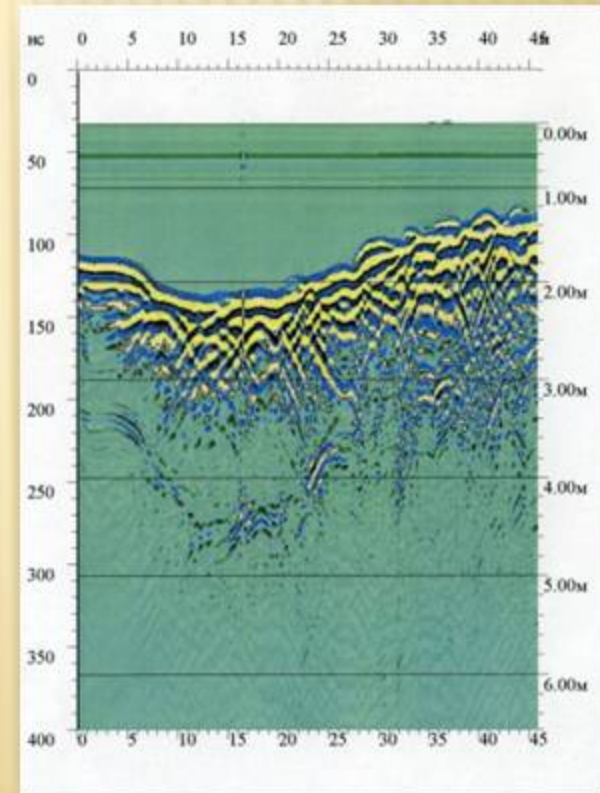
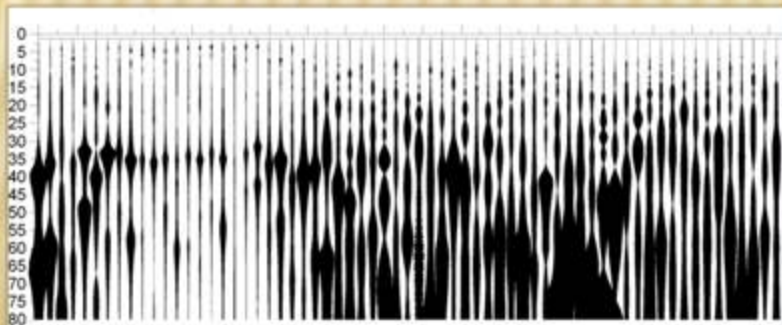
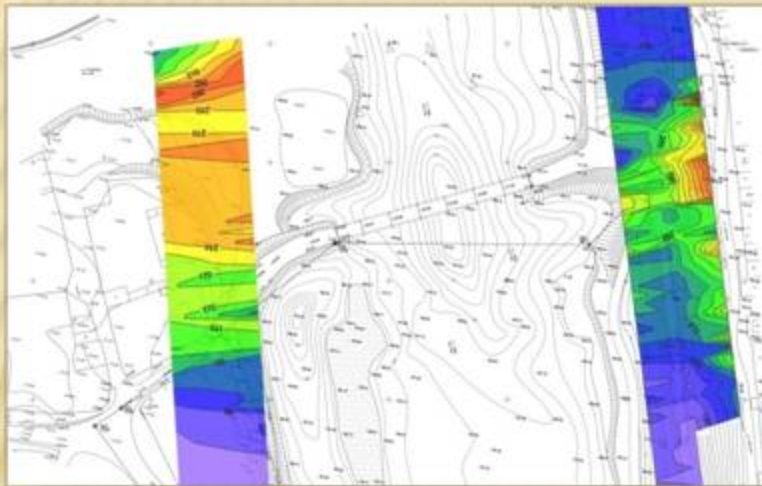
Исследования проводимые коллективом лаборатории на протяжении последних лет показывают, что критерии применяемые при инженерных изысканиях на карстоопасных территориях, основывающиеся как правило лишь на субъективных факторах и сводящиеся к районированию площади по карстовой опасности не позволяет безопасно строить и эксплуатировать объекты недропользования.

Предлагаемая методика диагностики опасности карстопоявлений при проведении инженерно-геологических изысканий позволяет не только определять возможность использования карстоопасных территорий, но и вводить коррективы при строительстве на заведомо опасных с точки зрения карстопоявлений участках с целью обеспечения безопасного строительства.



