

Теоретические основы поисков месторождений нефти и газа

Лекция 9 Геофизические методы исследований

Геофизика изучает происхождение и строение различных физических полей Земли и протекающих в ней и ближнем космосе физических процессов. Ее подразделяют на:

- 1. Физику Земли, включающую сейсмологию,**
- 2. Земной магнетизм,**
- 3. Глубинную геоэлектрику,**
- 4. Геодезическую гравиметрию,**
- 5. Геотермию;**
- 6. Геофизику гидросферы (физику моря);**
- 7. Геофизику атмосферы и космоса и**
- 8. Геофизические методы исследования, называемые также региональной (полевой), разведочной и скважинной геофизикой.**

По месту проведения работ геофизические методы исследования подразделяют на следующие технологические комплексы:

1) аэрокосмические (дистанционные), 2) полевые (наземные), 3) акваториальные (океанические, морские, речные), 4) подземные (шахтно-рудничные) и 5) геофизические исследования скважин (ГИС) или каротаж.

Особое место занимают **геофизические исследования скважин**, отличающиеся от прочих геофизических методов специальной аппаратурой и техникой наблюдений и имеющие большое прикладное значение при документации разрезов скважин.

Геофизические методы исследования

Общее число геофизических методов или модификаций превышает 100 и существуют различные их классификации.

По используемым физическим полям Земли их подразделяют на

1. гравиразведку,
2. магниторазведку,
3. электроразведку,
4. сейсморазведку,
5. ядерную геофизику;
6. терморазведку

называемые также гравиметрическими, магнитными, электромагнитными, сейсмическими, ядерно-физическими и термическими геофизическими методами исследований.

В первых двух используют естественные, а в остальных — естественные и искусственные физические поля Земли. К **естественным (пассивным)** физическим полям Земли относят гравитационное (поле тяготения), геомагнитное, электромагнитное (разной природы), сейсмическое (поле упругих колебаний в результате землетрясений), радиоактивное и термическое.

К **искусственным (активным)** относят следующие физические поля: электрическое, электромагнитное, сейсмическое (поле упругих колебаний, вызванных искусственным путем), вторичных ядерных излучений, термическое (поле температур).

Каждое физическое поле определяется своими параметрами.

Гравитационное поле характеризуют ускорением свободного падения g и вторыми производными потенциала (W_{xz} , W_{yz} , W_{zz} и др.),

Геомагнитное поле — полным вектором напряженности T и различными его элементами (вертикальным — Z , горизонтальным — H и др.),

Электромагнитное — векторами магнитной H и электрической E компонент,

Упругое — временем и скоростями распространения различных упругих волн,

Ядерно-физические — интенсивностями естественного и искусственно вызванных излучений,

Термическое — распределением температур и тепловых потоков.

Принципиальная возможность проведения геологической разведки на основе изучения различных физических полей Земли определяется тем, что распределение параметров полей на поверхности или в глубине Земли, в море, океане или в воздушной оболочке зависит не только от общего строения Земли и околоземного пространства, но и от происхождения или способа создания полей, т. е. от **нормального поля**, и от неоднородностей геологической среды, создающих **аномальные поля**.

Иными словами, **геофизика служит для выявления аномалий физических полей**, обусловленных **неоднородностями геологического строения**, связанных с изменением физических свойств и геометрических параметров слоев, геологических или техногенных объектов.

Геофизическая информация отражает физико-геологические неоднородности среды **в плане, по глубине и во времени**.

При этом возникновение аномалий связано с тем, что объект поисков, называемый возмущающим, **либо сам создает поля** в силу естественных причин, например, повышенной намагниченности, **либо искажает искусственное поле** вследствие различий физических свойств, например, отражение упругих или электромагнитных волн от контактов разных толщ.

Если геологические и геохимические методы являются **прямыми**, методами близкого действия, основанными на непосредственном, точечном или локальном изучении минерального, петрографического или геохимического состава вскрытых выработками пород,

то **геофизические методы являются косвенными**, далекодействующими, обеспечивающими равномерность, объемный характер получаемой информации и практически неограниченную глубинность.

При этом производительность геофизических работ значительно выше, а стоимость в несколько раз меньше по сравнению с разведкой с помощью неглубоких (до 100 м) и в сотни раз меньше при бурении глубоких (свыше 1 км) скважин. Повышая геологическую и экономическую эффективность изучения недр, геофизические методы исследования являются важнейшим направлением современной геологии.

Выявление геофизических аномалий — сложная техническая и математическая проблема, поскольку оно проводится на фоне не всегда однородного и спокойного нормального поля, а среди разнообразных помех геологического, природного, техногенного характера (неоднородности верхней части геологической среды, неровности рельефа, космические, атмосферные, климатические, промышленные и другие помехи). Измерив те или иные физические параметры по системам обычно параллельных профилей или маршрутов и выявив аномалии, можно судить о свойствах пород и о геологическом строении района исследований.

Получаемые аномалии определяются прежде всего **изменением физических свойств горных пород** по площади и по глубине.

Например,

гравитационное поле зависит от изменения плотности пород σ ;

магнитное поле — магнитной восприимчивости χ и остаточной намагниченности I_r ;

электрическое и электромагнитное поля — от удельного электрического сопротивления пород ρ , диэлектрической и магнитной проницаемости, электрохимической активности и поляризуемости;

упругое поле — от скорости распространения различных типов волн, а последние, в свою очередь, — от плотности и упругих констант (модуль Юнга и коэффициент Пуассона и др.);

ядерные — от естественной радиоактивности, гамма- и нейтронных свойств;

термическое поле — от теплопроводности теплоемкости и др.

