



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова
Кафедра Геофизики

«Геолого-геофизические методы поисков и разведки рудных месторождений»

для специальности 6M074700
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»

Докт. геол.-минерал. наук Истекова С.А.

Лекция 14

■ Применение сейсморазведки
при решении задач рудной геологии

Сейсморазведка – геофизический метод исследования строения Земли и геологической среды, поисков и разведки нефти и газа и других полезных ископаемых.

Изучает распространение упругих волн, возбуждённых искусственно с помощью тех или иных источников (взрывов, ударов).

Геологические задачи решаемые сейсморазведкой

Все существующее многообразие ставящихся перед сейсморазведкой задач условно можно свести к **двум группам**.

К **первой группе** можно отнести совокупность задач, связанных с изучением формы и местоположения в пространстве различных геологических и физических образований в *изучаемой части геологической среды*. Эту группу задач сейчас принято называть **структурными задачами сейсморазведки, или задачами по получению волновых сейсмических изображений геологической среды**.

Ко **второй группе** принято относить задачи, связанные с изучением характера распределения различных **физических и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС)** в некоторой области среды (резервуара), где предполагается наличие залежей углеводородов.

При распространении упругих волн на границе слоёв, где скорость меняется, могут образовываться

- ✓ Отражённые,
- ✓ Преломленные,
- ✓ Рефрагированные,
- ✓ Дифрагированные и др.

- Регистрируя эти волны на земной поверхности можно получить информацию о скоростном разрезе, а по нему судить о геологическом строении.
- Методика сейсморазведки основана на изучении кинематики волн (времени пробега различных волн от пункта их возбуждения до сейсмоприёмников), которые улавливают скорость смещения почвы.
- В специальных сложных установках (сеймостанциях) электрические колебания, созданные в сейсмоприёмниках очень слабыми колебаниями почвы, усиливаются и автоматически регистрируются на сейсмограммах, в результате их интерпретации можно определить глубины залегания сейсмогеологических границ, их падение, простирание, скорости волн.

По типу регистрации волн различают 2 основных метода:

МОВ – метод отражённых волн

МПВ – метод преломлённых волн

По решаемым задачам
различают сейсморазведки.

- глубинную,
- структурную,
- нефтегазовую,
- рудную,
- инженерную

По месту проведения
сейсморазведка подразделяется
на

- наземную (полевую),
- акваториальную (морскую),
- скважинную,
- подземную.

По частотам колебаний:

- высокочастотную (>100 Гц)
- среднечастотную (≈ 10 Гц)
- низкочастотную (<10 Гц)

Чем выше частота упругих волн, тем больше их затухания и меньше глубинность разведки.

Применение сейсморазведки при решении геологических задач

- Сейсмические методы разведки используются в основном при решении различных задач структурной геологии.
- В основном сейсморазведка применяется при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, тесно связанных с определенными структурными формами вмещающих пород.
- К таким полезным ископаемым в первую очередь относятся нефть и природный газ, поэтому сейсморазведка наиболее актуальна в решении задач нефтяной и газовой геологии.
- Метод применяют при изучении региональных особенностей строения земной коры, для решения инженерно-геологических и рудных задач.
- Большое значение имеет рациональное сочетание различных методов изучения геологического строения земной коры, в частности, различных геофизических методов.
- Ввиду высокой стоимости сейсморазведки ее следует применять для решения только таких задач, которые не могут быть решены другими методами с необходимой точностью.
- Во многих случаях данные сейсморазведки могут быть использованы в качестве опорных для истолкования результатов других геофизических методов.

Глубинная сейсморазведка

- Предназначена для изучения глубин от 5 - 10 км до нескольких десятков километров.
-
- Она проводится методами *глубинных сейсмических зондирований* (ГСЗ) или профилирований (ГСП), отличающихся кусочно-непрерывным или непрерывным прослеживанием глубинных - в основном, преломленных, реже отраженных, которые быстрее затухают с глубиной - волн вдоль региональных профилей (геотраверсов).
 - Возбуждение упругих колебаний осуществляется большими взрывами. Регистрация сверхнизкочастотных упругих колебаний (1 - 20 Гц) ведется на расстояниях 50 - 300 км от пунктов взрыва.
 - Глубинная сейсморазведка применяется для решения следующих задач:
 - · расчленения Земли на оболочки;
 - · картирования подошвы земной коры - поверхности Мохоровичича;
 - · выявления границ в земной коре, глубинных разломов, разных типов земной коры;
 - · изучения поверхности кристаллического фундамента.
 - По данным сейсмологии и глубинной сейсморазведки получена модель расчленения Земли на оболочки по скоростям продольных (P) и поперечных (S) волн

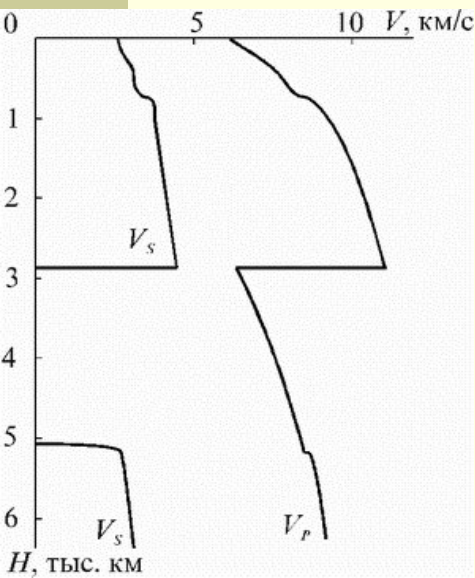


**Участок сейсмического разреза земной коры и данные гравиметрии вдоль профиля
глубинного сейсмического зондирования в районе северо-западного продолжения
Большого Каратау (по Т. И. Облогиной):**

- 1 — изолинии скорости продольных волн; 2 — отражающие площадки;
- 3 — зоны тектонических нарушений, выделенные по точкам дифракции;
- 4 — граница Мохо; 5 — нижние и верхние ограничения гравитирующих тел;
- 6 — разломы, выделяемые по полосам повышенных градиентов силы тяжести (стрелки указывают направление разуплотнения);
- 7 — количественные характеристики разломов: перед дробью — горизонтальный скачок плотности (г/см^3), над и под чертой — глубины верхнего и нижнего ограничений гравитирующих тел

Глубинная сейсморазведка

- По распределению скоростей упругих волн и их градиентов Землю делят на следующие оболочки.
- Сверху залегают осадочные породы мощностью от 0 до 15 км и подстилающий их кристаллический фундамент.
- Вместе с нижезалегающими породами они образуют земную кору, мощность которой меняется от 5 км на океанах до 70 км в некоторых горных областях.
- Подошва земной коры называется поверхностью Мохоровичича (М-поверхностью или Мохо). Она характеризуется резким скачком (от 7 до 7,9 - 8,2 км/с) и отделяет земную кору от верхней мантии.
- Последнюю разделяют на литосферу (каменную оболочку) мощностью 60 - 100 км и астеносферу (полупластичную оболочку с небольшим понижением скоростей, простирающуюся до глубин 300 - 400 км).
- На глубине 900 км по изменениям градиентов скоростей выделяют нижнюю мантию. С глубин 2900 км по скачку и выделяют верхнее ядро, которое считается "жидким", так как через него не проходят поперечные волны. С глубин 5100 км залегает нижнее ядро.



Строение континентальной и океанической земной коры, изучаемое сейсморазведкой, гравиразведкой и магнитотеллурическими исследованиями, позволило выделить в них структуры разного порядка и глубинные разломы.

Глубинные разломы и тектонические нарушения по данным МОВ выделяются нарушением прослеживаемости горизонтов, а по данным МПВ - скачками в глубинах залегания преломляющих границ.

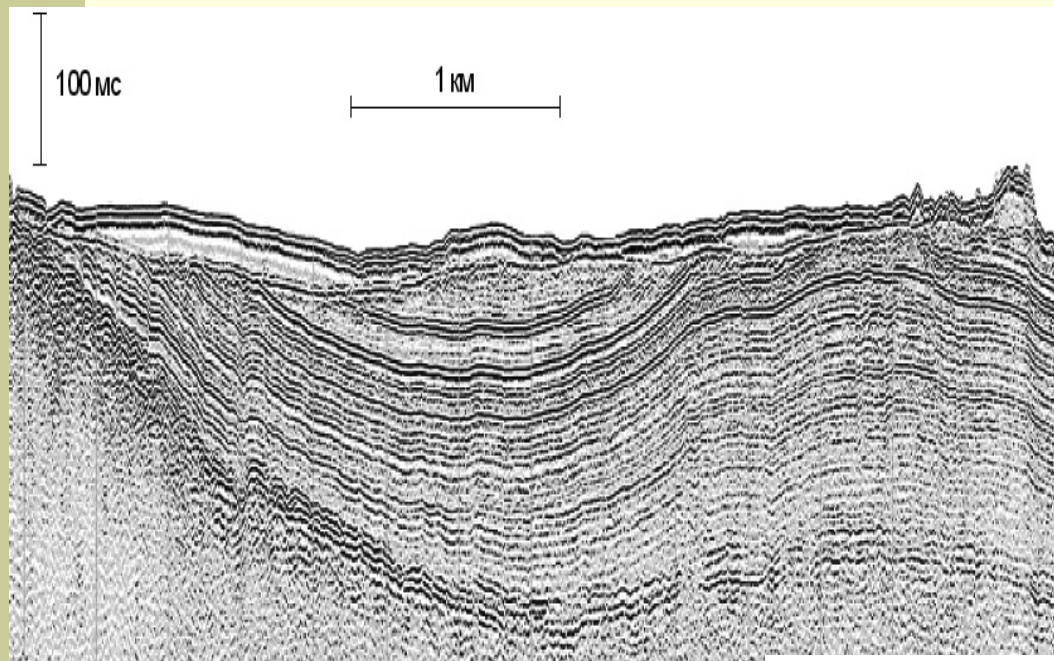
Поверхность фундамента под осадочными породами является опорной преломляющей и отражающей границей и с успехом картируется МПВ и МОВ.

Структурная сейсморазведка

- Структурная сейсморазведка - одно из основных направлений сейсморазведки.
- Структурная сейсмическая разведка, кроме решения задач структурной геологии, имеет четкую практическую направленность на построение структурно-тектонических моделей разреза.
- Она проводится на суше, на морях, океанах, вдоль рек и имеет дело с глубинами исследования до 10 км.
- Структурные задачи решаются методом отраженных волн. Метод преломленных волн играет подчиненное значение и служит для картирования поверхности фундамента и выделения высокоскоростных слоев в осадочном чехле.
- В результате рекогносцировочного и частично поискового сейсмогеологического районирования выделяются следующие четыре типа разрезов с различной эффективностью применения сейсморазведки.
- **I. Древние платформы** (Русская, Восточно-Сибирская) характеризуются двух-трехэтажным сейсмогеологическим строением, пологими структурами, выдержанностью отражающих и преломляющих границ. Под сейсмогеологическим этажом понимается толща, для изучения которой требуется применение специфической методики наблюдений и интерпретации - иными словами, это сравнительно однородная толща горных пород, иногда четко не расчленяемая по сейсмическим данным. Для поисков нефтегазоносных структур в этих регионах необходима детальная высокоточная сейсморазведка с точностью определения глубин около 25 м.
- без остановки судна.