Использование методики при проведении инженерно-геологических изысканий:

Инженерно-геофизические исследования массива горных пород на участке реконструируемого мостового перехода через р. Уфа



Использование методики при проведении инженерно-геологических изысканий:

Достаточно часто методика используется для изысканий в районах, нарушенных старыми горными разработками. Регулярно проводятся изыскания в г. Березовский

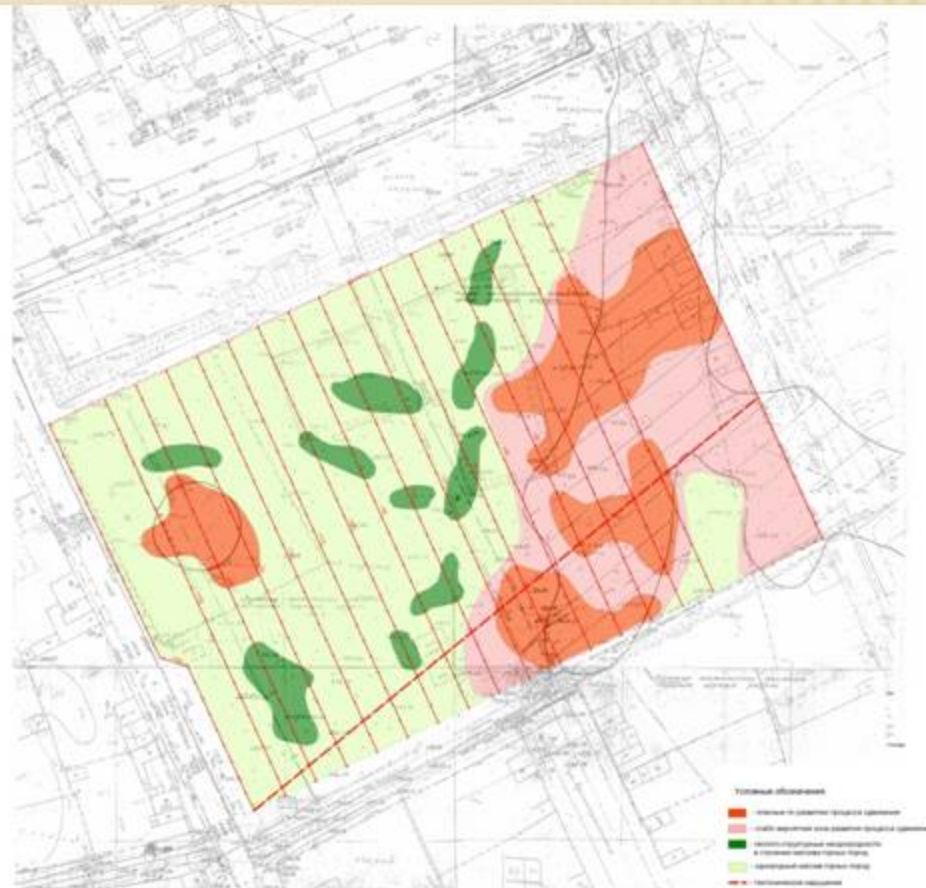


Рис. 3.2 Результаты инженерно-геофизического районирования участка работ
М 1:500

Заключение:

На настоящий момент времени представленная методика активно используется при проведении инженерно-геологических изысканий под особо сложные сооружения, высотные здания, опоры сотовой связи, строительстве мостовых переходов и автодорог в дополнение к стандартному комплексу изысканий. Это позволяет надежно установить структурные и геодинамические характеристики массива и ввести коррективы при расчете фундаментов инженерных сооружений, корректировать место расположения объектов недропользования для последующего безопасного строительства и эксплуатации.

Разработанная методика подходит и успешно используется для исследований не только карстоопасного массива, но и на территориях нарушенных старыми горными работами, площадках строительства опасных и высоко ответственных объектов, таких как атомные станции, горно-обогатительные комбинаты, высотные здания городской застройки.

Основные закономерности, полученные при проведении исследований легли в основу диссертационной работы.

Применение решений, полученных в работе, и внедрение их в практику позволит обеспечить безопасность объектов недропользования в карстоопасных областях и вовлечь новые, ранее не используемые земли для жизнедеятельности.