Физические свойства разных горных пород меняются **иногда в небольших, а иногда в очень широких пределах**. В зависимости от целого ряда физико-геологических факторов одна и та же порода может характеризоваться разными свойствами и, наоборот, разные породы могут не различаться по некоторым свойствам. Изучение физических свойств горных пород и их связи с минеральным и петрофизическим составом, а также водонефтегазонасыщенностью является предметом исследований **петрофизики**.

Известны различные прикладные (целевые) классификации геофизических методов.

- 1. Региональные геофизические методы** предназначены для немасштабных глубинных исследований на глубинах до 100 км (глубинная геофизика), мелко-среднемасштабных структурных исследований на глубинах около 10 км (структурная геофизика) и крупномасштабных картировочно-поисковых съемок на глубинах до 6 км (картировочно-поисковая геофизика).
- 2. К разведочной** относят нефтегазовую, рудную, нерудную и угольную геофизику, применяемую для поисков и разведки месторождений соответствующих полезных ископаемых.
- 3. Инженерно-гидрогеологическая геофизика** объединяет методы, предназначенные для инженерно-геологических, мерзлотно-гляциологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и техногенных исследований.
- 4. Под техногенной геофизикой** понимают методы мониторинга, т. е. системы изучения, слежения и контроля за изменением состояния среды в результате деятельности человека (в том числе контроля загрязнения и экологической охраны подземных вод и геологической среды). Сюда же можно отнести
 - 4.1. методы изучения условий передачи энергии, коррозии металлических конструкций, поисков погребенных объектов**, например, археологических и др.

Теория геофизических методов исследований

Различают **прямые задачи** геофизики, т.е. определение параметров поля по известным свойствам и размерам геологических тел. При корректном выполнении задача имеет единственное решение..

Математическое решение **обратной задачи** геофизики, т. е. определение размеров геологических объектов и свойств слагающих их пород по наблюдаемому полю как правило, не является единственным, поскольку одно и то же распределение параметров физического поля может соответствовать различным соотношениям физических свойств и размеров геологических объектов

Решение обратной задачи - это основное содержание интерпретации данных разведочной геофизики. Оно с достаточной точностью может быть выполнено лишь тогда, когда кроме наблюдаемого поля из дополнительных источников получены сведения о свойствах пород, залегающих на глубине (например, по данным геофизических измерений в скважинах или на образцах).

Большей однозначности интерпретации в определенных условиях можно добиться комплексным изучением нескольких полей.

Методы геофизических исследований при поисках нефти и газа.

- Полевые методы разведочной геофизики основаны на изучении физических полей, отражающих различные особенности строения земной коры:
- **гравитационного,**
- **магнитного,**
- **теплового,**
- **электрического,**
- **упругих колебаний,**
- **радиоактивного.**
- Методы подразделяются на две группы: **естественного и искусственного поля.**
- На использовании естественных полей основаны методы: гравиразведки, магниторазведки, радиометрии, частично электроразведки и геотермии.
- Эти методы главным образом используются для решения региональных задач.
- Искусственные поля возбуждаются специальными техническими средствами.
- На их использовании основаны такие методы как сейсморазведка, электроразведка. Разрешающая способность методов искусственного поля, как правило, выше.

Гравиметрическая разведка

- Гравиметрический метод разведки основан на изучении аномального гравитационного поля, обусловленного геологическим строением и разной плотностью пород земной коры и внутренних зон Земли на земной поверхности. Гравитационные аномалии есть следствие различной плотности горных пород и особенностей залегания слагаемых ими геологических структур, рудных тел и вмещающих пород.
- **Единицей измерения является гал, но в практике пользуются тысячной долей гала - миллигалом (мГл).**
- Измерение производится гравиметрами.
- **Основные геологические задачи, решаемые гравиразведкой:**
- Исследование территорий и акваторий с целью оценки мощности земной коры, ее изостатической уравновешенности, выделение крупных тектонических дислокаций;
- Тектоническое районирование территорий с выделением границ тектонических структур;
- Поиски и изучение нефтеносных, угленосных, соленосных структур;
- Поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых.

- Составляются карты гравитационного поля. Расстояния между пунктами наблюдений обычно при региональных работах 2-4 км. Карты составляют в масштабе 1:200 000 или 1:500 000 с сечением 2 мГл. На картах выделяют максимальные и минимальные аномалии или их строят в градиентном варианте.
- При поисках залежей нефти и газа составляются карты гравитационных полей в масштабе 1:200 000-1:100 000.

