

Современные аэрогеофизические технологии – как основа геологических и прогнозно-минерагенических карт нового поколения

Цыганов В.А., Контарович Р.С., Могилевский В.Е., Голубков В.В., Керцман В.М.

Современные аэрогеофизические методы по своей комплексности, точности, глубинности позволяют проводить на больших площадях изучение разреза горных пород на геохимическом, минералогическом, петрографическом, формационном и тектоническом уровнях организации вещества в широком масштабном и глубинном диапазоне. В результате удается получать трехмерные вещественно-петрофизические модели высокой детальности и компонентности. Современные технологии геологической интерпретации аэроданных с учетом всего наработанного до этого фактического геологического материала, в свою очередь, позволяют переходить к статическим геологическим моделям, а далее к их ретроспективной, динамической и прогнозно-минерагенической интерпретации.

Известно, что результаты геологического и прогнозно-минерагенического картирования территорий являются основой минерально-сырьевой базы любой страны и прямо зависят от масштабов и технологических приемов исследований. При этом прирост ресурсов и запасов полезных ископаемых определяется не только детализацией масштабов съемок, но и развитием технико-метрологической базы используемых при съемках технических средств, а также развитием и сменой геологических парадигм и политико-экономических обстановок. Отмеченные обстоятельства во взаимодействии традиционно приводят к необходимости замены устаревших геологических карт картами нового поколения.

В настоящей статье предпринята попытка показать, что современный уровень развития аэрогеофизических технологий, методов геологической интерпретации данных, представляет собой качественно новую основу для построения нового поколения геологических и прогнозно-минерагенических карт. А, соответственно, и основу для нового этапа работ по развитию минерально-сырьевой базы нашей страны.

1. Современные аэрогеофизические методы

В перечень современных аэрогеофизических методов принято включать магнитометрию, гравиметрию, электроразведку, гамма-спектрометрию, тепловую ИК-съемку, а иногда и газовые и аэрозольные наблюдения. За последнее десятилетие для аппаратных средств большинства из названных методов были проведены весьма существенные усовершенствования технико-метрологических характеристик. Благодаря этому некоторые из аэрометодов получили качественно новые измерительные возможности, а некоторые стали впервые применяться в аэрогеофизике.

Примером аппаратурного совершенствования традиционного для аэрогеофизики метода может служить **АЭРОМАГНИТОМЕТРИЯ**, которая, сегодня, как и много лет назад является одним из главных методов, обеспечивающих получение важнейшей геолого-геофизической информации о строении территорий по различным глубинным срезам. К концу 70-х годов прошлого века практически вся территория страны была покрыта Государственными аэромагнитными съемками. Тем не менее, аэро-съемки этим методом в последние годы вновь систематически осуществляются на ранее исследованных территориях. Ответ на вопрос о причинах проведения повторных съемок кроется в сопоставлении технико-метрологических характеристик аэромагнитометров предыдущего и нынешнего поколений, в качественном и количественном различии между извлекаемой ранее и в настоящее время информации.

Современные аэромагнитометры характеризуются сверхвысокой чувствительностью (до 0.001 нТл) и быстродействием (от 10 и 100 измерений в секунду). Это позволяет уверенно выделять и анализировать метрически достоверные аномалии интенсивностью в единицы и десятые доли нТл. А это, в свою очередь, позволяет фиксировать при аэромагнитных съемках до 5-8 составляющих спектра аномального магнитного поля. Из них наиболее высокие - связаны с самой верхней частью разреза - единицы и первые десятки метров. А самые низкие - с глубинами в многие километры. На рисунке №1 приведено сопоставление результатов двух съемок одного и того участка, разделенные во времени более чем 20-летним перерывом.

Выполняются аэромагнитные съемки с аппаратурой современного мирового класса точности, примерами которой могут быть (<http://www.aerogeophysica.com/rus/aparat/aeromast.htm>). аэромагнитометры AeroMag® и AeroMaster®. Последний из них представляет собой уникальную многоцелевую аэрогеофизическую измерительно-навигационную систему, способную выполнять весь комплекс задач по

высокоточному измерению и регистрации магнитного поля и его градиента, а также осуществлять полное навигационное обеспечение съемочного процесса для любого типа воздушного судна. Компактность системы AeroMaster® делает возможной ее установку на сверхлегкие воздушные суда, а способность осуществлять высокоскоростные и прецизионные (100 измерений в секунду при разрешающей способности в 0.01 нТл) измерения магнитных полей позволяет применять систему на высокоскоростных носителях и/или решать задачи картирования и поисков сверхмалых объектов без потери детальности съемки.

