

## Измерение азимутальных характеристик в неоднородном магнитном поле

Жиров Д.В., Климов С.А. и Румянцев В.О.

Одним из главных инструментов в полевой геологии является горный компас (слайд 1), который обеспечивает в обычных условиях точность замера азимутальных характеристик до 1-2 градусов. Однако нередко встречаются ситуации, затрудняющие его применение вследствие наличия аномалий и неоднородностей магнитного поля (слайды 2-3) различной масштабности и уровня (слайд 4). Эти аномалии, как правило, приурочены к массовым скоплениям и залежам ферромагнетиков – магнетита, гематита, ильменита титаномагнетита, пирротина и др. Таким образом, для горнорудных районов и провинций с соответствующей металлогенической специализацией, к которым, несомненно, относится и Кольский регион, проблема получения достоверных азимутальных характеристик в полевых условиях весьма актуальна (слайд 5). Примером может служить карьер рудника Железный эксплуатирующий Ковдорское апатит-магнетитовое месторождение (слайд 6). В пределах карьера отмечается весьма контрастно-неоднородное магнитное поле (слайд 7), обуславливающее девиацию в пределах всего спектра возможных вариаций ( $\pm 180^\circ$ ). Существующие альтернативные способы измерения (слайд 8) существенно проигрывают горному компасу с точки зрения удобства использования, эргономики, скорости измерения и количества операций, необходимых для измерительного цикла (слайд 9).

Выполнение структурных исследований в условиях контрастно-неоднородного магнитного поля рудника Железный обусловило необходимость поиска и практической проработки методов и технологий измерения азимутальных характеристик с помощью подручных средств, в том числе с использованием горного компаса. В основу всех протестированных способов измерения азимутальных характеристик (слайды 10) был положен принцип определения в точке замера магнитного (результатирующего за счёт магнитного склонения и девиации) и истинного азимутов на хорошо заметный ориентир с заранее измеренными GPS координатами, удалённый на расстояние, превышающее 1 км, в результате чего для данной точки вычислялась суммарная поправка – разница с учётом знака. Лучшие результаты (точность цикла измерения до  $\pm 3-4^\circ$  при его продолжительности от 30-50 сек. до 1,5-2,0 мин.) были обеспечены при использовании следующего комплекта измерительных приборов: буссоль + GPS приёмник + горный компас. При этом магнитный азимут на ориентир снимался отсчётом по буссоли, а истинный азимут рассчитывался посредством опции GPS приёмника, позволяющей определить таковой между двумя произвольными точками замеров. Необходимо отметить, что в современных GPS приёмниках бытового класса предусмотрено три способа определения истинного азимута: в движении, с применением процедуры калибровки электронного компаса в стационарном состоянии и между точками замеров. Однако первые два способа оказались не приемлемыми, либо по условиям применения (необходимость движения во время замера), либо по точности измерения (более  $5^\circ$ ). Последний из перечисленных способов при достаточно большом разnose точек замеров обеспечивает точность определения истинного азимута до  $1^\circ$  и менее.

В результате детальной проработки литературных и интернет источников по современным техническим средствам и методам измерений была разработана концепция более удобного и совершенного измерительного прибора (слайд 11). С применением доступных в свободной продаже датчиков и устройств на основе карманного персонального компьютера можно собрать горно-геологический процессор, обеспечивающий расширенный спектр измерительных возможностей (слайды 12-16), в том числе в условиях контрастно-неоднородного магнитного поля. Расчётная стоимость прототипа прибора в зависимости от полноты комплектации и пользовательских возможностей составляет от 30-35 тыс. руб. до 120-130 тыс. руб.

Исследования поддержаны грантами НШ-1413.2006.5 и РФФИ 09-05-12064\_офи\_м.