Аномалия силы тяжести

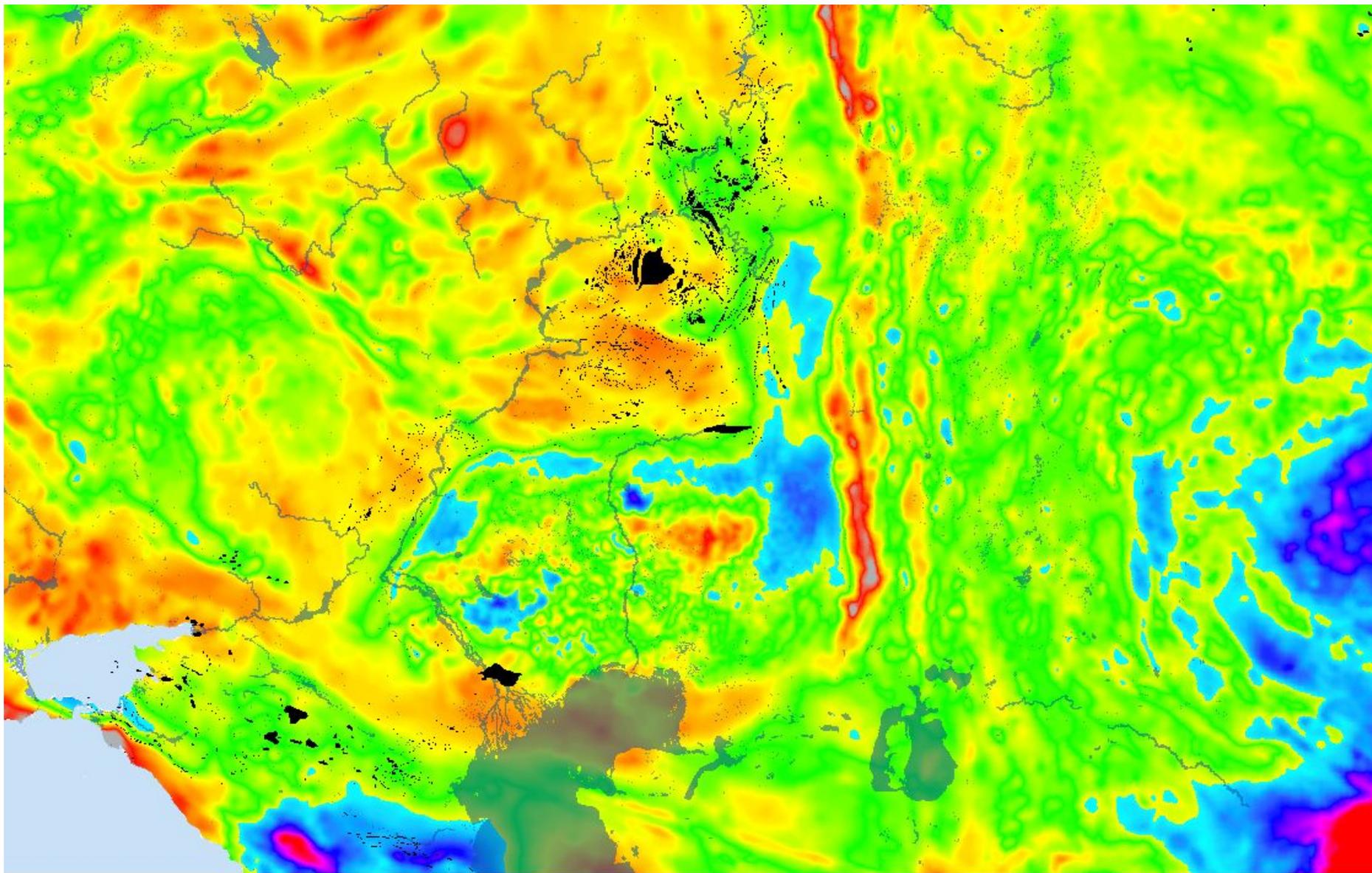
- Аномалия силы тяжести – отклонение наблюдаемого в данной точке значения силы тяжести от нормального его значения, приведенного к условиям наблюдения.
- Нормальное значение силы тяжести является функцией географических координат пункта наблюдения и не зависит от особенностей геологического строения.
- Различают аномалии силы тяжести Буге, Фая и изостатическую.
- Самые крупные по интенсивности (сотни мгл) и площади (десятки – сотни тыс км²) аномалии силы тяжести отражают резко выраженные общие особенности глубинного строения коры и верхней мантии.
- Аномалии силы тяжести меньшие на порядок, соответствуют отдельным блокам земной коры, отличающихся составом и плотностью горных пород а также гипсометрическим положением основных границ раздела плотности.
- Локальные геологические структуры создают аномалии силы тяжести малой интенсивности – несколько мгл, часто доли мгл.

Редукции силы тяжести Буге, Фая

- **Редукции силы тяжести – поправки с помощью которых нормальные значения силы тяжести приводятся к условиям наблюдения**
- **Аномалия силы тяжести Буге вычисляется при введении поправок за высоту, промежуточный слой и рельеф местности по формуле:**
- $\Delta g_{\text{БУГЕ}} = g + 0,3086N - 0,0419 \sigma N + \delta g_{\text{рельеф}} - \gamma_0$
- Где g – измеренное значение ускорения силы тяжести, мгл,
- γ_0 - нормальное значение ускорения силы тяжести, мгл,
- N – абсолютная отметка пункта наблюдения,
- σ – плотность промежуточного слоя (слоя горных пород, залегающего между уровнем моря и уровнем наблюдения,
- $\delta g_{\text{рельеф}}$ - поправка на рельеф окружающей местности