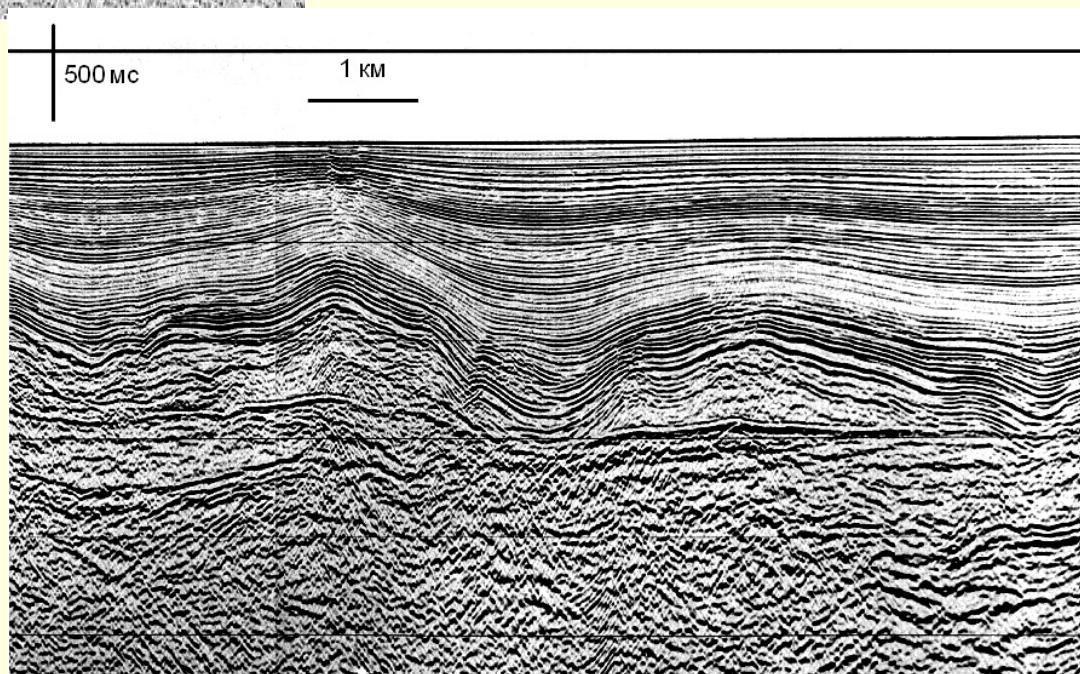
Структурная сейсморазведка

- **II. Молодые платформы** (Западно-Сибирская, Среднеазиатская, Предкавказская) отличаются одно- и двухэтажным строением, большой амплитудой структур, выдержанностью отражающих границ в этажах и преломляющих на границах этажей и по кровле фундамента. Поиски нефтегазовых структур в этих районах проводятся довольно успешно, так как сейсморазведка обеспечивает сечение сейсмогеологических карт и разрезов до 50 м.
- **III. Зоны кайнозойской складчатости** (Кавказ, Карпаты, Средняя Азия, Сахалин и т.п.) характеризуются крупными, сложными структурами с большими углами наклона. Как правило, здесь отражающие границы прослеживаются в виде отдельных отражающих площадок. Основную роль играет МПВ. Для определения скоростей нужны скважины. Сейсморазведка дает результаты пониженной точности (сечение карт свыше 100 м).
- **IV. Глубинные впадины на платформах** (Прикаспийская, Днепровско-Донецкая, Вилуйская и др.) характеризуются сложным многоэтажным строением с явлениями диапиризма, наличием соляных куполов. В подобных условиях применяются МПВ, МОВ. Точность сейсморазведки такая же, как и для III типа сейсмологического разреза.
- Для решения задач структурной геологии широко применяется морская и речная сейсморазведка. Морская сейсморазведка - один из наиболее быстрых методов сейсморазведки. Работы ведутся в модификации НСП, МОВ, МПВ специальной автоматической аппаратурой

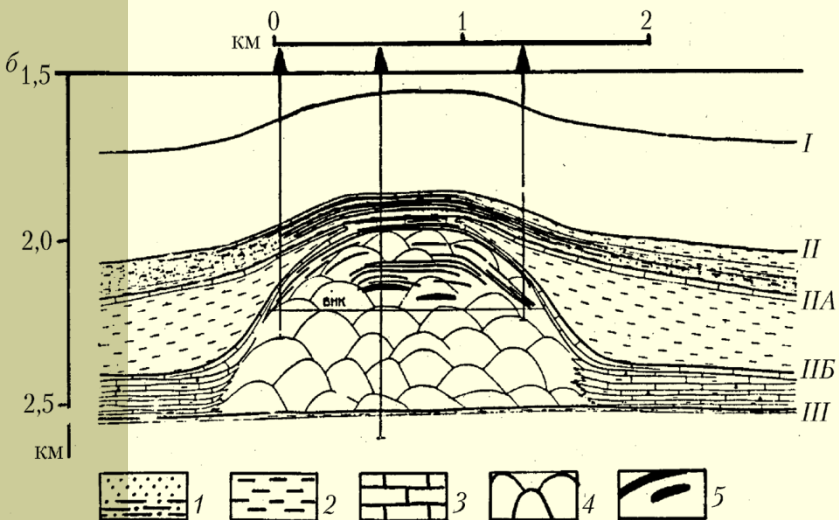
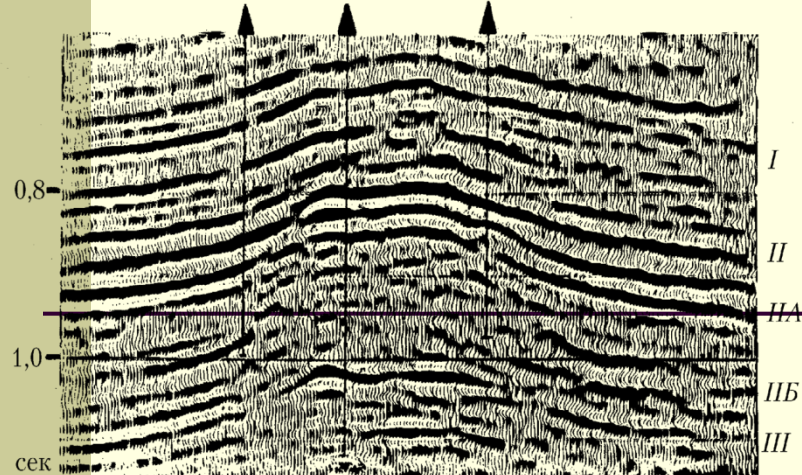


Участок временного сейсмического разреза НСП, полученного в шельфовой зоне Баренцева моря (материалы С. М. Клещина)

Временной разрез, полученный в результате обработки морских сейсмических материалов МОВ-ОГТ



а



Временной сейсмический (а) и геологический (б) разрез по профилю глубоких скважин

I, II, IIA, IIB, III — отражающие горизонты;

1 — песчаники, алевролиты; 2 — аргиллиты;

3 — известняки мелководные; 4 — карбонатные

рифогенные породы; 5 — нефтенасыщенные пласты

Нефтегазовая сейсморазведка

В результате структурных геолого-геофизических исследований практически все перспективные на нефть и газ районы на суше и морском шельфе выявлены.

В этих районах, начиная с более перспективных, ведутся площадные поисково-разведочные сейсмические работы методом МОВ - МОГТ.

По условиям формирования и залегания нефтяные месторождения располагаются на глубинах 1,5 - 4 км, а газовые - на глубинах 3 - 6 км.

Главное назначение сейсморазведки - поиск структур, благоприятных нефтегазонакоплению. Это такие зоны осадочных (реже изверженных) пород, в которых имеются пористые породы (коллекторы), например, пески, трещиноватые скальные породы, перекрытые непроницаемыми породами (экранами), например, глинами.

Все они при высоком качестве проведения полевых работ и цифровой обработке информации визуально прослеживаются на разрезах: временных по данным МОВ (лучше МОГТ) и глубинных (МОВ - МОГТ), на структурных картах по кровле опорных горизонтов, на картах мощностей коллекторов или экранов. Точность в определении глубин должна быть не менее 100 м.

Нефтегазовая сейсморазведка.

- Разведка структур проводится сложными интерференционными системами МОГТ в сочетании с сейсмоакустическими исследованиями поисковых скважин. Точность в определении изменений мощностей пород в ловушках должна достигать 25 м.
- В результате детальной сейсморазведки выявляются местоположение структур и их глубины, где возможно скопление нефти или газа (таких в среднем одна треть).
- Прямые поиски нефти и газа в выявленных ловушках - задача очень сложная. Она требует детального анализа кинематики (скоростей) и динамики (затуханий) сейсмических волн (например, отношение является индикатором флюидонасыщенности). Прямые поиски более эффективны, если сейсморазведка комплексирована с высокоточной гравиразведкой, электромагнитными зондированиями, термическими и ядерными исследованиями в неглубоких скважинах. Разумеется, необходимо вести бурение самых перспективных структур. При благоприятном исходе такие скважины становятся промышленными для добычи нефти и газа.

Рудная сейсморазведка.

- При поисках и разведке различных рудных месторождений сейсморазведка применяется значительно реже, чем нефти и газа. Это объясняется сложным сейсмогеологическим строением рудных районов.
- Рудная сейсморазведка применяется для:
- · определения мощности наносов, картирования поверхности коренных пород и мощности зоны выветривания;
- · выявления структур, благоприятных рудонакоплению, и изучения внутренней структуры рудных полей;
- · картирования под наносами крутозалегающих пластов, метаморфических и изверженных пород;
- · трассирования тектонических нарушений, зон дроблений, трещиноватости.

Рудная сейсморазведка

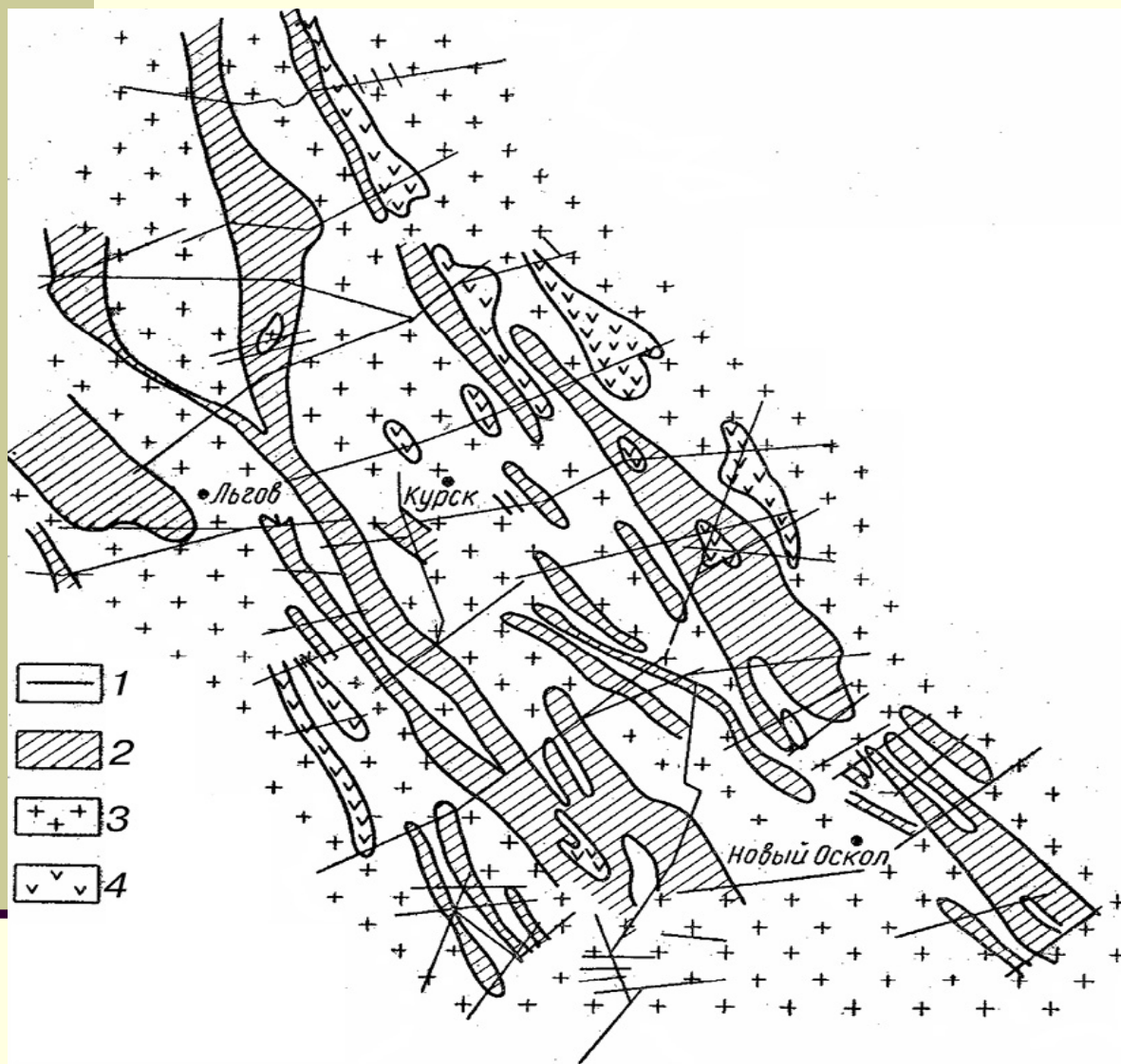
- Непосредственные (прямые) поиски и разведка рудных месторождений с помощью сейсморазведки практически не проводятся. Основным методом рудной сейсморазведки длительное время являлся лишь метод преломленных волн. Особенно широко МПВ применяется для изучения поверхности коренных пород. Скользящая преломленная волна, распространяясь вдоль поверхности коренных пород, позволяет определить глубину их залегания, граничную скорость, выявлять зоны их нарушений, трещиноватости. В последние годы в рудной сейсморазведке применяются и другие классы волн: обменные, отраженные, рефрагированные.
- **Работы проводятся с помощью сейсморазведочных станций в высокочастотной модификации (частоты колебаний 100 - 400 гц), что обеспечивает большую разрешающую способность сейсмических наблюдений**

В рудных районах сейсморазведка

- *решает следующие задачи:*
- а) региональное исследование рудных провинций и районов;
- б) выявление и изучение отдельных рудоконтролирующих структур;
- в) изучение структуры рудных полей и выявление площадей, перспективных в отношении содержания рудных тел.