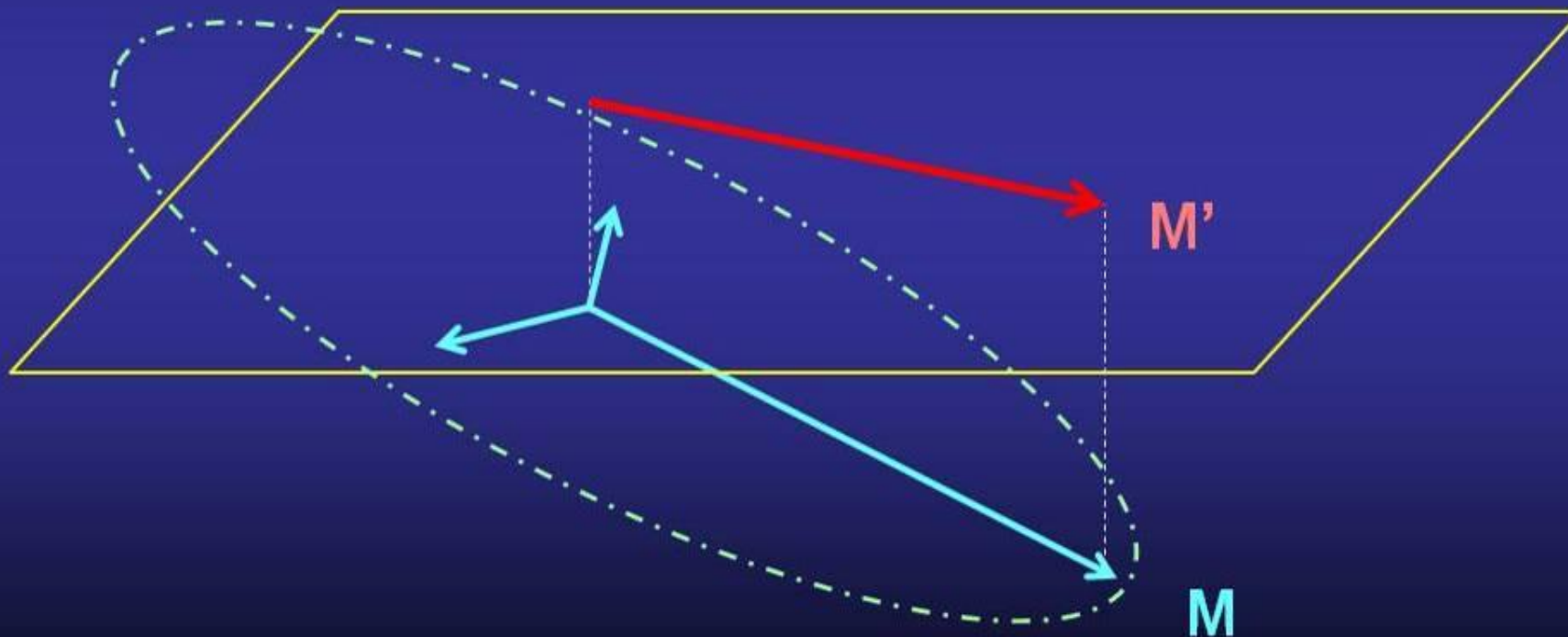
Склонение на 1985г. восточное  $12^{\circ}15'$ (2-04). Среднее сближение меридианов восточное  $0^{\circ}28'$ (0-08). При прикладывании буссоли (компаса) к вертикальным линиям координатной сетки среднее отклонение магнитной стрелки восточное  $11^{\circ}47'$ (1-96). Годовое изменение склонения восточное  $0^{\circ}05'$ (0-01). Поправка в дирекционный угол при переходе к магнитному азимуту минус (1-96).  
Примечание. В скобках показаны деления угломера (одно деление угломера= $3,6'$ ).



Слайд 1. Горный компас и поправки (склонение) к магнитному азимуту.

# Что мы измеряем горным компасом?

$M = \text{склонение} \pm \text{девиация}$



Слайд 2. Упрощённая схема измерения горным компасом магнитного азимута  $M'$ , являющегося проекцией на горизонтальную плоскость результирующего (склонение и девиация) вектора  $M$

## Факторы влияния на измерение магнитного азимута

- **Собственное магнитное (ЭМ) поле Земли**
- **Геомагнитные бури (взаимодействие ионосферы и солнечного ветра)**
- **Поля естественных магнитных аномалий**
- **Техногенные электромагнитные поля и их источники**