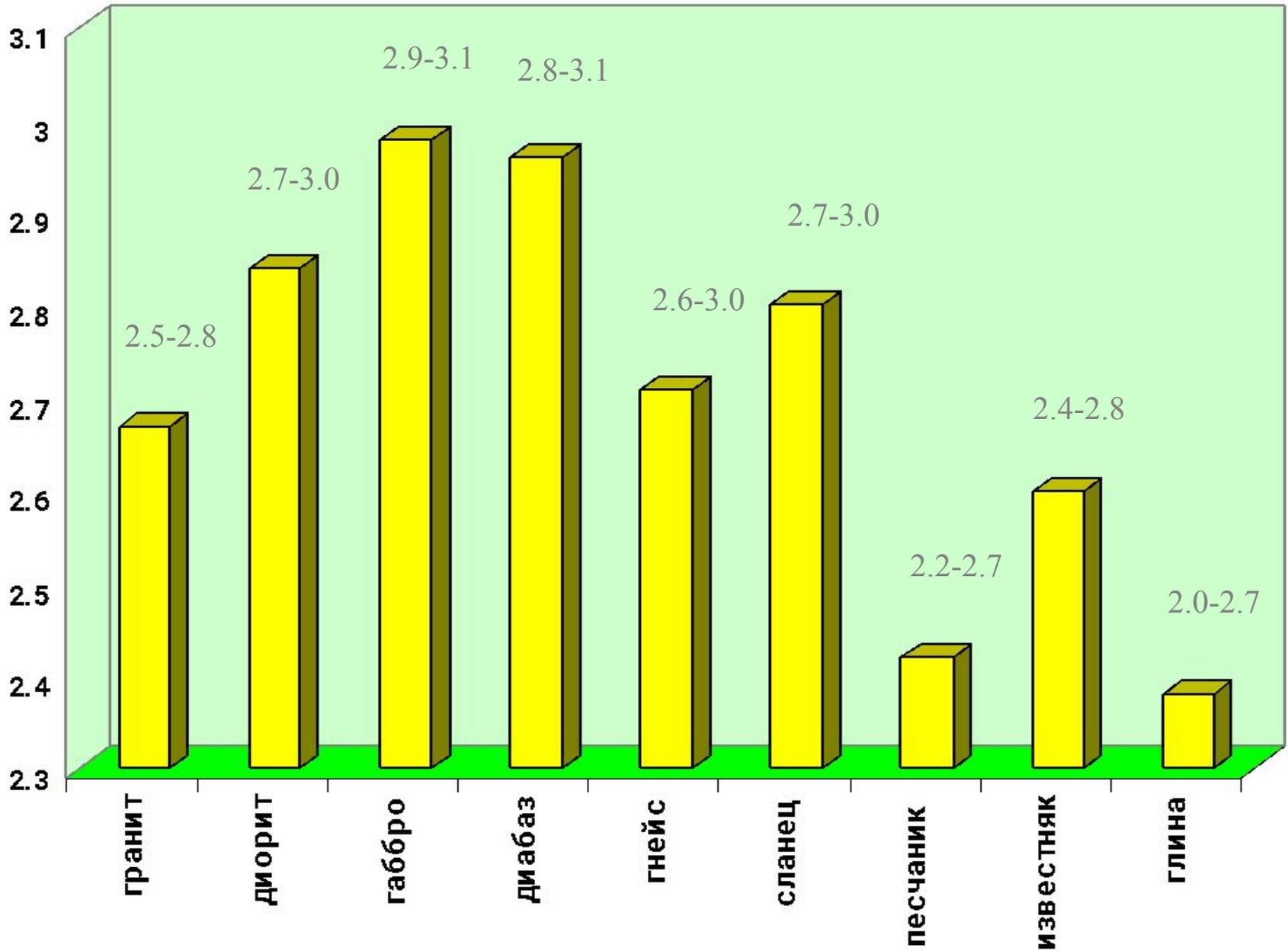
- **Аномалия силы тяжести Фая вычисляется при введении поправки за высоту по формуле:**
- $\Delta g_{\text{ФАЯ}} = g + 0,3086N - \gamma_0$
- Где g – измеренное значение ускорения силы тяжести, мгл,
- γ_0 - нормальное значение ускорения силы тяжести, мгл,
- N – абсолютная отметка пункта наблюдения,