При региональных исследованиях рудных провинций

- *работают в основном методом преломленных волн.*
- Изучению подвергаются территории площадью в несколько сотен квадратных километров.
- Изучаются рельеф коренных пород под наносами, границы в метаморфических толщах, проводится картирование литологических комплексов под покрывающими отложениями.
- При изучении рудных районов применение МПВ позволяет производить картирование по признаку величины граничной скорости.
- Во многих случаях это позволяет локализовать зоны, интересные с точки зрения проведения последующих детальных исследований



Карта граничных скоростей (v_r) пород докембрия КМА (по С. М. Таруц, И. И. Гурвичу):

1 — сейсмические профили МПВ; 2 — область $v_r < 5,7$ км/с;
3 — область $5,7 \text{ км/с} < v_r < 6,0$ км/с; 4 — область $v_r > 6,0$ км/с

При изучении и прослеживании рудоконтролирующих структур

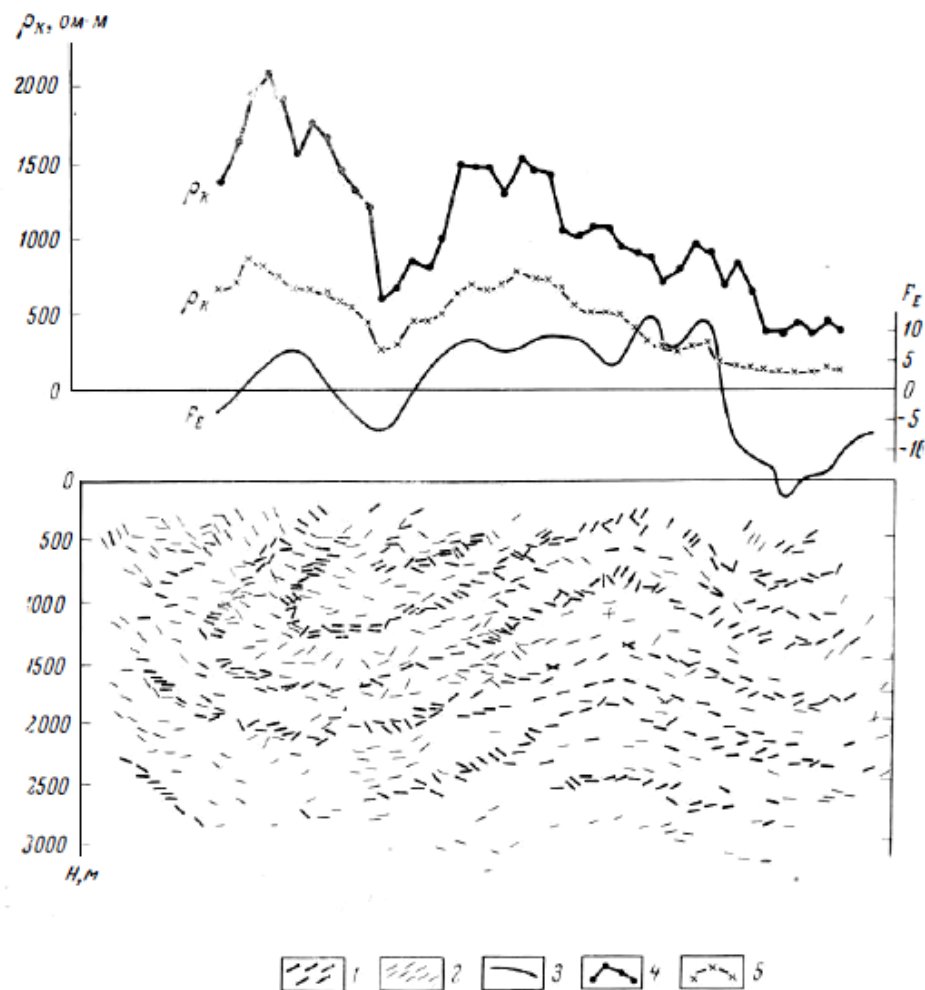


Рис. 5. Результаты работ методом регулируемого направленного приема. Джеккаган (по А. С. Волоху и А. М. Котлярову)

1 — отражающие площадки наиболее уверенного направления; 2 — менее уверенные отражающие площадки; 3 — график функции F_E (средних вторых производных потенциала гравитационного поля); 4 — графики ρ_k -симметричной установки электропрофилирования при $AB=2000 m$; 5 — то же при $AB=680 m$

- Применяют как МПВ, так и МОВ.
- С помощью этих методов удастся регистрировать волны, возникающие в ослабленных зонах связанных с тектоническими нарушениями, к которым приурочены рудные поля.
- Применение МОВ позволяет также изучать тектонику до глубин 1–2 км, что имеет важное значение для объяснения процессов рудообразования и направления поисковых работ.

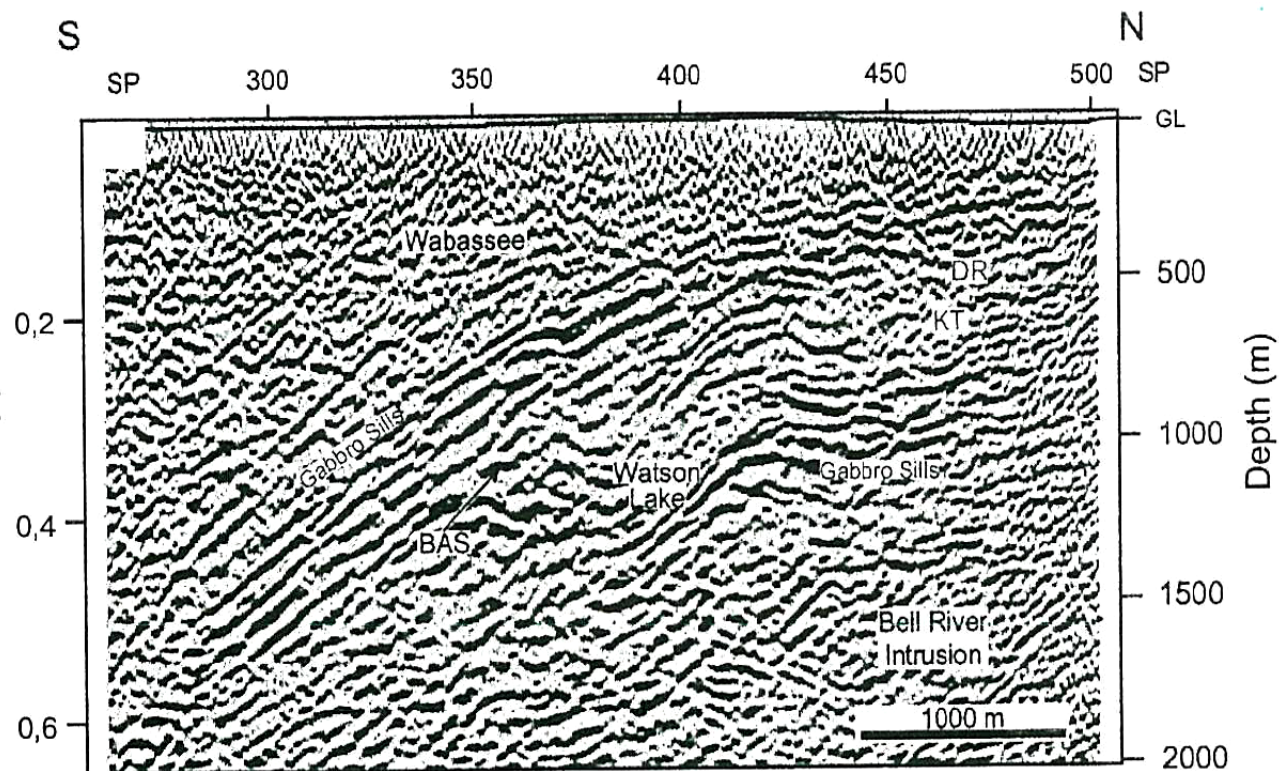


Рис. 2. Мигрированный разрез ОГТ, полученный на сейсмическом профиле через южный фланг месторождения Matagami, Канада [26]:

прослежены два чётких волновых пакета рассеянных отражённых волн, сходящиеся на уровне средней части профиля. Наиболее интенсивные фазы верхнего волнового пакета отождествляются с контактами между базальтами, риолитами и габбро, а нижнего - с положением пластовой интрузии габбро. Зона “приклинивания” отражённых волн отождествляется с отложениями массивных руд сульфидов

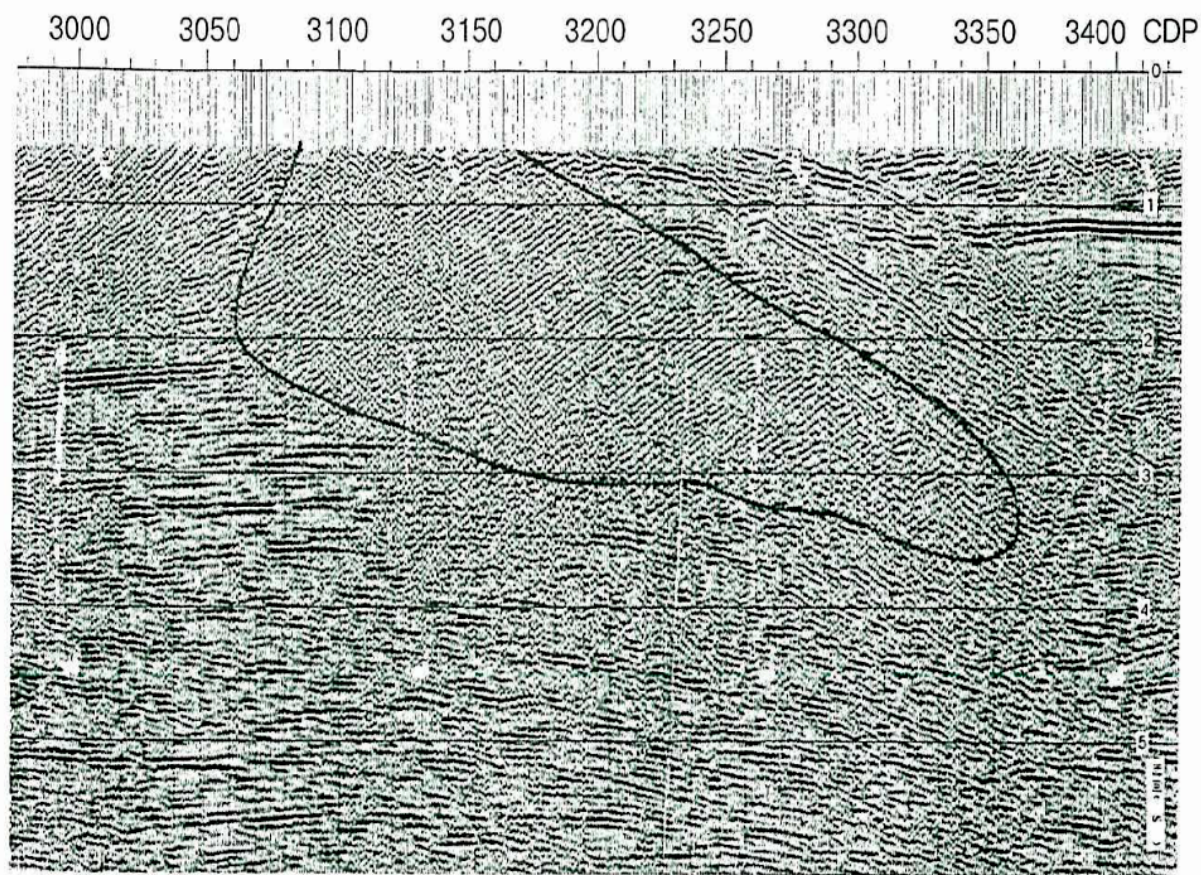


Рис. 4. Временной разрез ОГТ через гранитоидную интрузию в слоистой среде:
контуры интрузии соответствуют положению разрыва корреляции отражений от границ вмещающей толщи (по Xu Mingcai, Китай)