## Особенности магнитного поля

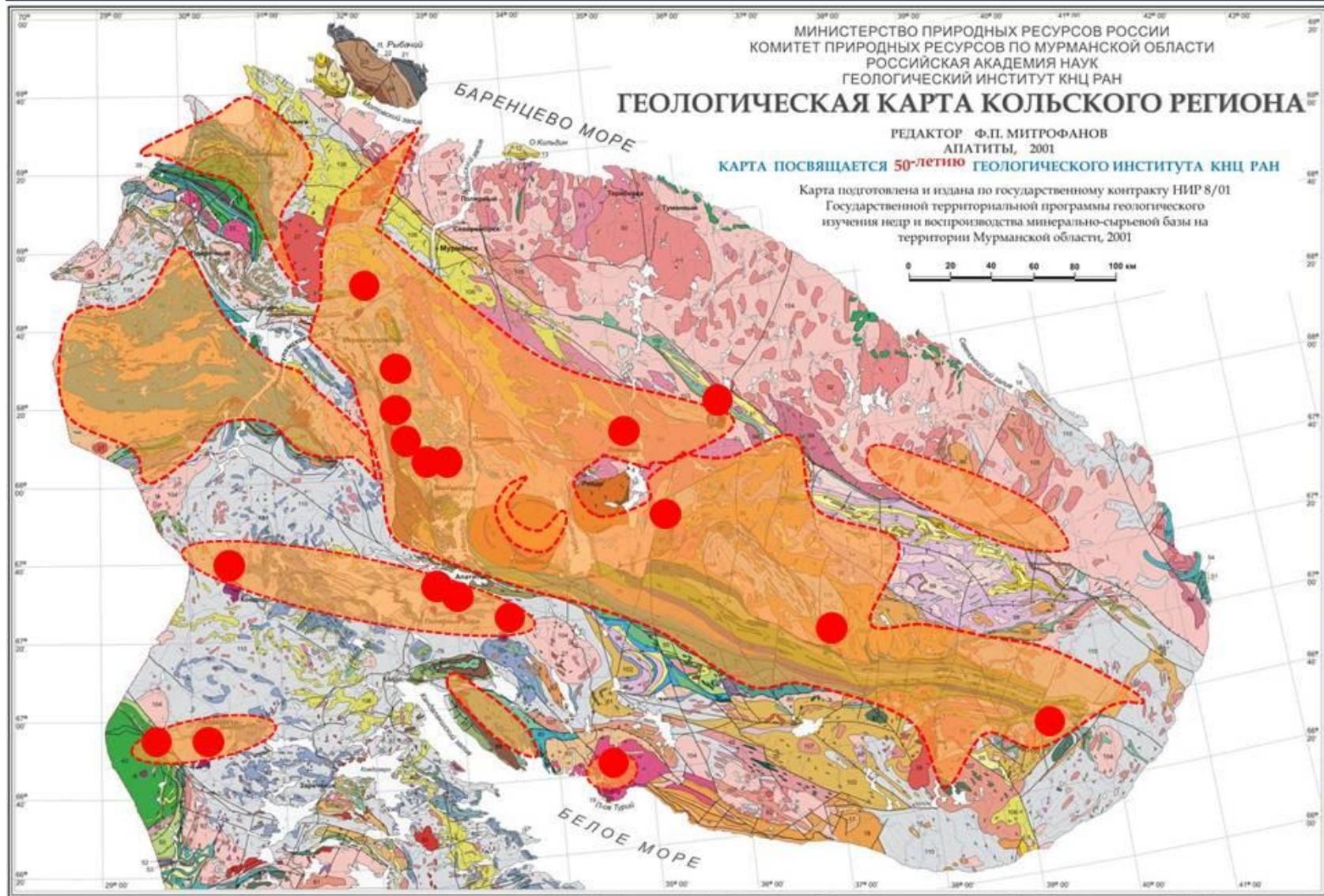
- Неоднородное в пространстве
- Непостоянное (изменчивое) по времени
- Уровни неоднородности ЭМП в пространстве:

- Региональный уровень (склонение)

- Локальный уровень (залежи природных ферромагнетиков: магнетита, гематита, ильменита титаномагнетита, пирротина и др.)

- Непосредственный контакт с объектом измерения (скопления и повышенные концентрации зерен ферромагнетиков)