Волго-Урал. Карта аномалий гравитационного поля

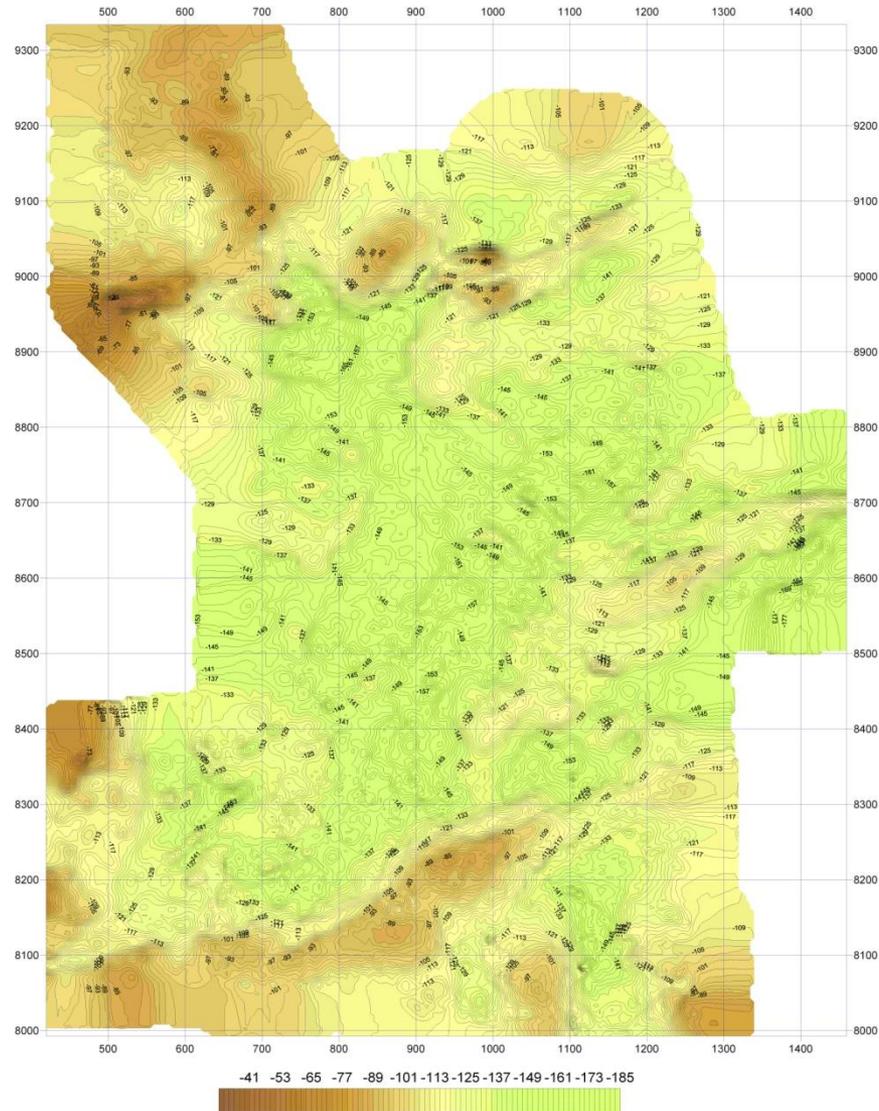


Плотность пород

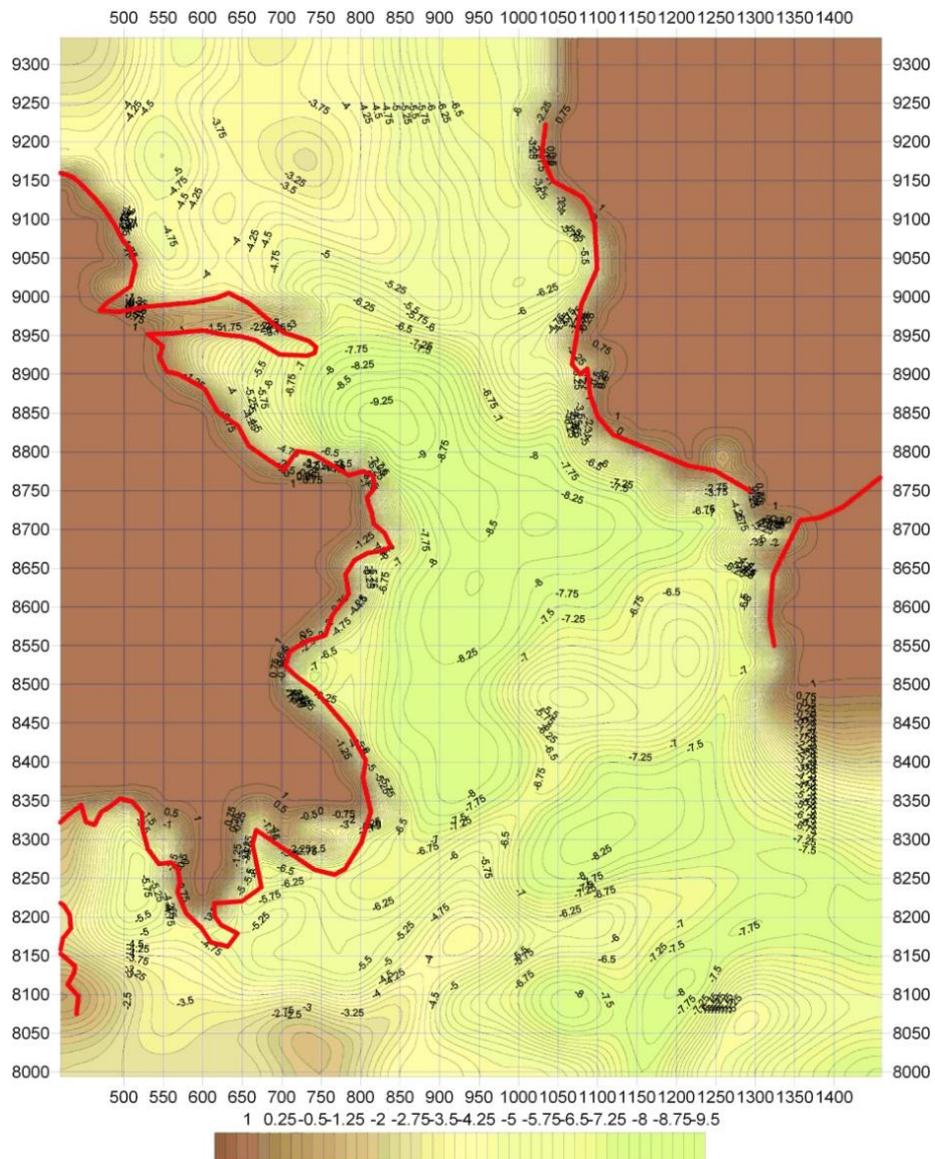
Плотность, г/см³



Ангола, характер наблюдаемого гравитационного ПОЛЯ



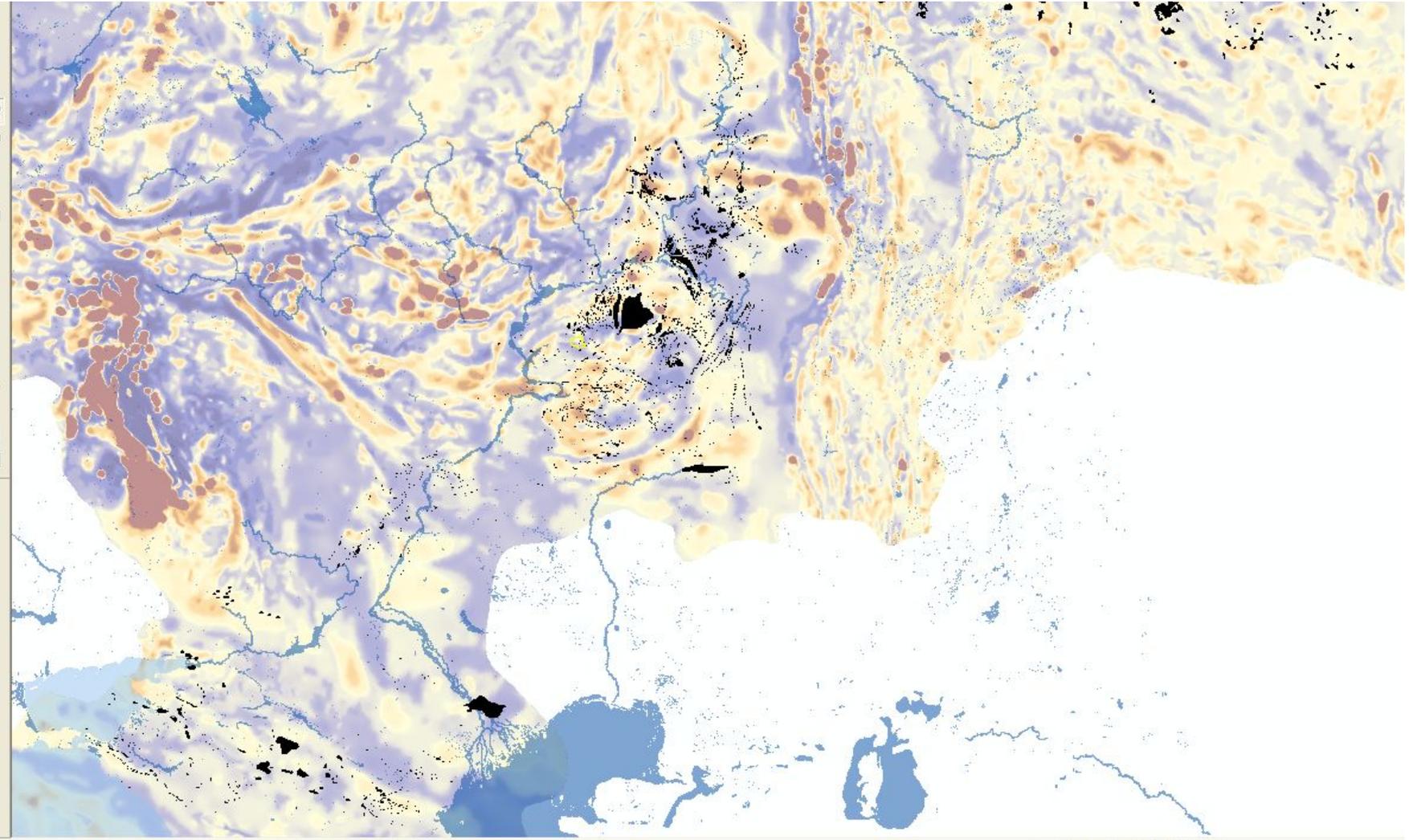
Ангола, поверхность фундамента, построенная по осредненным гравиметрическим данным



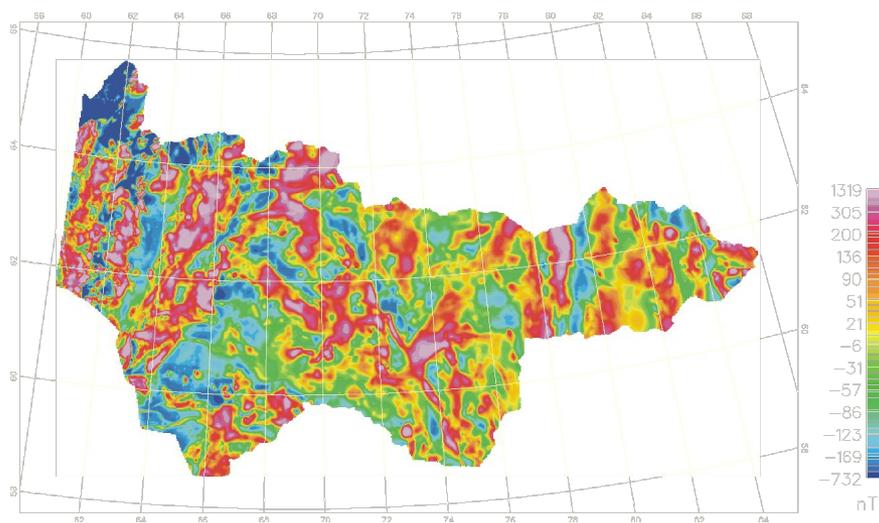
Магниторазведка

- Магнитометрический метод разведочной геофизики основан на изучении аномалий геомагнитного поля, вызванных различиями магнитных свойств горных пород в земной коре. Формирование аномального поля связано преимущественно с магнитной неоднородностью пород кристаллического фундамента, а также с проникающими в осадочную толщу интрузиями и эффузиями преимущественно основного состава.
- Аномальное геомагнитное поле отображается на картах линиями равных значений вектора напряженности ΔT_a , горизонтальных ΔH_a или вертикальных ΔZ_a его составляющих. Основной вид аэромагнитной съемки - это съёмка масштаба **1:200 000**. при которой расстояние между маршрутами составляет 2-4 км, а высота залетов 0,5-1,0 км. **Напряженность магнитного поля выражается в эрстедах (Э), миллиэрстедах (мЭ) и гаммах ($\gamma = 10^{-5}$ Э), в системе СИ в А/м.**
- Аномальное геомагнитное поле платформ и щитов отличается от гравитационного в общем более высокой расчлененностью и контрастностью или, иначе говоря, аномальностью.
- Аэромагнитная карта является важнейшим документом, характеризующим строение кристаллического фундамента. К этому следует добавить, что материалы магнитной съемки позволяют рассчитывать глубины залегания магнитовозмущающих тел.
- Часто с элементами внутренней структуры фундамента закономерно связаны и расположение и характер структурных форм осадочного чехла - антеклиз, синеклиз, сводов, систем линейных дислокаций или валов и региональных флексур.