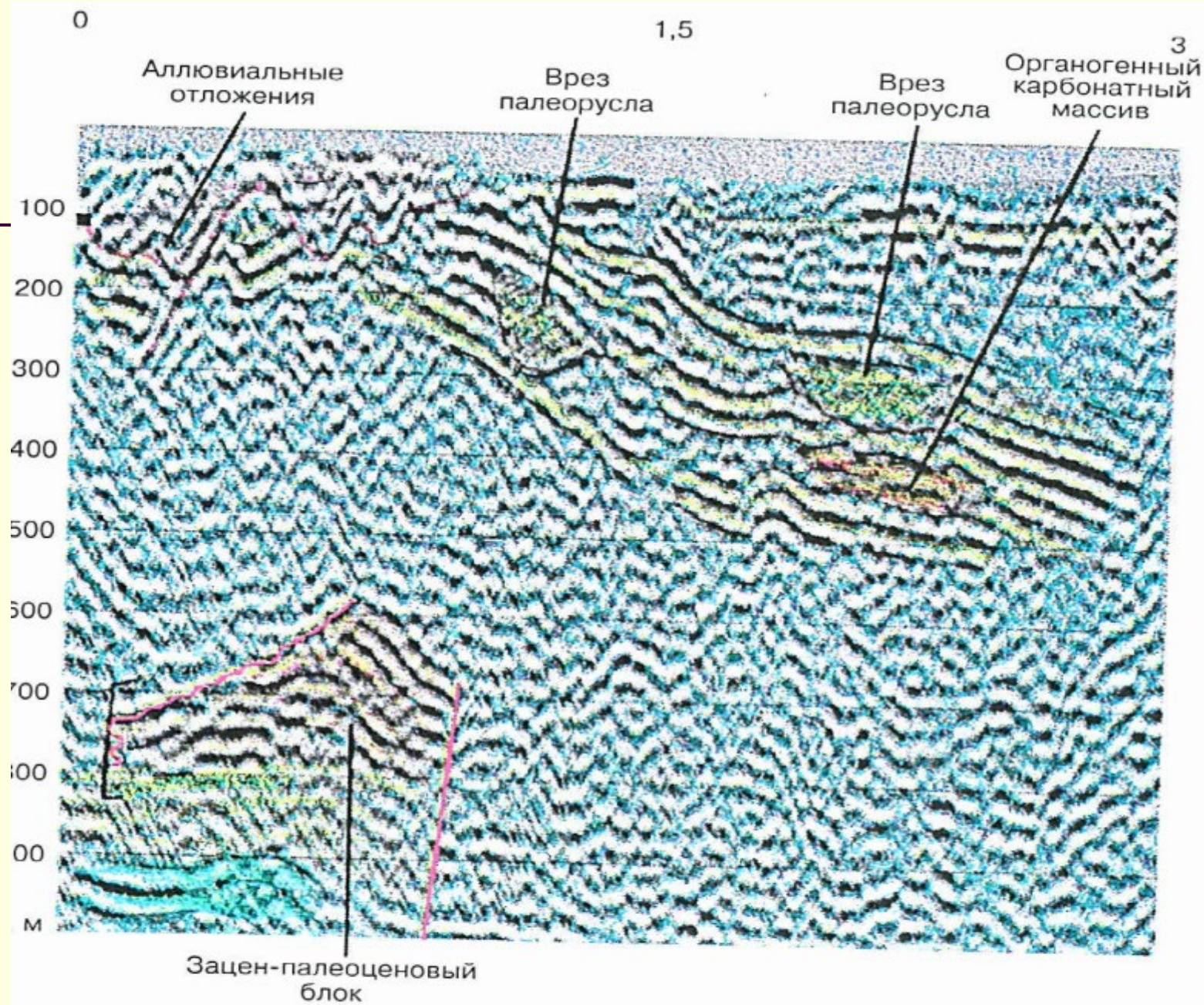


Рис. 5. Временной разрез ОГТ по профилю 010401

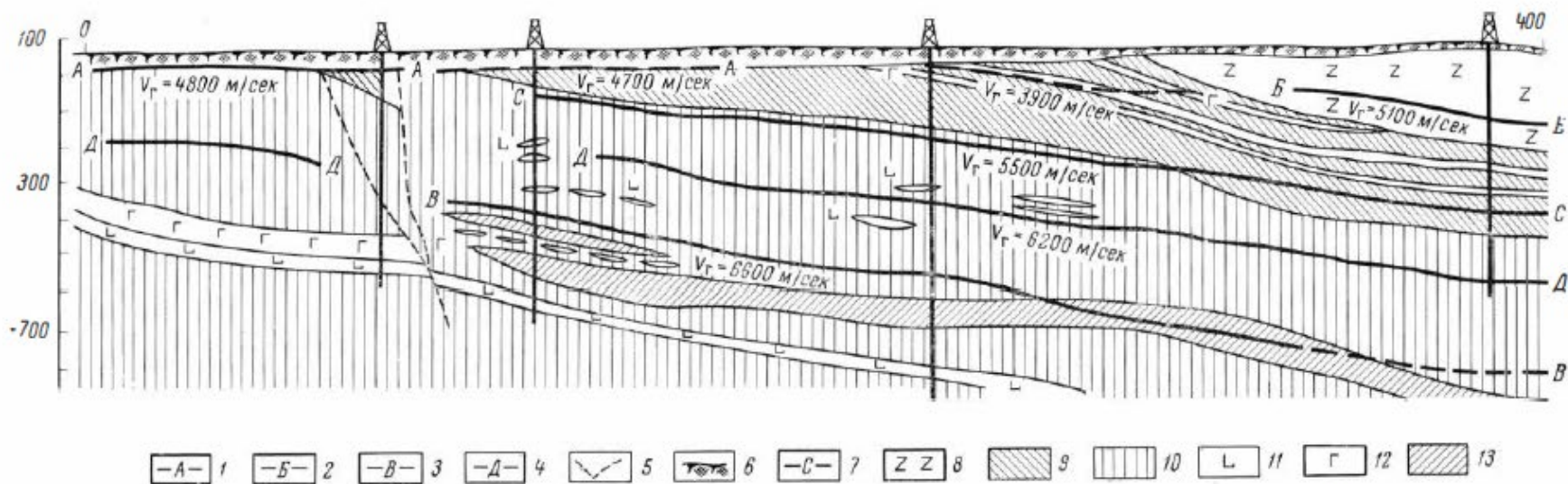


Рис. 15. Сопоставление сейсмического разреза с геологическим, построенным по данным последующего бурения. Норильский рудный район (по О. И. Калинин)

1 — сейсмический горизонт, относящийся к кровле коренных пород; 2 — сейсмический горизонт, фиксируемый в толще базальтов; 3 — сейсмический горизонт, характеризующий рудоносную дифференцированную интрузию; 4 — сейсмический горизонт, залегающий вблизи контакта карбонатных и гипсоносных отложений деона; 5 — зона тектонических нарушений; 6 — четвертичные отложения; 7 — сейсми-

ческая граница, связанная с поверхностью карбонатно-сульфатных и терригенных отложений; 8 — базальты; 9 — терригенные отложения пермо-карбона; 10 — карбонатно-сульфатные и терригенные отложения деона; 11 — недифференцированная интрузия габбро-долеритов; 12 — габбро-долериты оливинодержущие; 13 — габбро-долериты такоитовые, оливиновые, контактовые.

При детальном исследовании,

- направленных на изучение структуры рудных полей в изверженных и метаморфических отложениях, сейсморазведка встречается со значительными трудностями, вызванными сложностью их строения, малой скоростной дифференциацией пород, неустойчивостью их скоростных характеристик, а также сравнительно небольшими размерами искомых объектов.
- Для преодоления этих трудностей целесообразно комплексирование сейсморазведки с другими геофизическими методами (в первую очередь с электро- и магниторазведкой) и бурением.
- При исследовании россыпных месторождений сейсморазведка успешно применяется как для расчленения разреза, так и для поиска перспективных структурных объектов.

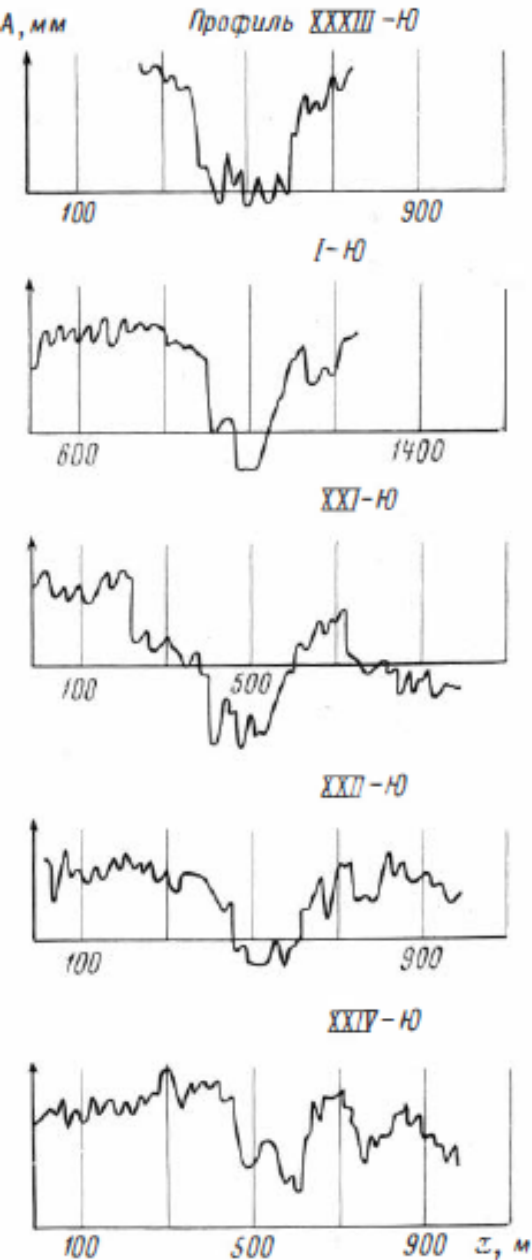


Рис. 1 Корреляционная схема динамических годографов по сейсмическим профилям Белозерского месторождения. Расстояние между профилями 50 м. Глубокий максимум амплитудных кривых характеризует зону оруденения (по В. Б. Соллогубу, Е. К. Лоссовскому)

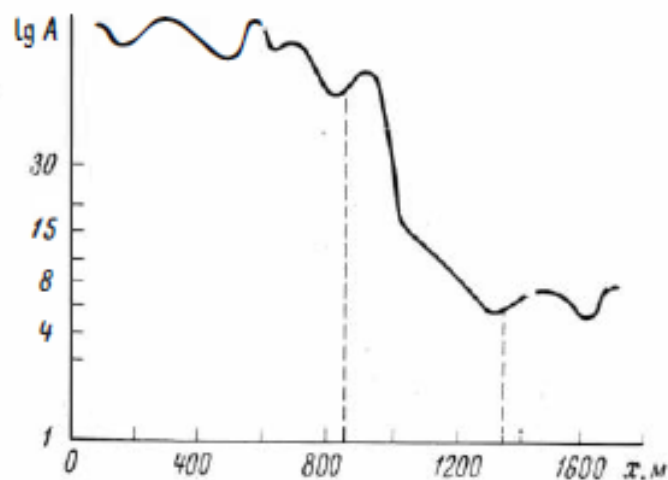
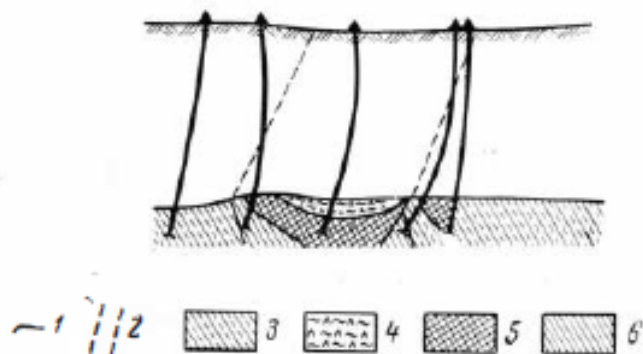


Рис. 2 Затухание амплитуд сейсмических волн на участке залегания богатых железных руд КМА (по Н. Г. Шмидту)

1 — кривая изменения поглощения энергии упругих волн; 2 — снос сейсмического луча; 3 — сланцы; 4 — рудная брекчия; 5 — руда; 6 — железистые кварциты



При детальных исследованиях

Выделение по сейсмическим разрезам:

- синклинальных складок,
 - крутопадающих тектонических структур,
 - V-образных тектонических нарушений,
 - дуговых и кольцевых структур относительно «ядра», в котором размещена продуктивная рудовмещающая область,
 - совпадения установленных геологических границ с границами , выявленных после статистической обработке временного поля
- позволяет использовать метод для решения конкретных геологических задач
- и открывает перспективное направление сейсмических исследований

Сейсморазведка МОВ ОГТ на малых глубинах

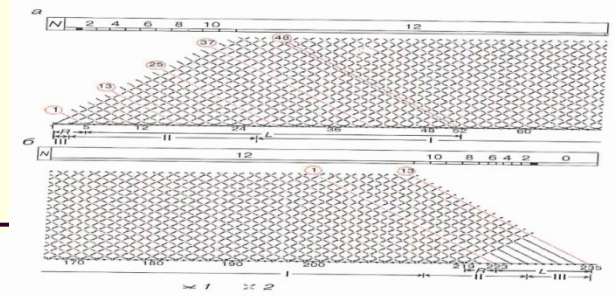


Рис. 3. Правая фланговая схема наблюдения: а - набор кратности; б - сброс кратности; 1 - пикеты возбуждения (ПВ), 2 - пикеты приема (ПП); цифры в кружках - номера каналов в расстановке; L - активный участок расстановки; I - участок профиля полной кратности наблюдения; II - участок профиля набора (сброса) кратности наблюдения; III - участок профиля, для которого нет общих глубинных точек; N - кратность наблюдения