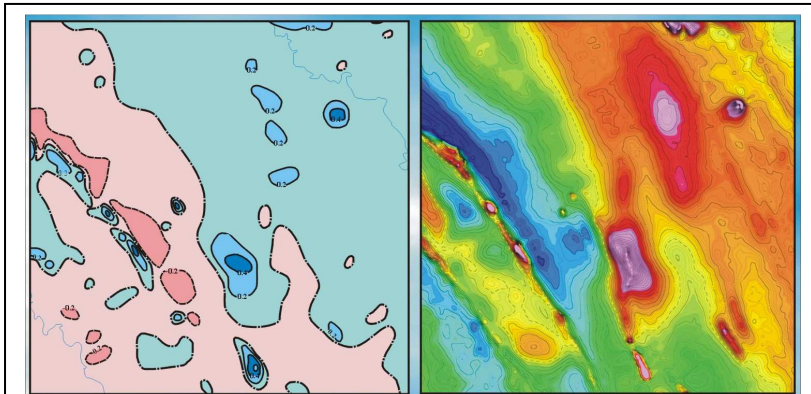


Рис. 1. Аномальное магнитное поле одного из участков Северного Тимана по материалам аэросъемки 1978 г. (лево) и 2000 г. (право).

шеств перед традиционными гравиметрическими методами. Это быстрота получения материала, высокая экономическая эффективность (особенно при работах в труднодоступной местности) и возможность изучения поля силы тяжести в трехмерном пространстве (на разных высотных уровнях). За пределами России аэрогравиметрические работы проводят такие крупные геофизические компании как: Carson Services (США), Edcon Aero Surveys (США), Sander Geophysics (Канада) и Fugro LCT. В России только ФГУНПП «Аэрогеофизика» в настоящее время обладает в полном объеме аппаратурой, технологией и опытом проведения аэрогравиметрических съемок в производственных объемах.

Условия измерения силы тяжести на борту летящего самолета (вертолета) предъявляют ряд специфических требований к съемочной аппаратуре и прежде всего к гравиметрическим датчикам. Аэрогравиметры должны обладать очень большим динамическим диапазоном измерения (сотни гал), малой чувствительностью к вибрации, выдерживать значительные перегрузки. Для повышения надежности съемки измерения должны выполняться одновременно не менее чем тремя гравиметрами. Поэтому датчики должны иметь небольшие размеры и массу. Основной проблемой, возникающей при любых измерениях силы тяжести на подвижном основании, является исключение и/или учет воздействия на измерительную систему ускорений носителя, величина которых может в десятки тысяч раз превышать амплитуду аномалий силы тяжести.

Для выполнения аэрогравиметрических измерений в ФГУНПП «Аэрогеофизика» (совместно с МГТУ им. Баумана и ВНИИ Геофизика) был создан аппаратурно-программный комплекс «Гравитон-М» (Рис. 2) включающий в себя следующие основные модули:

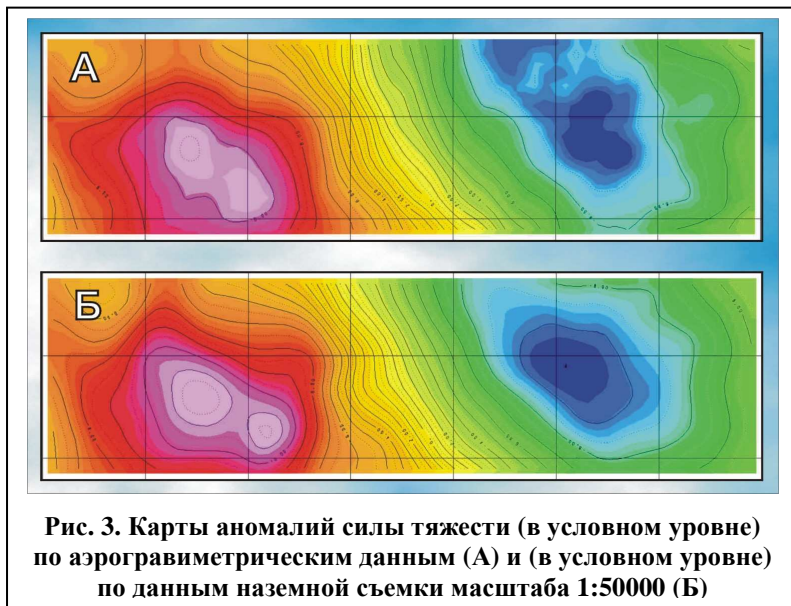
- измерительный блок из трех струнных гравиметров с инструментальной точностью определения ускорения силы тяжести не хуже ± 0.1 мГал и постоянной времени 1-2 сек.;
- гиринерциальная (шулеровская) платформа, обеспечивающая стабилизацию в движении осей чувствительности гравиметров вдоль невозмущенной вертикали с погрешностью не более 20-30 угловых секунд;
- двухчастотные приемники спутниковой навигационной системы GPS, позволяющие проводить в дифференциальном режиме высокоточные измерения возмущающих ускорений летательного аппарата и привязку точек съемки;
- блок регистрации и обработки данных с соответствующим пакетом программ.