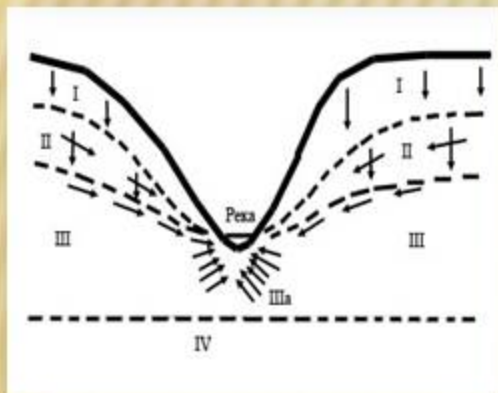
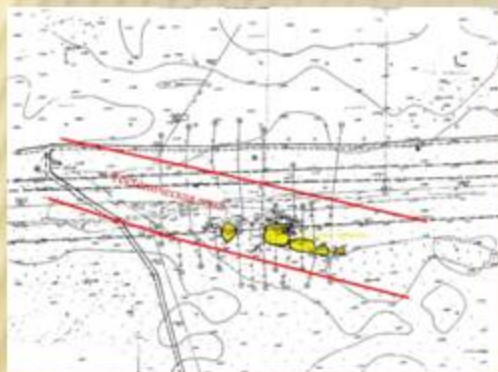


Использование методов диагностики карстопроявлений при инженерно-геологических изысканиях

Мельник Виталий Вячеславович

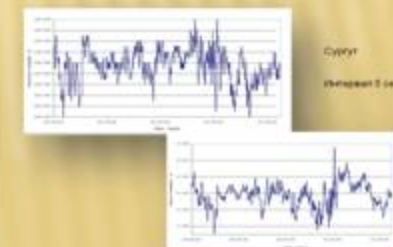
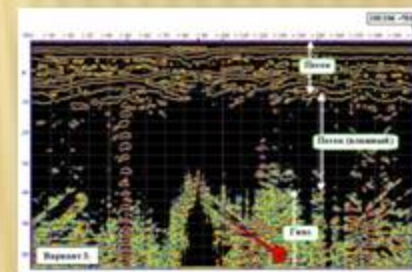
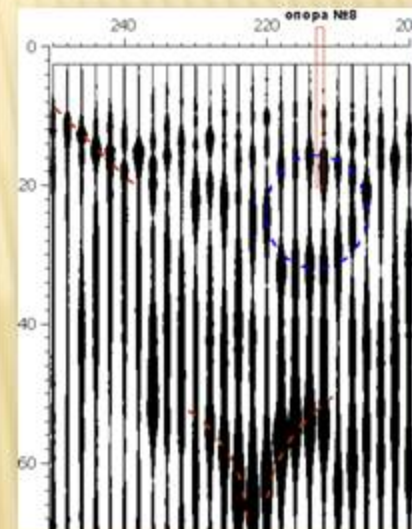
Благодарю за внимание

Методика проведения исследований:



Создание геомеханической модели участка строительства

Выбор методов исследования для создания модели осуществляется в соответствии с кругом решаемых задач и учетом всех характерных для района природных факторов. В нашем случае задача заключается в выявлении **структурно-тектонического строения массива горных пород, его гидродинамических параметров и геометрии карстовых полостей** для создания геомеханической модели карстоопасного участка, а также **определении геодинамических характеристик** для прогноза активизации процессов карстообразования. Геометрия полостей, требуется для **определения параметров возможного обрушения кровли земной поверхности**, что является заключительным этапом при определении опасности карстопроявлений.



Построение геомеханической модели участка строительства:

При построении геомеханической модели исследуемого участка принимаются во внимание все без исключения тектонические нарушения массива горных пород, создающие ему иерархически блочное строение. Практика свидетельствует, что геодинамическая активность тектонических нарушений не всегда соответствует их рангам, присваиваемым по размерам. Второстепенные, маломощные тектонические нарушения иногда имеют более высокий уровень геодинамической активности в отношении короткопериодных современных геодинамических движений. Иногда геодинамическая активность отдельных тектонических нарушений инициируется под влиянием техногенной деятельности.

Карстоопасный массив представляет собой производную нескольких вышеперечисленных составляющих, входящих в геомеханическую модель участка недропользования. Исходя из характеристик, представляющих наибольший интерес с точки зрения ее построения (структурно-тектоническое строение, глубина и площадь распространения карстовых полостей, гидродинамические и геодинамические характеристики), исследования наиболее целесообразно производить с помощью геофизических и геодезических методов.

Выбор методов зависит от различных факторов, среди которых: условия местности (техногенная загруженность), разрешающая способность методов, производительность, соотношение цена-качество, а также наличие соответствующего оборудования.