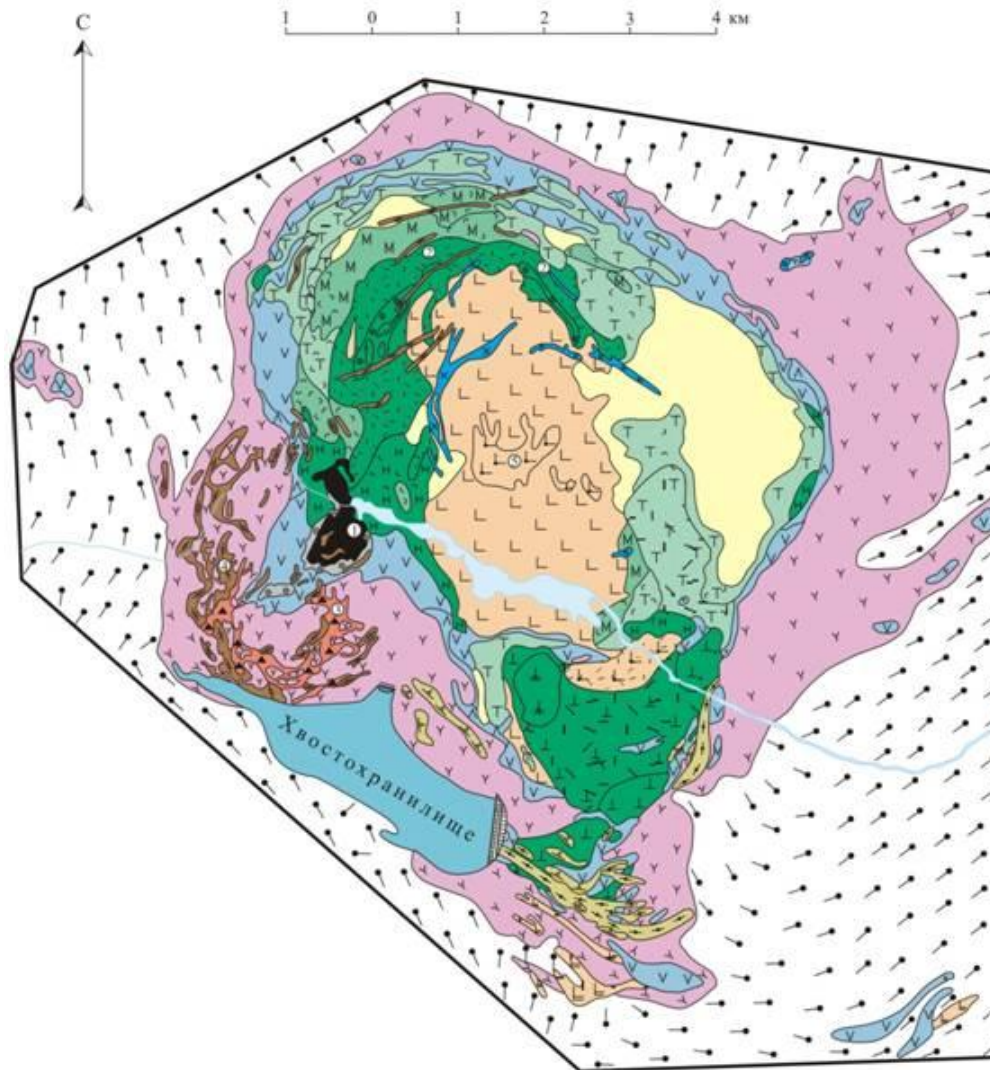
# Ранжирование Кольского региона по вероятности проявления неоднородностей магнитного поля



Слайд 5. Районы с вероятным проявлением неоднородного магнитного поля (оранжевый цвет) и места проявления существенной девиации (красные кружки)



## Общие черты геологического строения



1 – гнейсы, амфиболиты и мигматиты архейского беломорского комплекса;

2 – фениты;

3: а – метاولивниниты, б – ослюденелые метاولивниниты;

4: а – оливиниты, б – рудные оливиниты, в – ослюденелые рудные оливиниты;

5: а – пироксениты и рудные пироксениты, б – пегматондные рудные пироксениты, в – ослюденелые рудные пироксениты;

г – нефелизинизированные рудные пироксениты, д – нефелин-пироксеновые породы по гипербазитам;

6: а – мельтейтиты, б – мюлиты;

7: а – турьяиты, б – ослюденелые турьяиты;

8: а – пироксен-меллилитовые породы, б – скарнированные пироксен-меллилитовые породы;

9: а – монтичеллиитовые породы, б – скарнированные монтичеллиитовые породы;

10: а – гранат-амфибол-диобсидовые скарноподобные породы с монтичеллиитом и везувияном;

11: а – амфибол-флогопит-форстеритовые породы, б – флогопитовые руды;

12: а – апатит-флогопит-форстеритовые породы (маложелезистые апатитовые руды); б – бадделейт-апатит-магнетитовые руды;

13 – нефелиновые смениты;

14 – кальцит-апатит-флогопитовые породы;

15 – эпирин-биотит-кальцитовые карбонатиты;

16 – форстерит-кальцитовые карбонатиты;

17 – апатит-шафферитовые руды;

18 – четвертичные отложения.

Цифры в кружках: 1 – апатит-магнетитовое месторождение; 2 – вермикулит-флогопитовое месторождение; 3 – апатит-шафферитовое месторождение; 5 – месторождение рудных оливинитов



Слайд 7. Поправки к магнитному азимуту (результатирующему за счет девиации и склонения) в пределах рудника Железный по результатам измерений полевого сезона 2009 г.



## Пути решения – история вопроса

### ФГУП ВИОГЕМ:

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ПО ОСУШЕНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ЗАЩИТЕ ИНЖЕНЕРНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ ОТ ОБВОДНЕНИЯ, СПЕЦИАЛЬНЫМ  
ГОРНЫМ РАБОТАМ, ГЕОМЕХАНИКЕ, ГЕОФИЗИКЕ,  
ГЕОЛОГИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОМУ ДЕЛУ

1970-2010 гг.

### ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ:

- **Маркшейдерский (геодезический) – триангуляция от опорных пунктов**
- **«Трещиномер» – на основе гирокомпаса**
- **Цифровая тахеометрия («Тримбл»)**

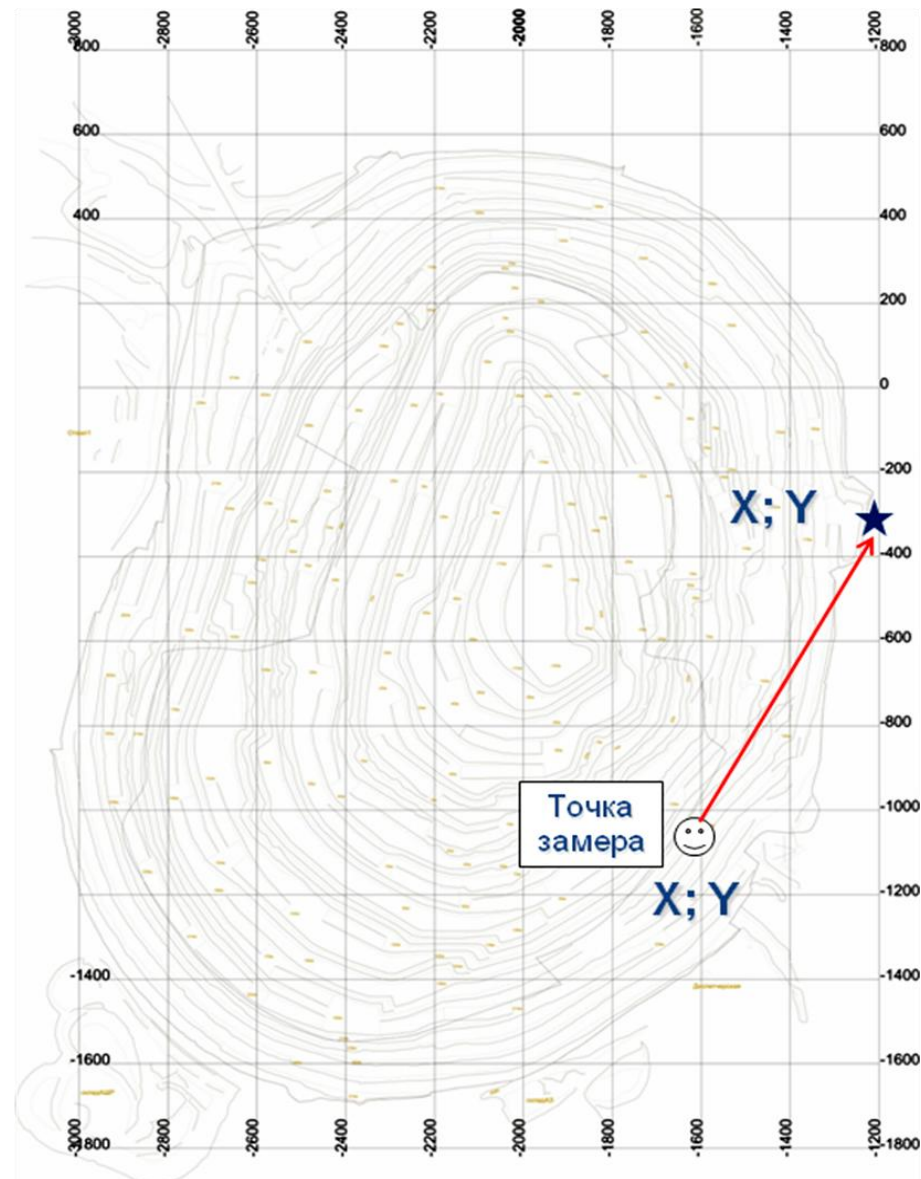
## Предельные требования к измерениям:

- Длительность цикла измерения: 1-2 мин. (максимум), 30 сек. (оптимум).
- Вес единицы оборудования: не более 0,5 кг. Вес комплекта оборудования: не более 1 кг.
- Точность измерения азимутальных характеристик:  $\pm 5^\circ$  (максимум), и  $\pm 3,0^\circ$  (оптимум).
- Размер / эргономичность оборудования: использование на ладони руки.
- Цена комплекта оборудования: не более 30-35 тыс. руб.