Рис. 2. Комплекс «Гравитон-М»

Комплекс «Гравитон-М» сертифицирован Евро-Азиатским Геофизическим обществом (ЕАГО) на производство аэрогравиметрических съемок масштаба 1:200000. Аэрогравиметрические измерения выполняются на самолетах или вертолетах на любых доступных для полетов высотах с минимальной скоростью, при которой сохраняется устойчивость движения летательного аппарата (280-300 км/час у самолетов и 120-150 км/час у вертолетов). Съемка проводится вдоль прямолинейных маршрутов, образующих над исследуемой территорией ортогональную сеть профилей. Производительность аэрогравиметрических работ составляет порядка 10000-15000 кв. км съемки масштаба 1:200000 за один месяц. К настоящему времени имеются результаты выполнения съемок на нескольких площадях (<http://www.aerogeophysica.com/rus/geophis/pgrav/pgrav.html>).

В 2001 году аэрогравиметрические измерения на вертолете Ми-8 были выполнены в районе г. Воронеж над небольшим участком длиной 35 и шириной 9 км с целью оценки возможности проведения крупномасштабных съемок. Средняя высота полетов составила 100 м над земной поверхностью. Изме-



рения выполнялись по ортогональной сети профилей с шагом 250 метров. Всего за 12 вылетов (42 летных часа) отработано 180 профилей общей длиной 2600 км. Оценка точности, проводилась путем сопоставления карт в редукции Буге построенных по аэрогравиметрическим данным (Рис. 3А) с аналогичными картами по материалами наземных гравиметрических съемок масштаба 1:50000 (Рис. 3Б). Погрешность аэрогравиметрической карты аномалий силы тяжести составила ± 0.5 мГал., что укладывается в требования Инструкцией по гравиразведке для погрешности определения аномалий Буге в труднодоступных районах при съемке масштаба 1:50000. Разрешение полученной карты превосходит инструк-

ное разрешение карт масштаба 1:100000 и приближается к разрешению масштаба 1:50000. В настоящее время в ФГУНПП «Аэрогеофизика» проводятся исследования с целью увеличения разрешения аэрогравиметрической съемки.

Первый опыт использования **АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ** для поисков углеводородов относится к методическим работам с вертолетной модификацией метода переходных процессов на ряде объектов Волго-Уральской провинции в 1985-93 гг. Результаты работ на территории Удмуртии, Татарстана, Восточного Прикаспия послужили основанием для рекомендаций по включению аэроэлектроразведки в комплекс опережающих работ. Кроме углеводородов аэроэлектроразведка показала положительные результаты применительно к проблемам поисков месторождений алмазов, бокситов, сульфидов, полиметаллов и других полезных ископаемых. Особая эффективность метода связывается с решением задач геологического, литологического, гидрогеологического картирования территорий в диапазоне глубин до первых сотен метров.

Аэроэлектроразведочные методы, применяемые в современной геолого-геофизической практике могут быть охарактеризованы на примере модификации дипольного индуктированного профилирования. Новая самолетная электроразведочная система ДИП-А 4.2., разработана в ГНПП «Аэрогеофизика», принципы работы которой - синфазные и квадратурные измерения параметров полигармонического переменного магнитного поля в геометрической схеме Fixed Wing с вертикальным (Z) направлением вектора момента возбуждающего поля. (<http://www.aerogeophysica.com/rus/personal/volkovit/razrab.htm>).