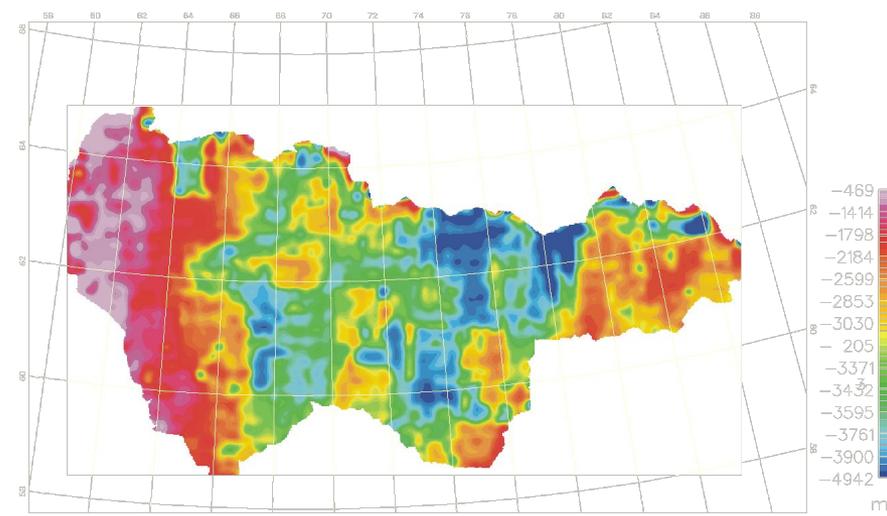
Волго-Урал. Карта аномалий магнитного поля



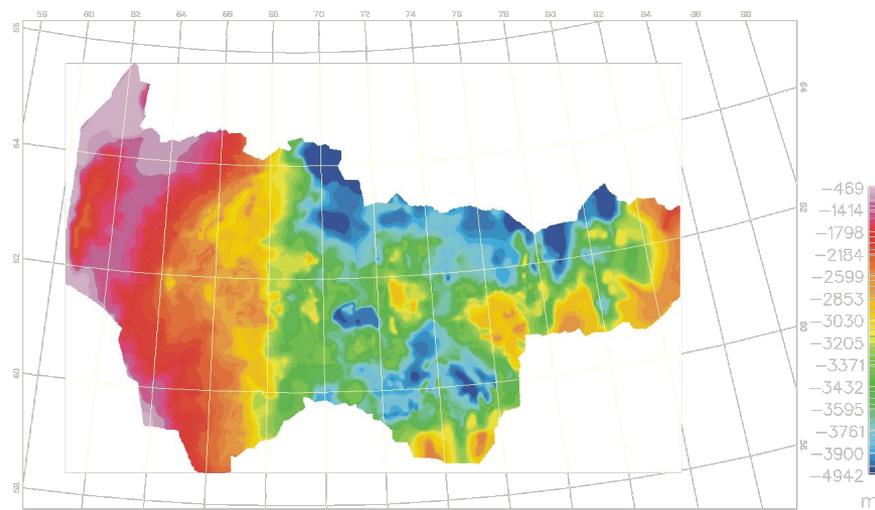
Ханты-Мансийский АО



Аномальное магнитное поле



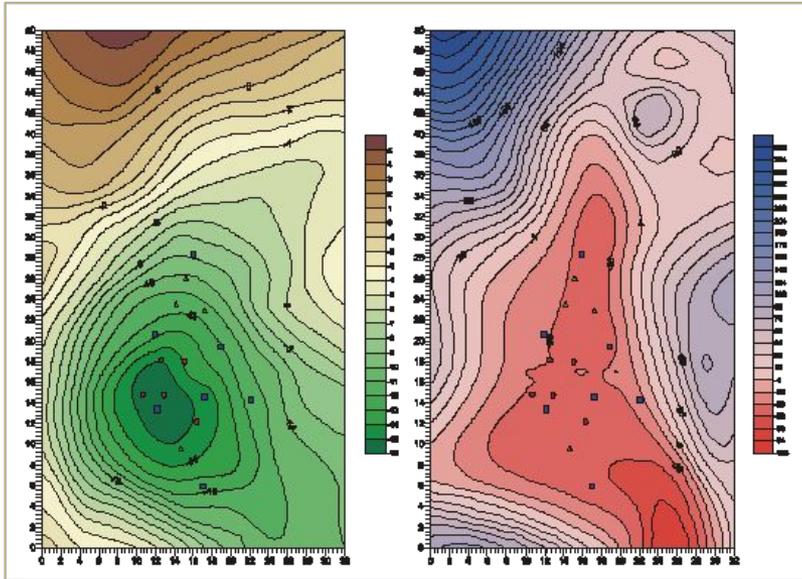
Рельеф главной магнитоактивной поверхности



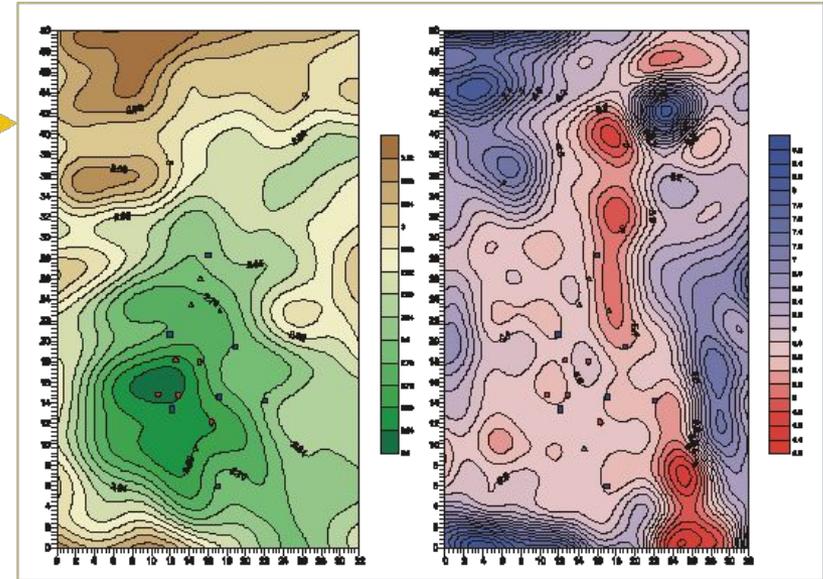
Рельеф палеозойского фундамента по данным сейсмоки и бурения