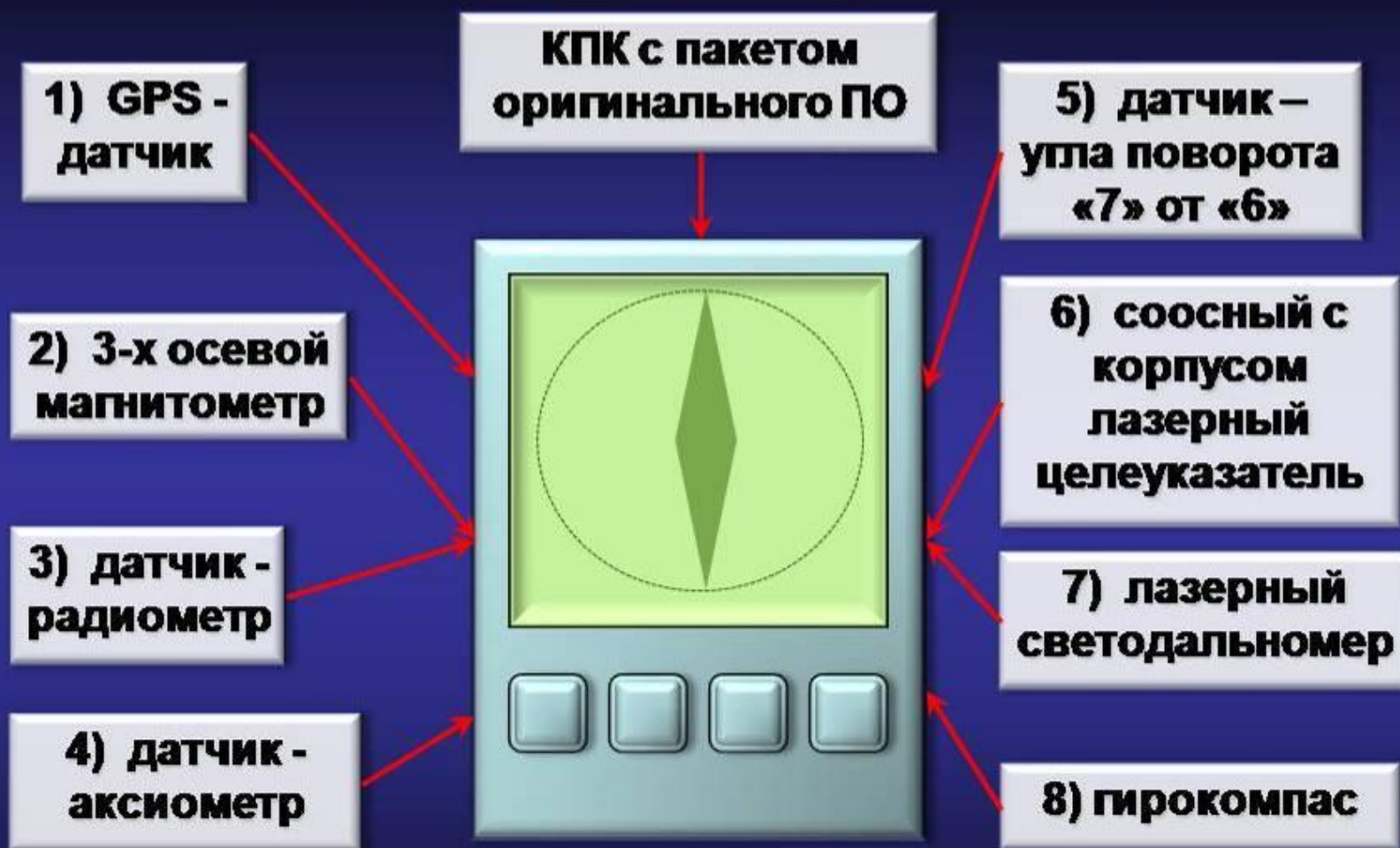
а)



б)

Слайд 10. Протестированные способы определения истинного азимута на ориентир: а) по ориентированной по странам света карте; б) по формулам на основе местных координат ориентира и точки замера; в) с использованием координат GPS и опции GPS приёмника "определение истинного азимута между двумя произвольными точками замеров", рисунок тот же, что и в варианте (б).