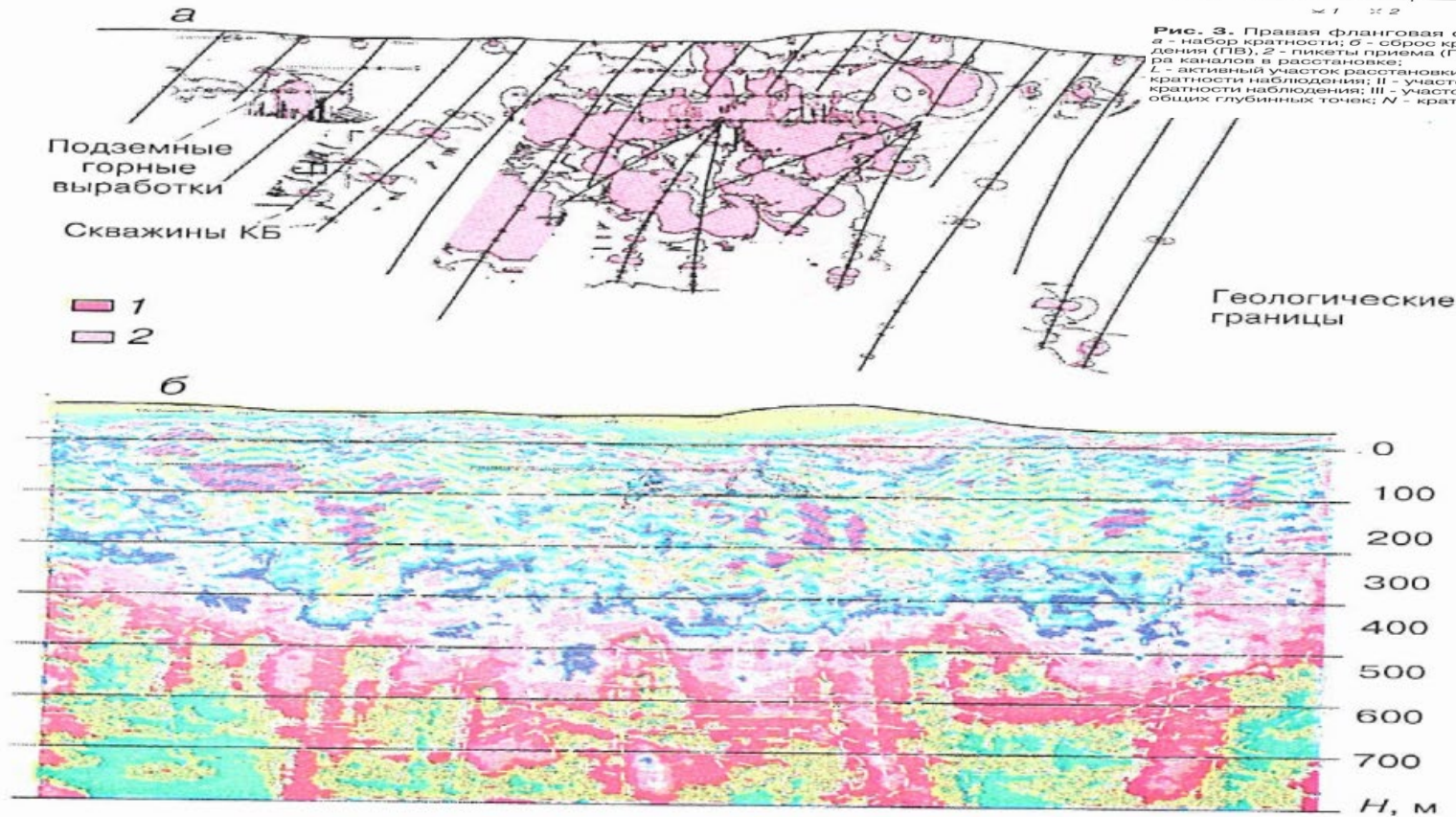


Рис. 4. Отражение геологической структуры рудной залежи (а) в сейсмическом разрезе (б) по пр. +70 (корреляция мгновенных фаз): золото: 1 - более 1,0 г/т, 2 - 0,4... 1,0 г/т; белым пунктиром показаны структурные линеаменты сейсмического поля

Применение высокоразрешающей 3D сейсморазведки на рудных месторождениях

- В связи с возникновением проблемы поисков глубоко залегающих рудных объектов, возросшей трудоемкостью и стоимостью буровых работ, поставленные задачи, сегодня все чаще решаются с широким применением более дешевых геофизических методов поисков и разведки твердых полезных ископаемых.
- Традиционные геофизические исследования в горнодобывающей промышленности, в значительной степени, опираются на потенциальные полевые и электромагнитные методы, как воздушные, так и наземные. Магнито-, грави- электроразведка различных модификаций сегодня эффективно используются для выявления перспективных объектов и планирования поискового бурения, залегающие на глубинах менее 500

Сейсмические методы в рудной геологии

- Сейсмические методы общепризнано обеспечивают достаточную глубину проникновения и хорошую разрешающую способность для глубокой разведки, но преобладающее мнение специалистов горнодобывающего сектора, до не давнего времени заключалось в том, что сейсмическое профилирование является экономически неэффективным для решения задач рудной геологии.
- Кроме того, часто высказывается мнение о низкой информативности недостаточно интенсивных, неоднозначных отражений сейсмических сигналов, в связи с отсутствием понимания того, как наблюдаемые сейсмические сигналы коррелируются с особенностями глубинных неоднородностей геологической среды в рудных районах, в отличие от хорошо изученных, характерных для геологических комплексов осадочных (нефтяных) бассейнов

Сейсмические методы в рудной геологии

- Сегодня во всем мире (Австралия, Европа, Канада и Южная Африка) минеральная промышленность занимается исследованиями по, повышающие эффективность разведки твердых полезных ископаемых, залегающие на больших глубинах и освоения рудных залежей с использованием более эффективных и безопасных технологий.
- Многолетние исследования в Канаде изменили эту точку зрения, указав на возможную новую нишу для сейсмической разведки.
- Как и нефтегазовая промышленность, горнодобывающая промышленность является краеугольным камнем канадской экономики, где добыча твердых полезных ископаемых составляет порядка 12 млрд. долл. США в год.
- За некоторыми заметными исключениями (открытие никель-кобальтового месторождения в заливе Вуази в Лабрадоре) канадская горнодобывающая промышленность ищет новые месторождения руды для увеличения сокращающихся запасов на разрабатываемых сегодня месторождениях.
- Требование к выявлению глубоких рудоносных горизонтов до сегодняшнего дня стимулирует поиск новых технологий для снижения затрат и повышения эффективности бурения

Расположение крупных горнодобывающих провинций в Центральной и Восточной Канаде.



Зеленая зона показывает местоположение субпровинции Абитиби Канадского щита, одного из важнейшего горнорудного района.

Сейсмические методы

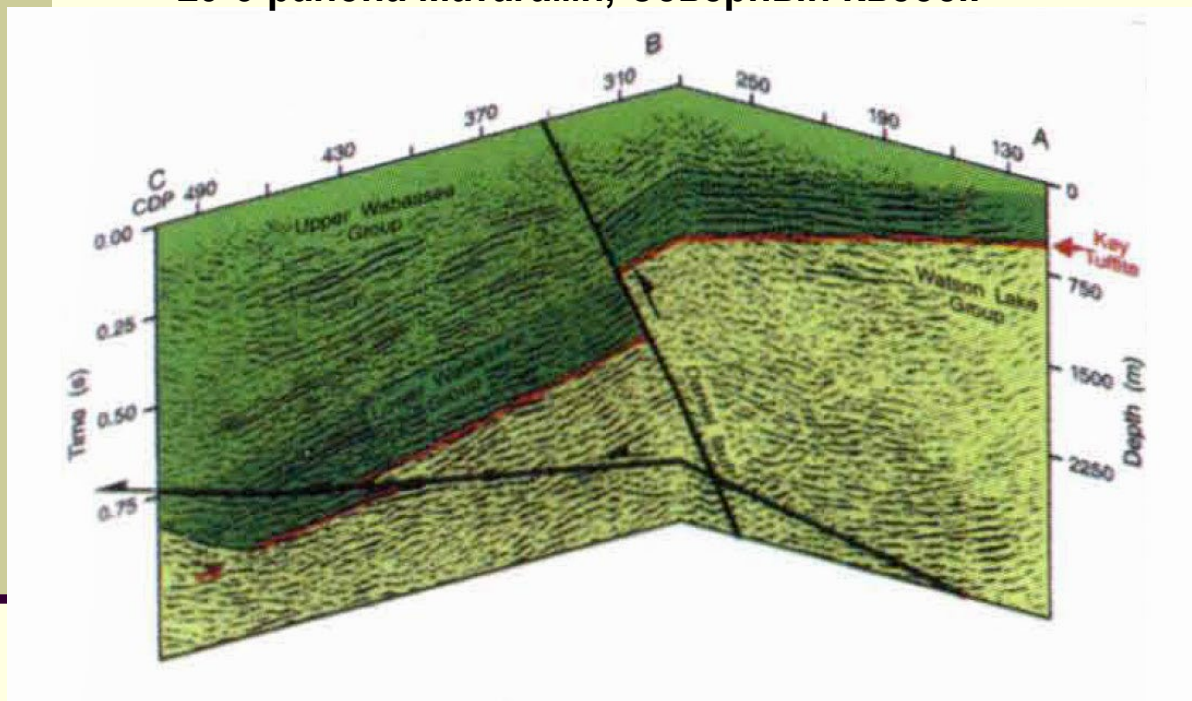
- С 1990 года государственная геологическая служба Канады в сотрудничестве с промышленностью осуществляет систематическую программу оценки использования методов сейсморазведки для поисков и разведки твердых полезных ископаемых.
- Сейсморазведочные исследования были осуществлены для изучения как региональных структур земной коры в рудных районах Онтарио и Квебеке, так и по опытным детальным профилям через важные районы добычи полезных ископаемых **в субпровинции Абитиби**

Детальные исследования осуществлялись с использованием высокочастотных параметров регистрации сейсмических сигналов (расстояние между источником и приемником 20м, развертка 30140Гц, 240 каналов, 120-кратное покрытие, интервал выборки 2мс, длина коррелированной записи 5с с разверткой 12с). Результаты этой работы показали, что рудовмещающие вулканогенные породы дают устойчивые отражения, отчетливо коррелирующиеся по простиранию на значительные расстояния. Эти работы, послужили толчком для дальнейших исследований с целью оценки использования многоканальной сейсморазведки (MCS) для изучения глубоких рудных горизонтов (до 2км и более) и проектирования эффективной технологии разработки месторождений.

Сейсмические методы в рудной геологии

Субпровинция Абитиб, Канада

Сейсмический разрез по линии высокого разрешения 29-3 района Матагами, Северный Квебек



На рисунке показан пример мигрированных сейсмических разрезов месторождений Матагами и Квебек, которые иллюстрируют отражения сейсмических волн, связанные с вулканическими рудовмещающими комплексами в рудной провинции Абитиб

■ Исследования упругих свойств горных пород показали, что ожидаемый разброс значений в акустическом импедансе между рудами и вмещающими породами достаточный для выделения наблюдаемых отраженных и (или) рассеянных волн.

■ Однако для того, чтобы рудная залежь была выделена с помощью MCS, она должна соответствовать геометрическим критериям, включающие минимальные толщины (обычно ~5 м) и протяженность (обычно ~ 100 м).

Сейсмические методы в рудной геологии

Субпровинция Абитибби Канада

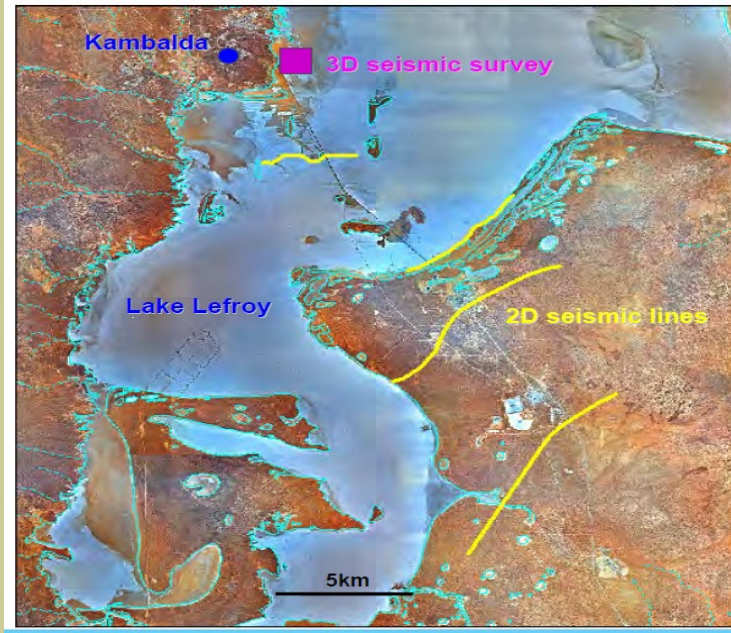
- Последующие сейсмические исследования, увязанные с данными скважин, показали, что литологические контакты между ультраосновными и кислыми породами, характеризующиеся хорошей петрофизической дифференциацией и значительной протяженностью массивов, являются также благоприятными для выделения их с помощью MCS метода.
- Однако на некоторых месторождениях, таких как Бучаны, лучше фиксируются структурные зоны (разломы, сдвиги, смещения пластов и т.д) чем литологические контакты.
- В обоих случаях эти исследования показали, что качественная регистрация и корректно обработанные сейсмические данные могут служить ценным геофизическим инструментом для интерпретации стратиграфического и структурного каркаса минеральных систем и, реже, прямого обнаружения глубоких рудных месторождений.