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЯМЫХ ПРИЗНАКОВ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОДОРОВ

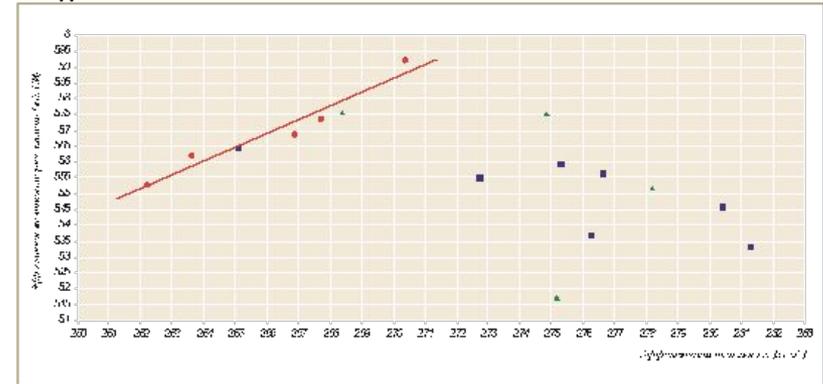
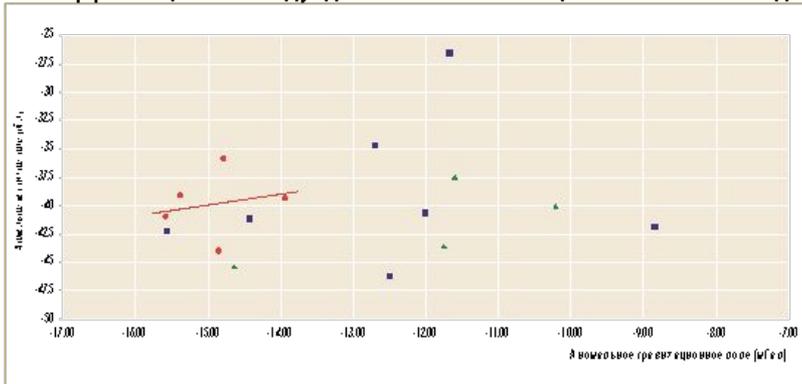
Карты аномальных гравитационного (мГал) и магнитного полей (нТл)



Карты эффективных плотностей (г/см^3) и магнитной восприимчивости ($\text{ед.С И } 10^{-5}$)



Корреляция между данными потенциальных методов и продуктивностью по скважинам



Условные обозначения : ● - продуктивные скв. ▲ - скв. без продуктивного притока ■ - сухие скв.

Возможности прогноза продуктивности образований палеозоя по гравимагнитным данным

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ПОЛЕВЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ



Съемочный вертолет Ми-8



Самолеты Ан-26 (слева) и Ан-30

Аэрогравиметрия выполняется двумя аппаратурными комплексами:



«Гравитон-М»

Разработка ВНИИГеофизики,
МГТУ им. Н. Баумана,
ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика»



«МАГ-4М»

Разработка ЗАО
«Гравиметрические технологии»

СОВРЕМЕННЫЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ:

→ **МОБИЛЬНОСТЬ** – использование серийной авиационной техники, оборудование летательного аппарата в течение нескольких дней;

⇒ **ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ** - до 30 000 пог. км аэросъемок в месяц одним бортом;

⇒ **ДЕТАЛЬНОСТЬ** – определение плановых и высотных координат точек наблюдений с точностью лучше ± 1.0 метр, выполнение кондиционных аэросъемок вплоть до масштаба 1:5000;

⇒ **ЭФФЕКТИВНОСТЬ** – в среднем в 3-5 раз дешевле аналогичных наземных съемок без потери информативности;

⇒ **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ** – решение широкого круга геологических задач, обслуживание городских коммунальных служб, работа в интересах фискальных и контролирующих государственных структур, мониторинг территорий и объектов.

СОСТАВ КОМПЛЕКСА АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ:

ВАРИАНТ 1:

1. Аэромагнитная съемка (до 100 измерений в секунду при чувствительности 0.001 нТл);
2. Аэрогравиметрия со струнными или компенсационными гравиметрами (погрешность определения аномалий силы тяжести в редукции Буге $0.2 \div 0.5$ мГал);
3. Газовая аэросъемка с определением концентрации метана и пропана в слое атмосферы между летательным аппаратом и земной поверхностью.

ВАРИАНТ 2:

1. Аэромагнитная съемка (до 100 измерений в секунду при чувствительности 0.001 нТл);
2. Аэрогамма-спектрометрия с регистрацией полного спектра гамма-излучения и определением концентрации естественных радионуклидов (U, Th, K), мощности дозы суммарного гамма-излучения и локальной составляющей свободного радона в приземной атмосфере;
3. Газовая аэросъемка с определением концентрации метана и пропана в слое атмосферы между летательным аппаратом и земной поверхностью.