Определение проводящих свойств среды производится путем измерения параметров специально возбуждаемого переменного магнитного поля на разных частотах и его изменений, вызванных присутствием проводящих слоев земли в зоне возбуждения. Данный вариант системы реализует следующую сетку частот: F0 = 130 Гц; F1 = 520 Гц; F2 = 2080 Гц; F3 = 8320 Гц.

На рисунке №4 приведены результаты многочастотной аэроэлектроразведочной съемки по фрагменту площади аэроработ на одном из гипербазитовых массивов в пределах Республики Карелия.

Как видно из этих данных, для массива отмечается присутствие элементов субгоризонтальной расслоенности, которая в общем виде может описывать неоднородности вещественно-петрофизической модели интрузивного комплекса.

Велика роль **АЭРОГАММА- СПЕКТРОМЕТРИИ** при геологическом картировании и поисках

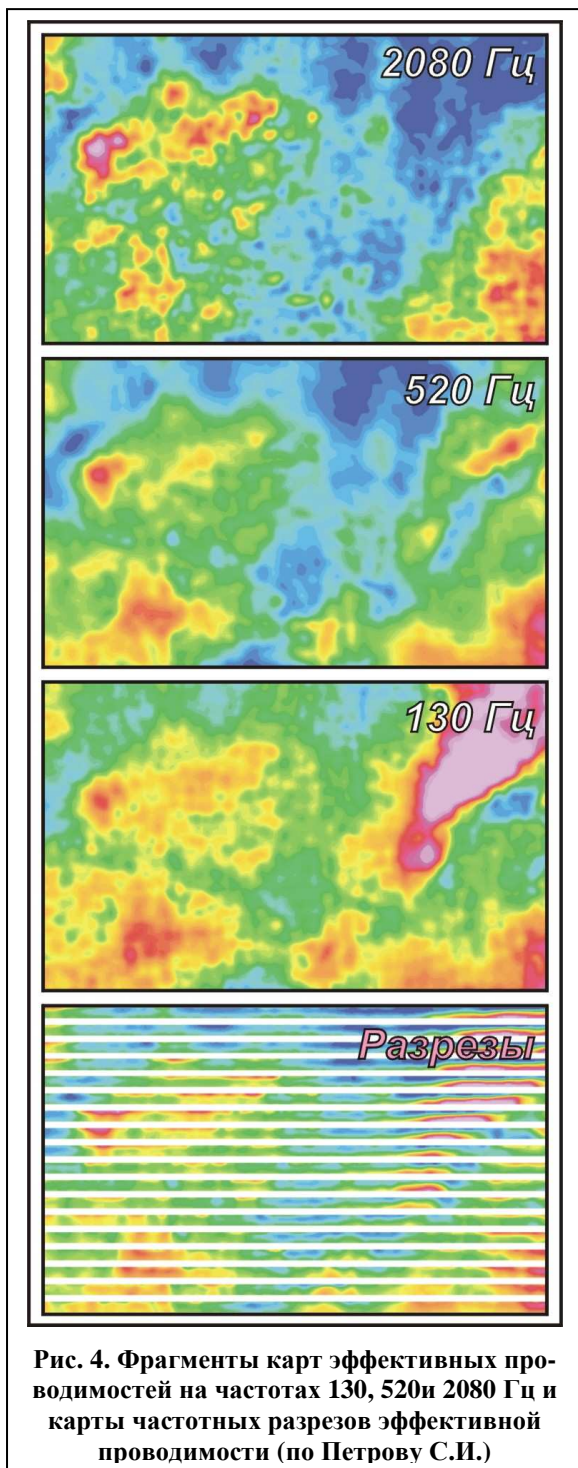


Рис. 4. Фрагменты карт эффективных проводимостей на частотах 130, 520и 2080 Гц и карты частотных разрезов эффективной проводимости (по Петрову С.И.)

СЪЕМКА.

Этот метод дистанционных геофизических исследований был апробирован несколько десятилетий назад на геологических объектах, обладающих наиболее высокой тепловой контрастностью, достаточной для фиксирования техническими средствами того времени. Как правило, это были геологические явления, связанные с современными вулканическими процессами, мощными зонами окисления сульфидных месторождений в гипергенных обстановках, а также в связи с неоднородностями в геокриологическом строении территорий распространения многолетнемерзлых пород. Для выделения и картирования указанных геологических явлений оказывались достаточными весьма невысокие требования к пространственному и температурному разрешению измерительных технических средств ИК-съемки.