Сейсмические методы в рудной геологии

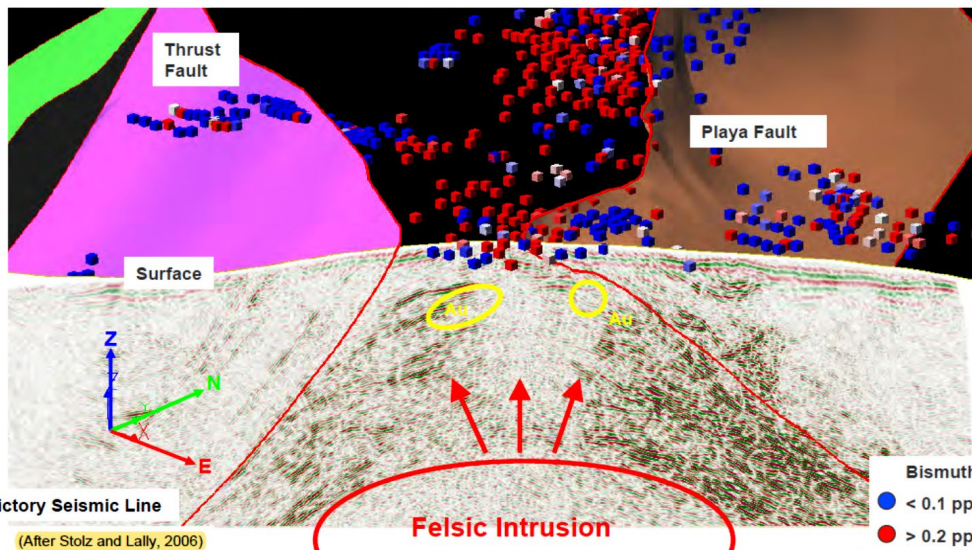
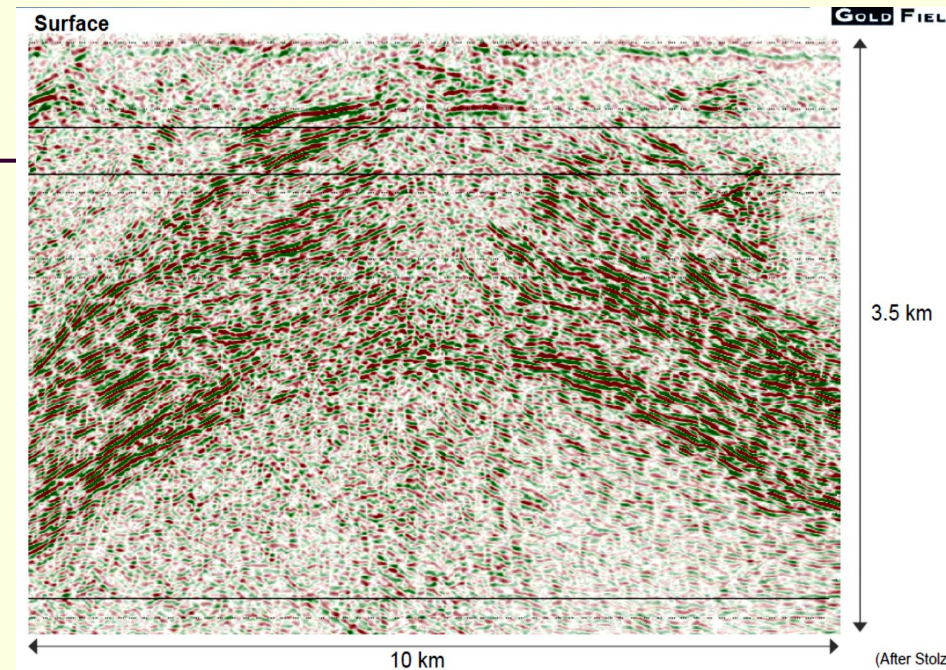
Месторождении Камбалда. Западная Австралия

- Комплексный анализ геолого-геофизических данных проведен австралийскими исследователями на месторождении Камбалда (западная Австралия).
- Сейсмическая съемка проведена по серии поисковых профилей (2D) и по площади непосредственно над рудной залежью (3D) .
- В результате показано, что сейсмические исследования (2D и 3D съемки) обеспечивают с достаточной степенью достоверности решение следующих геологических задач:
- - дифференциация геологического разреза по скорости распространения сейсмических волн и плотности горных пород;
- - выделения литолого-фациальных неоднородностей геологического разреза, стратиграфических комплексов, зон минерализации на глубине;
- - выделение флюидных зон и площади их распространения;
- - выделение контрастных по физическим параметрам (массивных) рудных залежей, их морфологию и геометрию.

Месторождение Камбалда (западная Австралия). Сейсмические 2 и 3D исследования



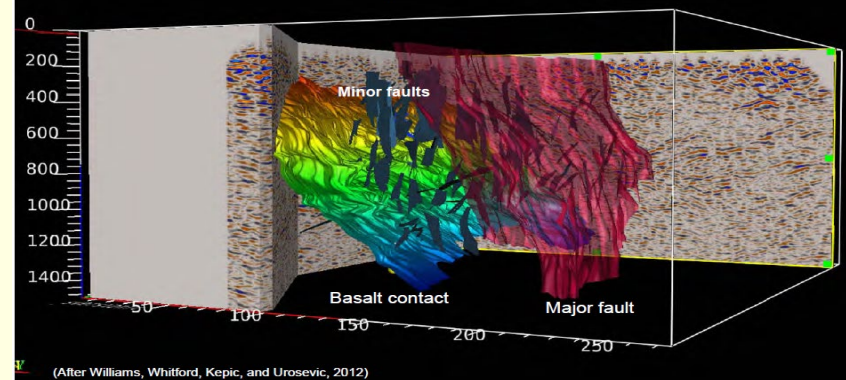
Комплексная интерпретация геолого-геофизических данных при изучении золоторудных объектов



3D сейсмическая модель никелевой рудной залежи

Long - Victor Nickel Mine

Basalt contact and faults interpreted from 3D seismic data volume



Совершенствование методики прогнозирования рудной минерализации по данным высокоразрешающей сейсморазведки

- Одним из перспективных направлений совершенствования методики рудной сейсморазведки является проведение на рудных полях и месторождениях высокоразрешающей сейсморазведки с нелинейным свипом
- На примере вибросейсмического профиля, отработанного по рудному полю, показано расширение возможностей сейсморазведки на основе обработки данных (ММП) по комплексу преломленных и отраженных сейсмических волн.
- Для наблюдений использовалась центральная система из 240 каналов с шагом пунктов приема (ПП) – 12,5м, шагом пунктов возбуждения (ПВ) – 25м, с длиной годографа 3000м и кратностью 60.
- Плотный шаг ПП позволил рассчитывать на расширение спектра принимаемой записи, вследствие чего при вибрационном возбуждении использовался нелинейный свип «дециБелл-на-октаву» в диапазоне «установочных» частот 15 – 160Гц, при длительности 16с и возрастании энергии к высоким частотам на 6дБ/окт, с интервалами «конусования» по 0,5с, обрабатываемый 2-мя вибраторами при 6 накоплениях.

Совершенствование методики прогнозирования рудной минерализации по данным высокоразрешающей сейсморазведки

- Анализ скорости методом обработки ПРО (параметрической развёртки отражений) применительно к данной геологической задаче позволил выявить скоростную зональность разреза по латерали и глубине.

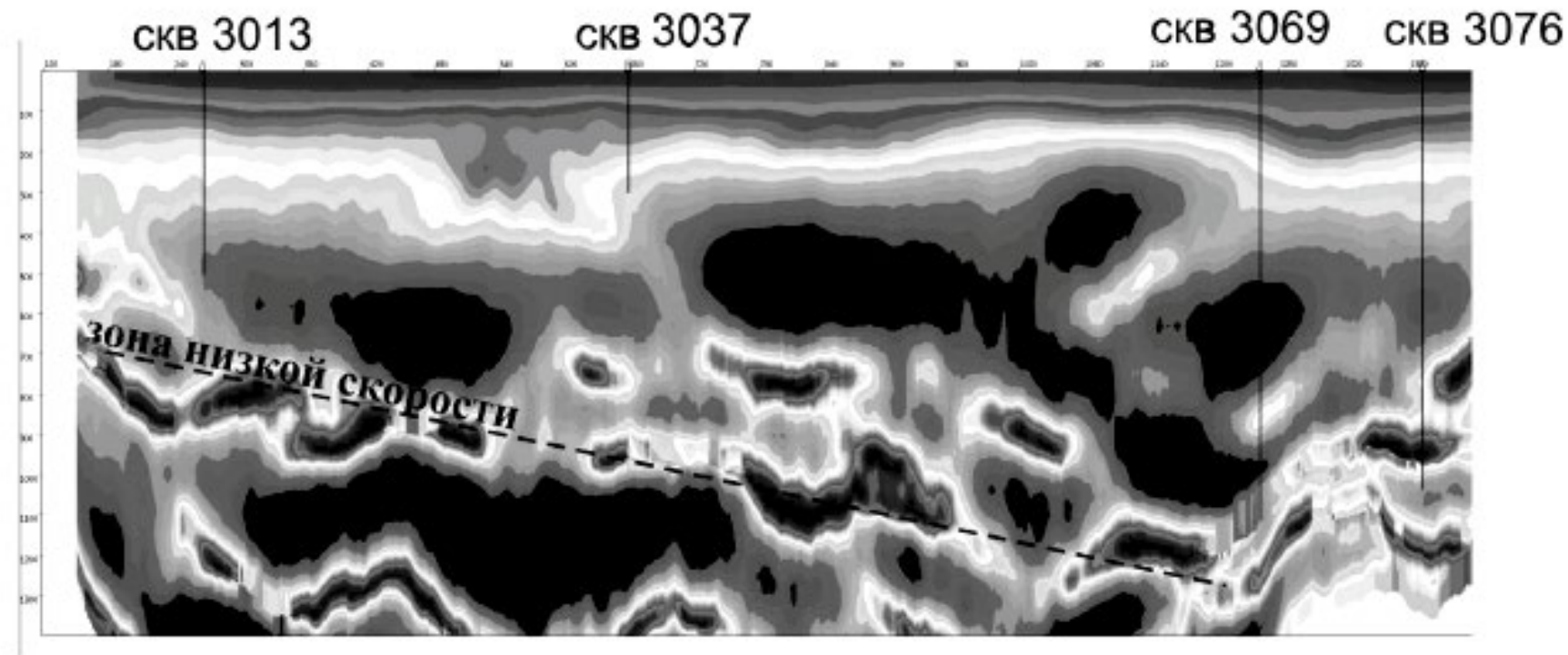


Рис.1. Разрез интервальной скорости по методу ПРО.

Совершенствование методики прогнозирования рудной минерализации по данным высокоразрешающей сейсморазведки



Рис. 2. Значения коэффициентов отражения продольных волн для пород, подвергнувшихся гидротермально-метасоматическим изменениям [5].

Подтверждены общие закономерности локализации месторождений флюидного генезиса по сейсмическим данным:

- 1- в зонах гидротермально-метасоматически измененных пород (рудных интервалов) значения скорости продольной волны находятся в интервале между скоростями неизменённых и сильнотрещиноватых пород;
- 2 - коэффициенты отражения для гидротермально изменённых пород лежат в большинстве случаев в пределах от 0,008 до 0,07 и, соответственно, характеризуются как слабые сейсмические границы
- С учетом шероховатости таких границ, вероятность регистрации зеркального отражения крайне мала;
- 3 - залежи отсутствуют в зонах вертикальных и наклонных разрывных нарушений, которые трассируются до рыхлых отложений самой верхней части разреза и характеризуются аномально низкими значениями скорости преломленной волны и/или наличием отражающей границей;
- 4 - зоны градиентных (промежуточных) значений скорости преломленных волн, в основном, соответствуют рудным структурам. -

Эти закономерности соблюдаются в самых разных по возрасту и геологическому строению рудных районах.