Именно последний фактор предопределил направление исследований о возможности использования следующих **геофизических** и **геодезических** методов:

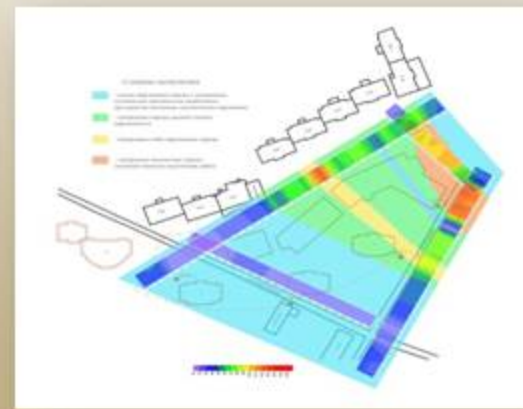
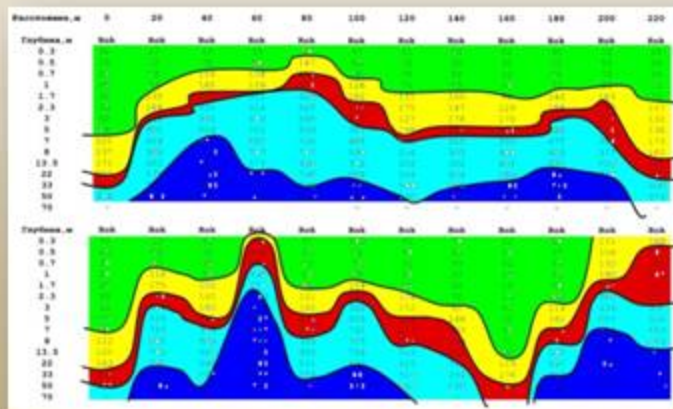
Аппаратурно-методическое обеспечение:

➤ Электроразведочное оборудование – комплекс «Березка»



Область применения – зондирование массива горных пород до глубины 70-100 метров с целью изучения тектонического строения массива горных пород, расчленения глубинного строения по прочностным показателям, обводненности и т.п., поиск подземных вод

Примеры использования:



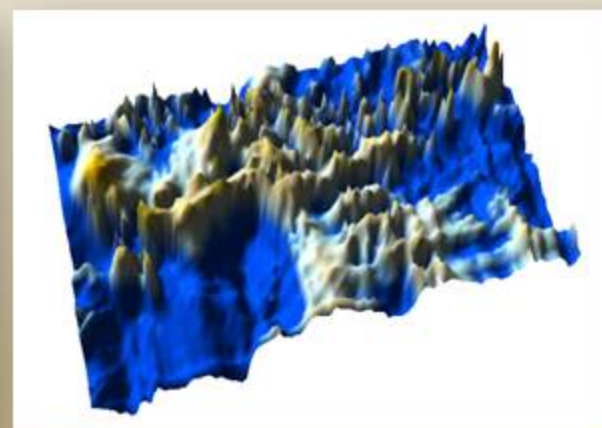
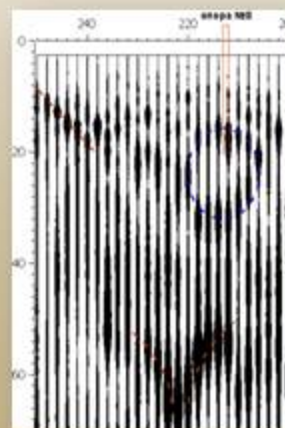
Аппаратурно-методическое обеспечение:

➤ Спектральное сейсмопрофилирование – комплекс ССП



Область применения –
зондирование массива горных пород до глубин 100-200 метров с целью изучения структурных неоднородностей, поиска выработок и карстов, уточнения инженерно-геологического строения массива

Примеры использования:



Аппаратурно-методическое обеспечение:

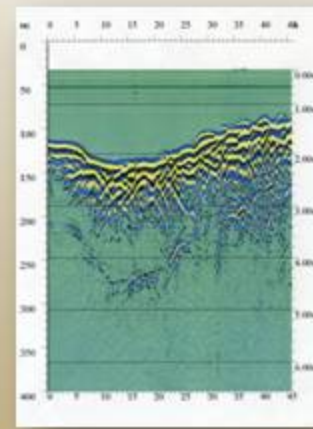
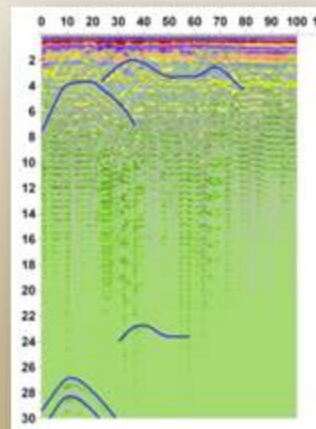
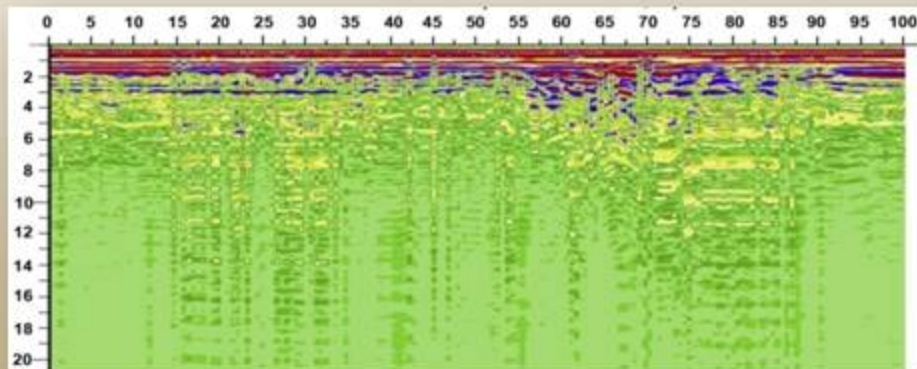
➤ Георадарное зондирование – георадары «Око» и «Грот-10»



Область применения – зондирование массива горных пород до глубины 30 метров с целью изучения структурных неоднородностей, поиска выработок и карстов, уточнения инженерно-геологического строения, изучение речного дна



Примеры использования:



Аппаратурно-методическое обеспечение:

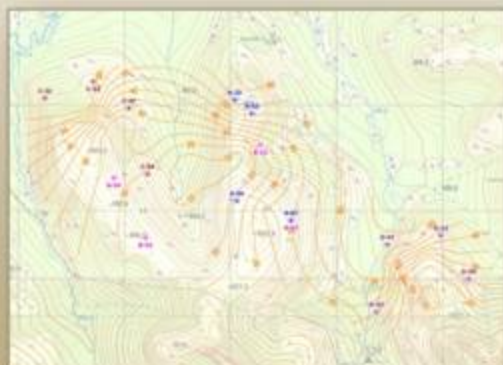
➤ Комплексы спутниковой геодезии фирм Trimble и Zeiss

Область применения

- ❑ Определение полных векторов смещения наземных реперов с применением технологий спутниковой геодезии GPS
- ❑ Определение параметров короткопериодных циклических современных геодинамических движений непрерывными наблюдениями с помощью GPS-технологий



Примеры использования:



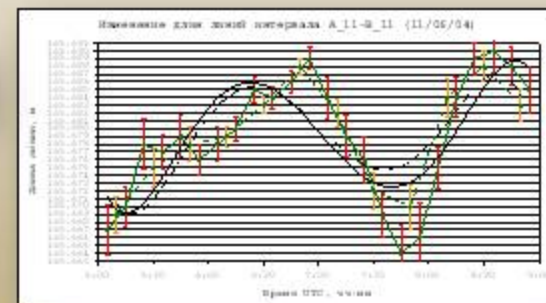
Векторы смещения реперов и их относительные погр., % (по средним значениям)

В таблице 111 векторов

Геодезическая точка	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
111-112		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-113			0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-114				0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-115					0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-116						0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-117							0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-118								0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-119									0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-120										0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-121											0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-122												0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-123													0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-124														0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-125															0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-126																0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-127																	0.16	0.17	0.18	0.19
111-128																		0.17	0.18	0.19
111-129																			0.18	0.19
111-130																				0.19

В таблице 112 векторов

Геодезическая точка	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
111-112		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-113			0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-114				0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-115					0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-116						0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-117							0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-118								0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-119									0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-120										0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-121											0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-122												0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-123													0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-124														0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-125															0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-126																0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
111-127																	0.16	0.17	0.18	0.19
111-128																		0.17	0.18	0.19
111-129																			0.18	0.19
111-130																				0.19



Разработка и использование методики при инженерных изысканиях:

➤ Первые шаги по изучению карста сотрудниками лаборатории были сделаны на Красногорском участке газопровода «Бухара-Урал» в Челябинской области. Проблема заключалась в образовании воронок обрушения, захватывающих нитки газопровода и ведущие к его оголению.

На тот момент времени лаборатория располагала только оборудованием для проведения электроразведки АНЧ-З и комплексом односторонней спутниковой геодезии



Ее использование позволило определить причины активизации процессов карстообразования, связанные с тектоникой, связанной с ней повышенной геодинамической активностью и скважинным водозабором