твердых полезных ископаемых. Кроме очевидных ситуаций, связанных картированием различных вещественно-радиогеохимических комплексов пород и с поисками месторождений радиоактивных руд, этот метод хорошо зарекомендовал себя при поисках месторождений бокситов (концентрация тория в корках выветривания), золота (околорудные метасоматиты с перераспределением естественных соотношений РАЭ), алмазов (концентрация тория в тяжелой фракции при дефиците калия) и ряда других полезных ископаемых.

В 1995 году Горное бюро США опубликовало информационный циркуляр об использовании гамма-спектрометрии при поисках месторождений углеводородов. Из 237 проанализированных случаев в 85% приведены примеры положительных результатов различной подтверждаемости. По этим данным в структуре поля естественной радиоактивности находят отражение как непосредственно залежи углеводородов, так и элементы разрывной тектоники, потенциально контролирующие их распределение.

Велика роль метода при исследовании экологических обстановок, связанных с их заражением [продуктами ядерного топливного цикла](http://www.aerogeophysica.com/rus/geophys/agsr2/agsr2.html). Интересно, что и в ряде других экологических проблемах радиоактивные элементы часто выступают как специфические индикаторы концентраций или процессов, негативно влияющих на условия среды обитания.

Для проведения АГС съемки используется цифровой 512-ти канальный спектрометр с полициновыми детекторами NaI (Тl), общей емкостью до 52 литров. Энергетическое разрешение спектрометра по линии 0.662 мэв. - не хуже 9%. Диапазон регистрации спектра гамма-излучения 0.38 - 5.0 мэв. Шаг регистрации спектра по энергетической шкале – 10 кэв. Частота регистрации - 1 сек. Стабилизация энергетической шкалы спектрометра осуществляется путем термостатирования детекторов при температуре 36°С <http://www.aerogeophysica.com/rus/aparat/spektr.htm>.

Особый интерес из аэрометодов, высокая эффективность которых, на наш взгляд, применительно к решению различных геологических задач пока должным образом не раскрыта, но обозначится уже в ближайшее время, является **ТЕПЛОВАЯ ИНФРАКРАСНАЯ**

Геологические объекты отмеченного типа были достаточно быстро обследованы и метод тепловой инфракрасной съемки несколько десятилетий использовался далее практически только для решения задач, связанных с различного рода техногенными воздействиями на окружающую среду.

В настоящее время тепловая ИК аэросъемка выполняется аппаратурно-программным комплексом (<http://www.aerogeophysica.com/rus/teplo/sysreg2r/sysreg2r.html>), включающим цифровую тепловизионную сканирующую систему высокого разрешения "ИКАР-002" (разработка ГНПП "Аэрогеофизика"). Бортовая ИК система, установленная на вертолете МИ-2, обеспечивает прием тепловизионного сигнала в 1 (2-х) спектральных диапазонах (обычно 8-13 мкм и/или 3-5 мкм) с чувствительностью $0,03^\circ$ при температуре фона 20°C ; и мгновенном угле зрения 0.7 миллирадиан. Последнее значение при высоте съемки в 300 м соответствует пространственному разрешению на местности в первые десятки см.

Приведенные технические характеристики сканирующей системы нового поколения свидетельствуют, на наш взгляд, о ее безусловной пригодности для решения целого ряда геокартировочных и поисковых задач и многих других геологических задач.

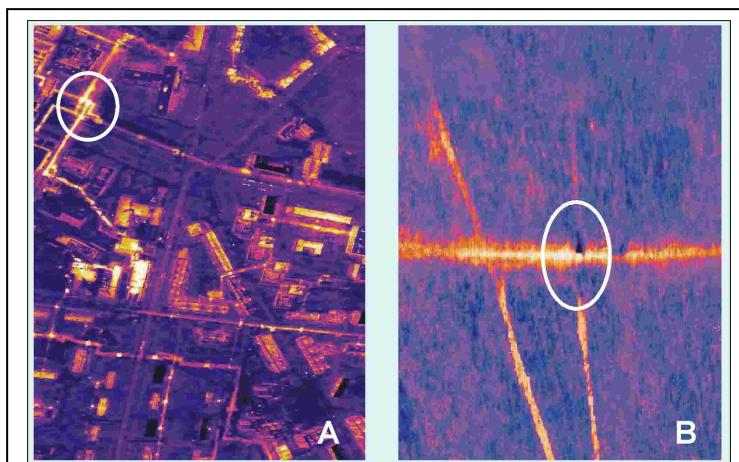


Рис. 5. Результаты тепловой ИК-съемки для прогнозирования аварий тепловых сетей (А) и газопровода (В).