## Концептуальное решение



## Горно-геологический процессор



## Горно-геологический процессор – потенциальные возможности:

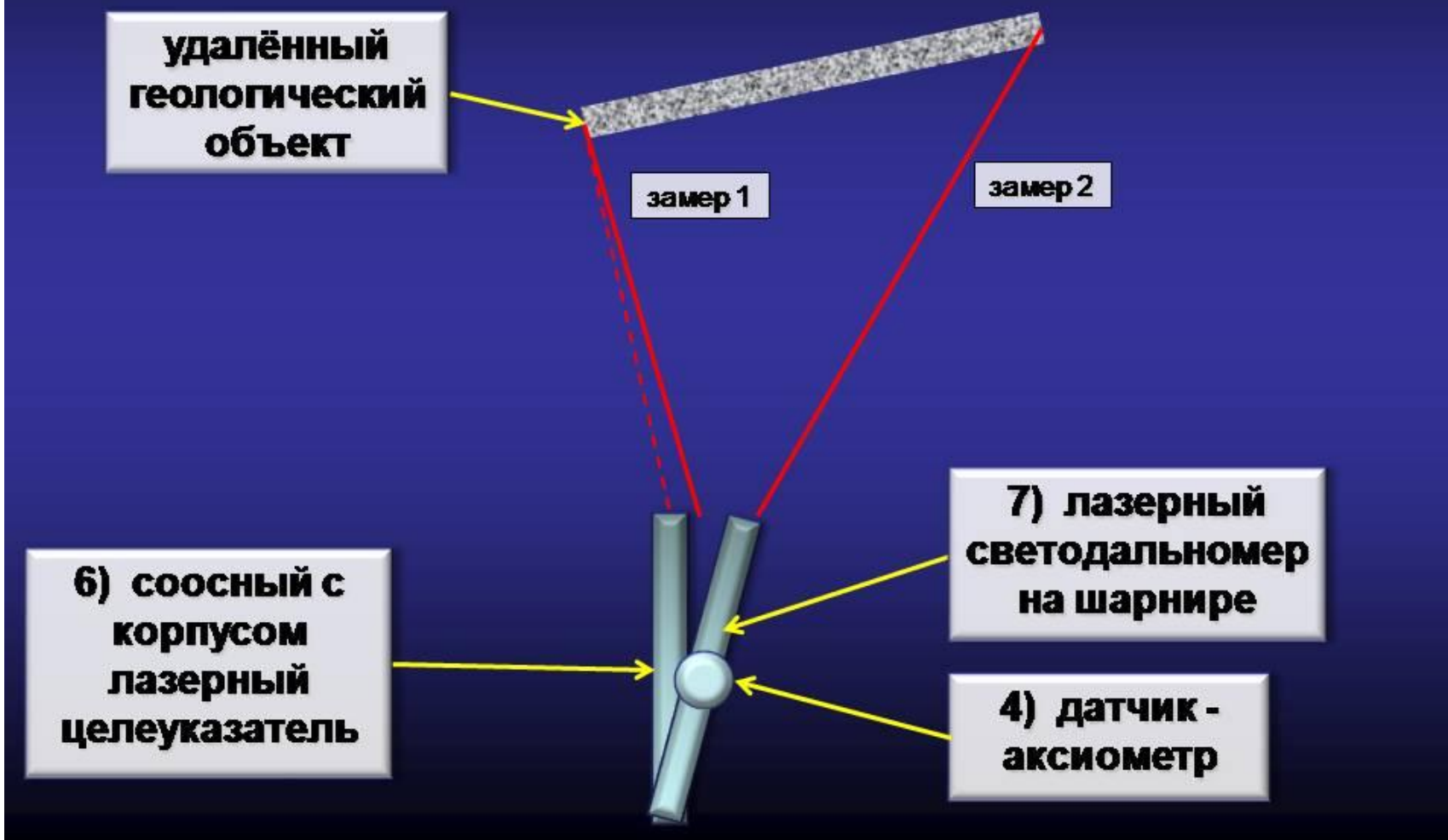
- Выполнение (на поверхности) комплекса или отдельных наборов измерений (3-х компонентов МП, радиация, магнитный, истинный азимут, угол наклона, расстояние до объекта, линейные параметры объекта и др.) в автоматическом или ручном режиме с записью параметров в ГИС БД (режимы «точка» и «трек»).
- Выполнение (на поверхности, в подземных выработках, в закрытых помещениях) измерений азимутальных характеристик в условиях любых неоднородностей и вариаций магнитного поля.

## Горно-геологический процессор – потенциальные возможности:

- Дистанционное измерение расстояний до объекта и его линейных параметров (длина, высота и др. сечения в т.ч. в любой наклонной плоскости по отношению к оператору).
- Магнитная и радиометрическая съемка в условных и стандартизированных (откалиброванных) параметрах.
- Измерение любых угловых и азимутальных характеристик в любой плоскости и проекции, в т.ч. дистанционно.