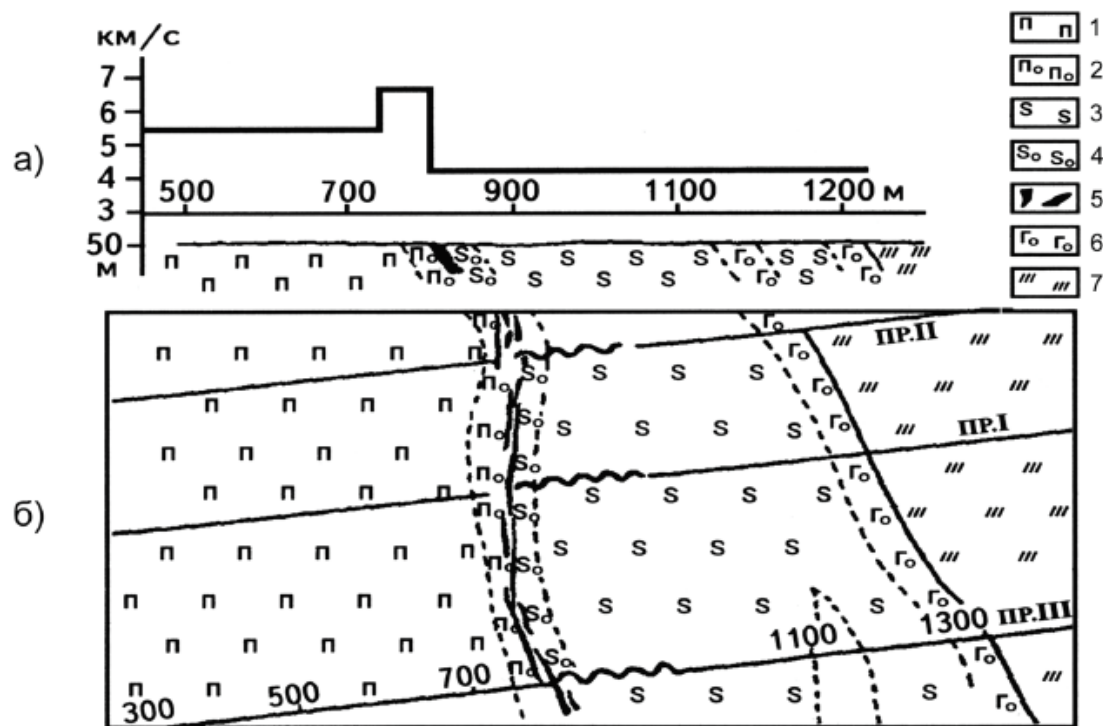


Рис. 3. Мамонское медно-никелевое месторождение (Воронежский массив) [2]:

а – график граничной скорости; б – данные геокартирования.

1 – перидотиты; 2 – оливиновые пироксениты; серпентиниты; 4 – серпентиниты апооливинитовые; 5 – зона с богатой сульфидной медно-никелевой рудой; 6 – габбро, 7 – метасланцы (по А.П. Таркову, Л.Н. Калмыковой, В.И. Дубянскому).

Представлен сейсмогеологический разрез и график граничной скорости по медноникелевому месторождению на Воронежском кристаллическом массиве .

Местоположение рудной минерализации на разрезе четко коррелируется с градиентной зоной граничной скорости.

Из представленных данных видно, что скоростные неоднородности (ПРО) в верхней части разреза согласуются с распределением скорости преломленной волны вдоль профиля.

Так, например, повышение скорости интервальной скорости ПРО хорошо согласуется с повышением скорости преломленной волны .

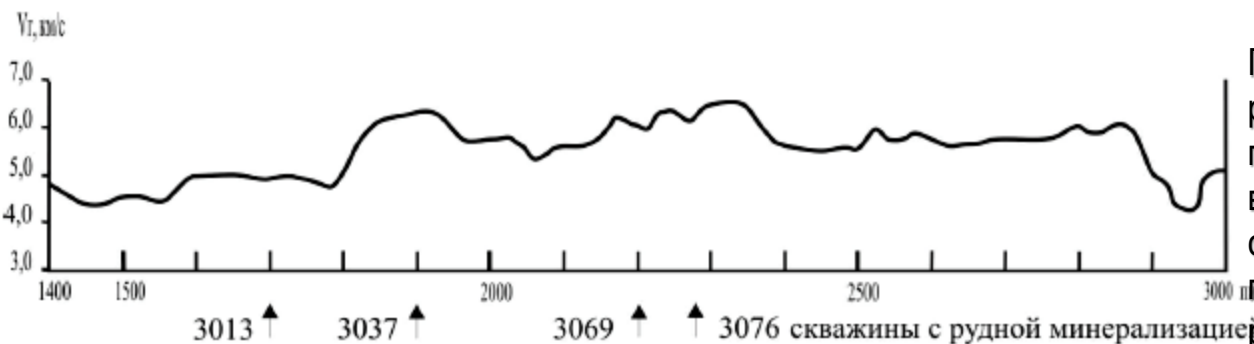


Рис. 4. График граничной скорости (база осреднения 300 метров).

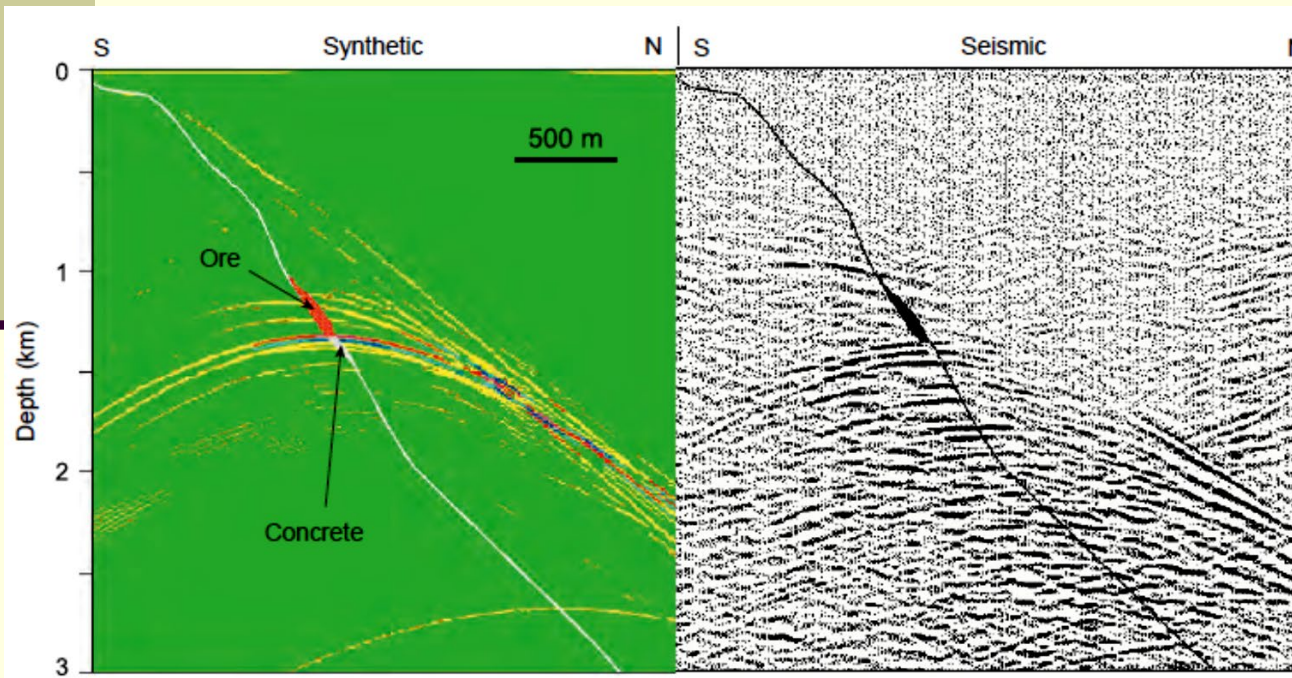
По данным комплексного анализа распределений скорости преломленной и отраженной волн была выявлена зона градиентного изменения скорости (на 20%-40%), к которой по геологическим данным приурочена рудная минерализация.

4D сейсморазведка

- В этом направлении для рудных месторождений также имеется положительный результат по эффективному применению сейсмических методов для выявления отработанных блоков рудной залежи и построения моделей подземных выработок для дальнейшей успешной разработки месторождения.
- Анализ синтетического и наблюдаемого 2D немигрированного разреза на колчеданном месторождении Крейтон и массивной сульфидной залежи месторождения Гертруды в районе Садбери (Канада), показывает возможность выделения, по характеру рассеянного сейсмического сигнала, границы между нетронутой и выработанной в процессе разработки частями рудного тела.

4D сейсморазведка

- Важным параметром здесь является направление и характер рассеяния энергии сейсмического сигнала.
- Эти, и другие результаты моделирования сейсмических данных свидетельствуют о распространении прямого рассеяния по направлению падения линзовидных залежей, а по величине амплитуды сейсмических волн выделяется граница выработанной области рудной залежи, характеризующаяся максимальным дифракционным окликом



Синтетические (слева) и наблюдаемые (справа) отражения от массивной сульфидной залежи месторождения Гертруды в Садбери.

Дифракция сейсмических волн в верхней части рудного тела показывает границу нетронутой и выработанной части рудной залежи (Milkereit et al. 1996).

Сейсморазведка в горных выработках

- (подземная сейсморазведка) применяется для изучения - сплошности массива,
- -выявления пустот,
- -обводненных зон,
- -изучения геологического строения и оценки физико-механических и прочностных свойств горных пород вокруг выработок, а также горного давления.
- Важной задачей инженерной сейсморазведки является изучение физико-механических и прочностных свойств пород.
- Измеряя скорость распространения продольных и поперечных волн в горных выработках, обнажениях, а также на образцах, можно рассчитать упругие константы и оценить физико-механические и прочностные свойства горных пород.
- Полученные данные используются для оценки горного давления, необходимого для расчета обделки и крепления горных выработок, а также для определения устойчивости, крепости, разрабатываемости грунтов.

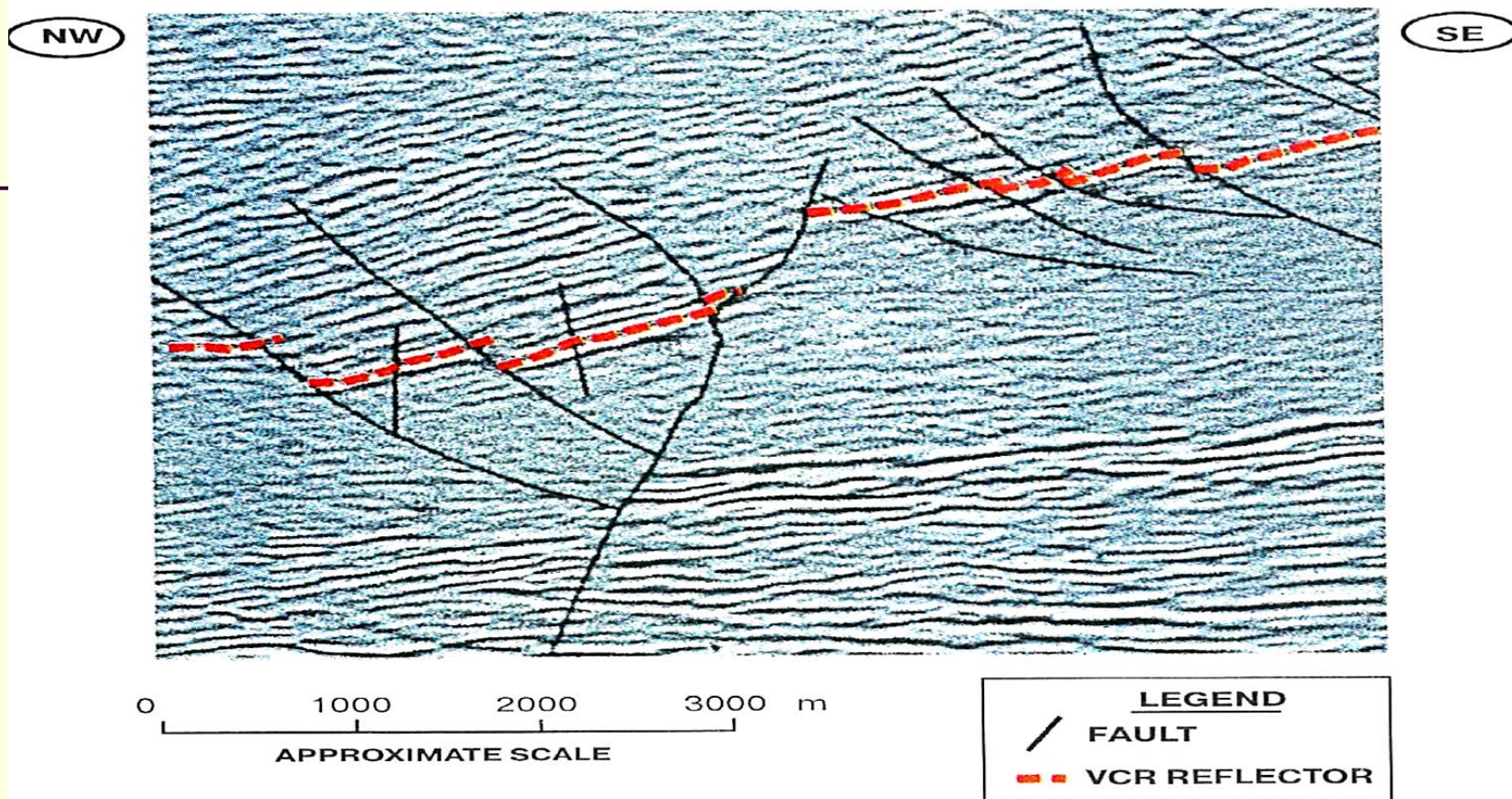


Рис. 3. Фрагмент сечения через центр 3D-куба сейсмических данных шахты № 10, ЮАР, на котором изображены золоторудный горизонт и система тектонических нарушений:

из материалов Международной конференции *Seismic Methods in Mineral Exploration-97*; paper 51. Pretorius C.C., Trewick W.F., Irons C. Application of 3D-Seismics to Mine Planning at Vaal Reefs Gold Mine, Number 10 Shaft, Republic of South Africa

Сейсмические методы в рудной геологии

Выводы

- Возрастающее применение сейсморазведки на различных рудных объектах показывает, что она, наконец, становится признанной и традиционной в горнодобывающем секторе.
- Это открывает новые возможности для геофизиков, но также ставит дополнительные задачи для решения новых проблем.
- Рудная сейсморазведка отнесена к числу широкодиапазонных методов, применяемых как при региональных исследованиях, так и при решении разномасштабных задач структурного контроля рудных месторождений в геологических средах более сложных, чем среды, изучаемые традиционной сейсморазведкой при нефтепоисковых работах.
- Поэтому возникла необходимость определить возможность использования высоко плотностной широкоазимутальной 3D сейморазведки для структурного картирования рудоперспективных площадей и детального изучения глубокозалегающих рудоносных комплексов в Казахстане

Инженерно-гидрогеологическая сейсморазведка

- При изучении геологической среды с целью инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий (гидростроительство, дорожное, промышленное и гражданское строительство, в том числе в районах вечной мерзлоты, поиски подземных вод, решение различных геоэкологических, мерзлотно-гляциологических и других задач) сейсморазведка находит все большее применение.
- Она используется для изучения глубины залегания коренных пород, расчленения осадочных толщ, определения мощности коры выветривания, мощности льда, картирования вечной мерзлоты, прослеживания разрывных нарушений, трещиноватых закарстованных зон, изучения оползней, определения уровня подземных вод.
- Инженерно-гидрогеологическая сейсморазведка имеет дело с небольшими глубинами, поэтому возбуждение упругих волн проводится с помощью малых взрывов или ударов.
- Для разведки небольших глубин (до 30 - 40 м) применяется микросейсморазведка.
- Работы выполняются с помощью легких одноканальных сейсмических установок ОСУ (вес всего оборудования до 30 кг) или многоканальных (2 - 4). Возбуждение упругих волн производится ударом кувалды. Работы выполняются в модификации МПВ, реже МОВ.

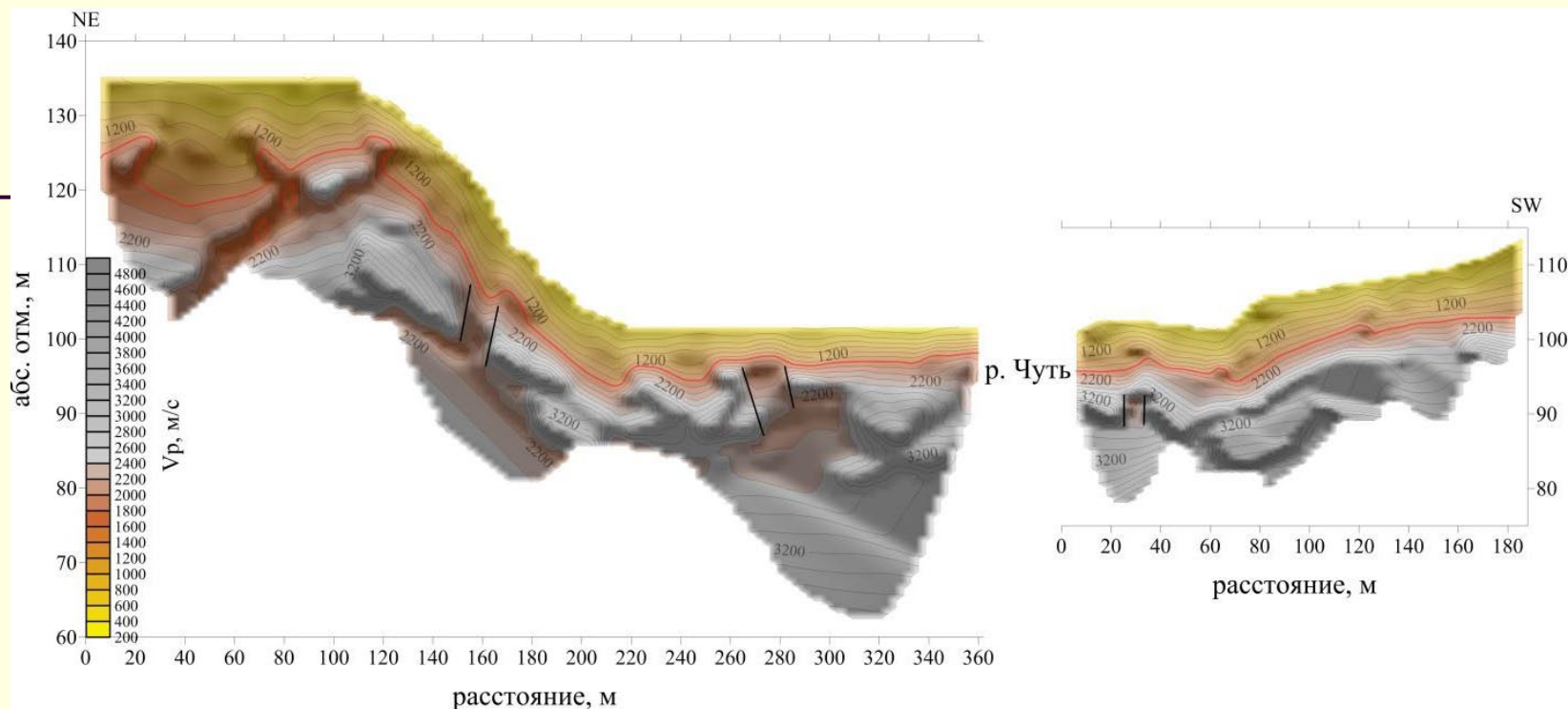
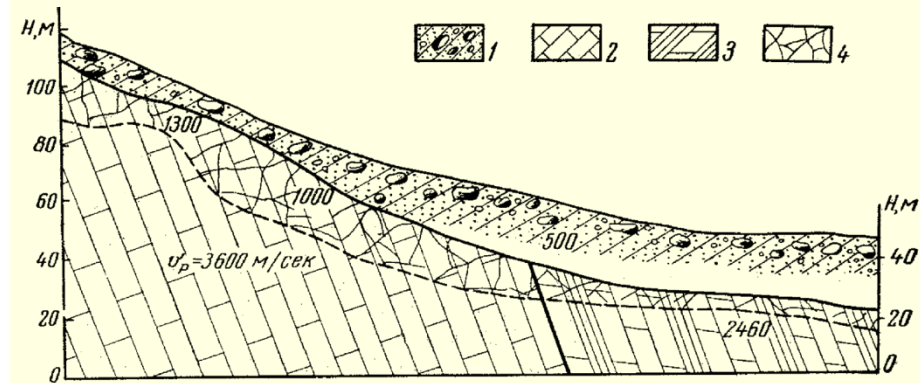
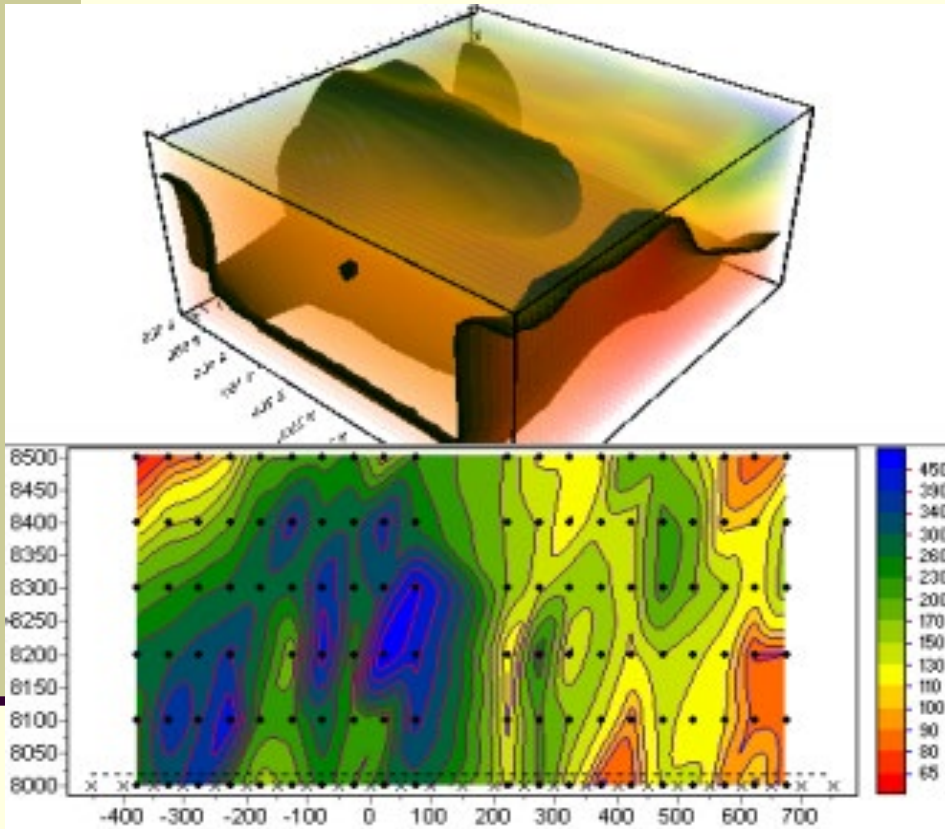


Рис. 2. Сейсмогеологический разрез в изолиниях скорости распространения продольных волн, полученный по профилю на переходе через реку Чуть (респ. Коми). Сечение изолиний 200 м/с. Отношение горизонтального масштаба к вертикальному 1:3. Желтый цвет на разрезе соответствует интегральной толще супеси, суглинка и песка. Серый цвет – слою прочного, плотного известняка. Коричневый цвет – переходный слой разрушенного известняка. Красной линией показана кровля разрушенных известняков. Черными линиями ограничены предполагаемые ослабленные зоны (карстовые полости, воронки и т.д.).

При инженерно-геологических изысканиях

- акваторий морей, озер, рек могут применяться сейсмоакустические методы с электроискровыми или газоразрядными датчиками.
- При этом регистрируются эхо-сигналы (отражения) от границ слоев с разными акустическими жесткостями.
- Сейсморазведка в горных выработках (подземная сейсморазведка) применяется для изучения сплошности массива, выявления пустот, обводненных зон, изучения геологического строения и оценки физико-механических и прочностных свойств горных пород вокруг выработок, а также горного давления.
- Работы в горных выработках проводятся либо с одноканальными установками, либо с помощью переносных сейсмостанций.
- Для изучения целиков пород между горными выработками используются сейсмические и акустические просвечивания.
- Важной задачей инженерной сейсморазведки является изучение физико-механических и прочностных свойств пород.
- Измеряя скорость распространения продольных и поперечных волн в горных выработках, обнажениях, а также на образцах, можно рассчитать упругие константы и оценить физико-механические и прочностные свойства горных пород.
- Полученные данные используются для оценки горного давления, необходимого для расчета обделки и крепления горных выработок, а также для определения устойчивости, крепости, разрабатываемости грунтов

Сейсмические исследования при инженерно-геологических исследованиях



Результаты сейсморазведочных работ МПВ, проведенных с целью определения глубины залегания скальных пород под толщей рыхлых отложений на участке створа Ингурской плотины (по А. И. Савичу):
1 — делювиальные отложения (супесь, суглинки, валуны); 2, 3 — коренные породы (2 — известняки, 3 — глина с прослоями известняков); 4 — зона выветривания

- Благоприятные условия для применения сейсморазведки МПВ встречаются при *определении формы поверхности коренных пород под рыхлыми отложениями*

Контрольные вопросы

- 1. Геологические задачи решаемые сейсморазведкой
- 2. Типы волн и методическая основа метода сейсморазведки
- 3. Модификации метода сейсморазведки по решаемым задачам, типу регистрируемых волн, частотам колебаний и месту проведения
- 4. Решение прямой задачи сейсморазведки. Типы географов и их применение
- 5. Решения обратных задач сейсморазведки. Синтетические сейсмограммы
- 6. Сейсмогеологическая модель. Моделирование интенсивности отраженных волн. Фазовая корреляция волн. Моделирование амплитуды отраженных волн
- 7. Глубинная сейсморазведка. Цели и задачи, методы
- 8. Структурная сейсморазведка. Цели и задачи, методы
- 9. Рудная сейсморазведка. Детальные исследования. Цели и задачи, методы
- 10. Применение сейсморазведки при инженерно-геологических изысканиях