Еще одним методом дистанционного исследования с использованием аэроносителей является **ГАЗОВАЯ АЭРОСЪЕМКА**. Она позволяет определять концентрации NO_2 , SO_2 , CH_4 и др. газов в приземных слоях атмосферы. Измерения производятся с помощью трассовых газоанализаторов (разработка ВНИИОФИ) по линиям поглощения соответствующих газов в спектре отраженного и рассеянного солнечного света. Применяемые приборы метрологически аттестованы. ГНПП "Аэрогеофизика" осуществляет газовую аэросъемку (<http://www.aerogeophysica.com/rus/ecolog/gasr/gasr.html>). при проведении экологических аэросъемок крупных промышленных центров с 1991 г.

Исследование уровней загрязнения воздушной среды аэрозольными частицами является важной составной частью комплексного дистанционного экологического мониторинга окружающей среды. ГНПП "Аэрогеофизика" выполняет **АЭРОЗОЛЬНЫЕ АЭРОСЪЕМКИ**. Получаемые данные по содержанию в атмосферном аэрозоле ряда химических элементов-загрязнителей позволяют выявить области повышенных концентраций, а по результатам повторных, как правило, сезонных съемок - и устойчивые атмохимические ореолы. Отбор проб выполняется кассетным пробоотборником, разработанным ГНПП "Аэрогеофизика". Работы проводятся на вертолете МИ-8. Скорость при полетах -100-120 км/час. Высота аэросъемки - 120-150 м. (<http://www.aerogeophysica.com/rus/ecolog/aerosor/aerosor.html>).

Особое влияние на качество выполняемых аэрогеофизических съемок оказало внедрение **СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**. Современные навигационные системы основаны на использовании приемников совмещенного созвездия GPS (США) + ГЛОНАСС (Россия) (<http://www.aerogeophysica.com/rus/program/index.html>). Это позволяет добиться точности определения координат точек наблюдений в реальном времени в 10-20 м, а с использованием дифференциальной коррекции навигационных данных в режиме постобработки – менее 1 метра. Разработанной в ГНПП "Аэрогеофизика" система "Лоцман" позволяет решать широкий спектр задач по планированию полетов, управлению полетным заданием, управлению режимами полета, решению широкого спектра штурманских задач и передаче необходимой навигационной информации на регистрирующие машины аэрогеофизического комплекса.

Использование современных высокоточных навигационных систем позволяет также получать еще один информационный канал по результатам аэрогеофизических исследований - карту относительных превышений рельефа современной дневной поверхности.

2. Трехмерные комплексные вещественно-петрофизические модели и их геологическая интерпретация

Приведенный перечень геофизических методов, использующихся в практике современных аэросъемок, обеспечивает для большинства реальных ситуаций возможность построения трехмерных однокомпонентных и многокомпонентных вещественно-петрофизических моделей высокой детальности. В

зависимости от типа геологического строения территорий такие модели могут быть стратифицированными (субгоризонтальнослоистыми и дислоцированными), нестратифицированными, комбинированными. В пределах каждой из них условно можно выделять самую верхнюю, верхнюю, среднюю, нижнюю и самую нижнюю части разрезов. Уровни глубинности этих частей описываются примерно логарифмическими масштабами, что связано с особенностями каждого из геофизических методов и их поглубинными корреляциями.

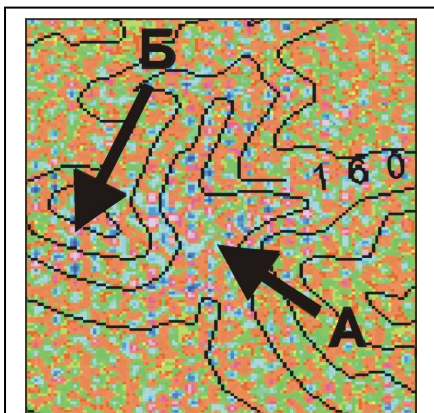


Рис. 6. Скопления магнитных минералов (синие) в СВЧР по данным аэромагнитной съемки (А- пролювий, Б- делювиальная струя, изолинии – рельеф местности)

Кратко прокомментируем выделение названных составляющих на примере субгоризонтальнослоистой модели, характерной для плит древних платформ.

К САМОЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА (СВЧР) в условиях древних платформ можно относить образования, залегающие на глубинах, измеряемых в среднем самыми первыми метрами от современной дневной поверхности. Обычно в этот диапазон вполне укладываются слои,

- связанные своим образованием с антропогенным и техногенным воздействием человека на среду,
- элювиальных, делювиальных и пролювиальных образований голоцена или верхнего звена неоплейстоцена-голоцена нерасчлененных на любых типах подстилающих отложений;
- аллювиальных комплексов пойм, реже первых надпойменных террас;
- на территории развития многолетней мерзлоты это сезонно-талый слой и верхняя часть яруса годового теплообмена.

Как правило, образования СВЧР находят наиболее отчетливое отражение в материалах аэрогамма-спектрометрической съемки, на картах самой высокой частоты по данным аэроэлектрораз-

ведки. В последнее время, благодаря высокой точности и пространственному позиционированию аэромагнитометрических наблюдений, удалось получить сигнал о распределении в молодых четвертичных осадках весьма небольших концентраций магнитных минералов (Рис. 6). Важно, что радиус автокорреляции от создаваемых ими весьма мало контрастных аномалий (первые десятые доли нТл), обычно меньше межмаршрутного расстояния.

Одной из особенностей СВЧР, оказывающей существенное влияние на качество геофизической и геологической интерпретации данных, связанных с более глубокими частями разреза, является эффект физического экранирования сигнала различными компонентами ландшафта. Особо ярко это проявляется на материалах аэрогамма-спектрометрии, тепловой ИК-съемки, несколько меньше – на высокочастотных электроразведочных параметрах. Для устранения или минимизации влияния этого явления разработаны специальные технологии, одной из которых является ландшафтно-геологическая редукция данных (<http://www.aerogeophysics.com/rus/personal/tsyganov/tsygtxt.html>).

В конечном счете, для СВЧР составляется многокомпонентная вещественно-петрофизическая модель, которая далее с использованием фактических геологических данных, переводится в логико-семантическую геологическую модель, т.е. модель, описанную в вещественно-стратиграфических терминах.

На Рис.7.1. приведен пример автоматизированного картирования СВЧР с использованием комплекса: аэрогамма-спектрометрических, электроразведочных, магнитометрических данных, а также цифровой модели современного рельефа местности. Для ее построения была разработана специальная компьютерная технология, ориентированная на выделение вещественно-петрофизических неоднородностей в условиях субгоризонтальнослоистой среды.

Диапазон глубин, относимый в условиях древних платформ к **ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА** (ВЧР), условно может быть оценен в среднем, как близкий к первым десяткам метров. В отдельных случаях это могут быть и первые метры и многие десятки метров. На территориях Восточно-Европейской платформы это обычно ледниковые, водно-ледниковые образования неоплейстоцена, верхних надпойменных террас. При малой мощности четвертичных пород это зона выходов на дочетвертичную эрозионную поверхность геологических границ мезозойских, палеозойских и более древних вещественно-стратиграфических комплексов. Т.е. с небольшим упрощением можно считать, что в этом интервале глубин, как правило, проходит граница между четвертичными и коренными породами, и вещественно-стратиграфические неоднородности последних наиболее полно отражают модель, которую обычно рассматривают как геологическую карту коренных пород (bed rocks).

Для ВЧР, как следует из специфики измеряемых геофизических полей и описанных выше геологических представлений, наиболее информативны данные аэроэлектроразведки (разные измеряемые частоты), магнитометрии (высокие частоты спектра), гравиметрии (самые высокие частоты), тепловой ИК-съемки, аэрогамма-спектрометрии (после ландшафтно-геологической редукции).

Отмеченные особенности разреза ВЧР свидетельствуют об исключительной важности выделения, расчленения и картирования этого глубинного интервала. Не останавливаясь в рамках настоящей статьи на технологии этого этапа исследований, проиллюстрируем его результаты. На Рис. 7.2. показана модель геологической карты коренных пород по одной из исследованных территорий. Для построения этой карты использованы результаты электроразведочных наблюдений, данные магнитометрии, гамма-спектрометрии и цифровой модели рельефа местности. Однако, в этом случае, из наблюдаемых полей были исключены компоненты, связанные с СВЧР. И здесь вновь, в основу построения модели была положена рабочая гипотеза о субгоризонтальнослоистом строении среды.