# Горно-геологический процессор – измерение расстояний до объекта и дистанционное измерение линейных параметров объекта:



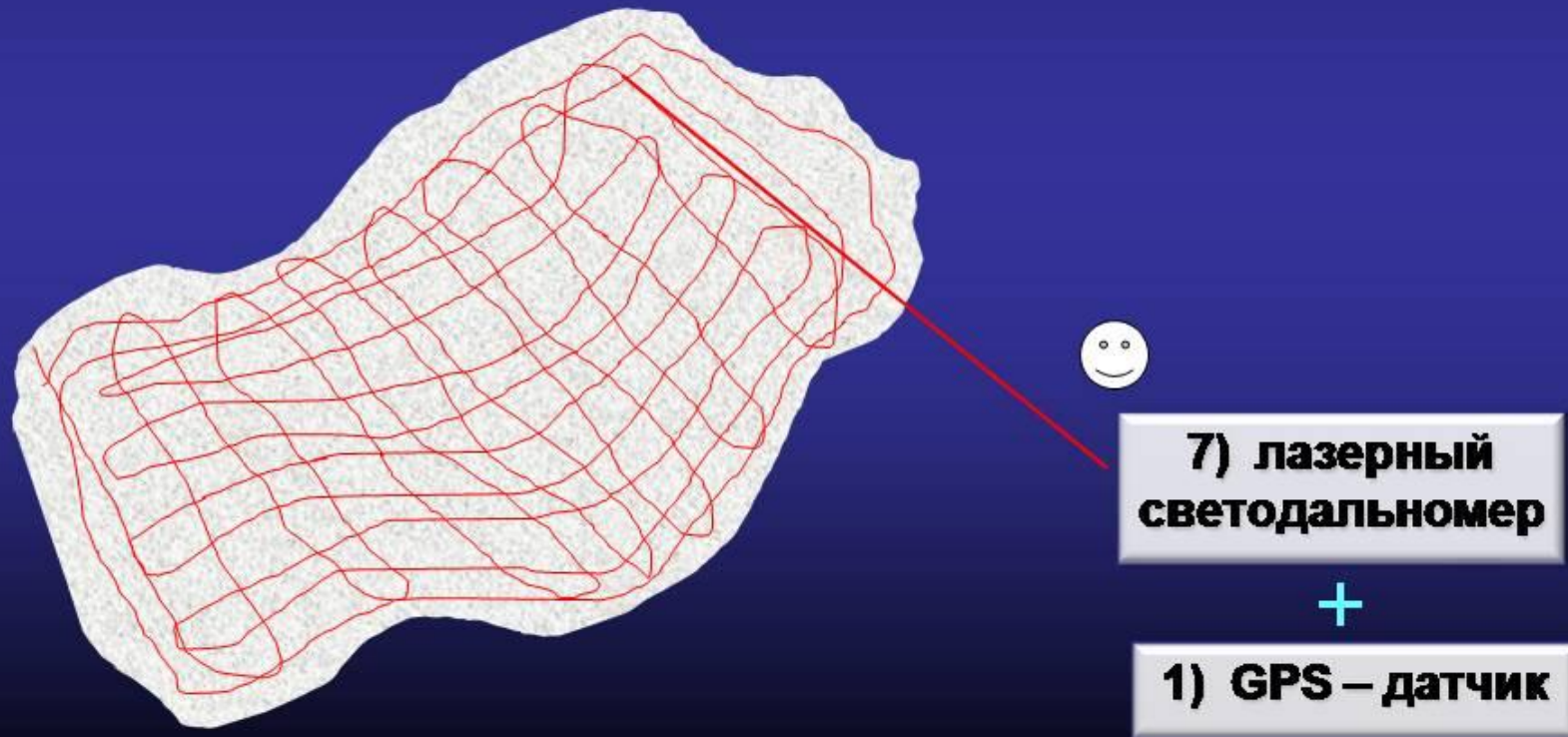
Слайд 14. Схема дистанционного измерения линейных параметров (с применением тригонометрических вычислений).

## **Горно-геологический процессор – потенциальные возможности:**

- **Построение локальных 3D моделей объектов наблюдений – выпуклых / вогнутых поверхностей, горных выработок.**
- **Контроль неоднородностей и вариаций магнитного поля.**
- **Получение упорядоченных и согласованных по нескольким измеряемым параметрам ГИС совместимых данных и слоёв (магнитного поля и его компонентов, радиометрия, азимутальных и линейных параметров)**



**Горно-геологический процессор –  
построение локальных 3D моделей:  
ручное «сканирование»  
поверхности/выработки по произвольной  
траектории лазерным светодальномером**



Слайд 16. Схема сканирования поверхности для последующего построения 3D модели.