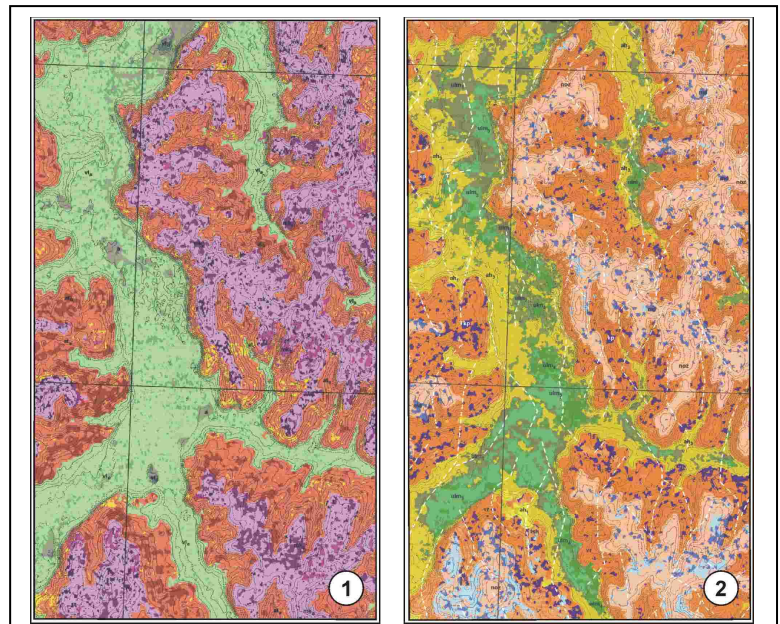


Рис. 7. Фрагменты карты покровных отложений (1) и геологической карты (2), построенных по данным комплексной аэрогеофизической съемки юго-западной части Республики Татарстан.

Интервал глубин, относимый к **СРЕДНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА (СЧР)**, может быть обозначен в рамках диапазона от сотен метров до самых первых километров. Его фактический размах зависит от глубины залегания кристаллического основания платформы и характера распределения петрофизических характеристик пород осадочного чехла между фундаментом и верхней частью разреза. В этом случае особо важным оказывается тип вертикальной дифференциации петрофизических характеристик пород в чехле. Так в случае значительной по мощности (многие сотни метров) разреза, сложенного карбонатными породами, основными объектами картирования в СЧР оказываются терригенные комплексы, отличающиеся от карбонатов по магнитной восприимчивости на порядок и более. Как показали наши работы (<http://www.aerogeophysics.com/rus/personal/kontarov/kont3.html>) в центральных частях Восточно-Европейской платформы такими образованиями могут выступать терригенные пачки пород нижнего карбона на фоне карбонатного разреза верхнего девона, карбона и нижней перми.

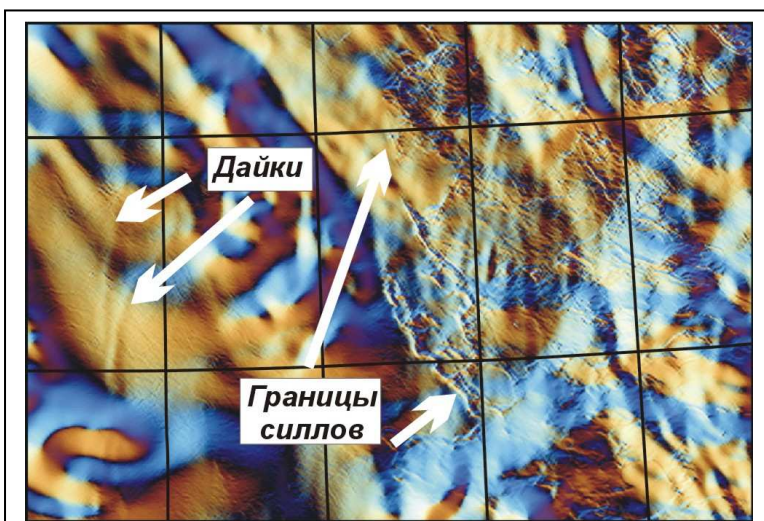


Рис. 8. Цветовая модель аномального магнитного поля ЮВ части Мезенской синеклизы

ная - с трапповыми дайками и силлами, положение верхних кромок которых приурочено к средней части осадочного чехла.

В других случаях, при более пестром составе осадочного чехла в СЧР могут выделяться только более магнитные образования. Так при проведении работ аэроаэро в пределах Мезенской синеклизы в СЧР удалось зафиксировать весьма широкое распространение траппов (Рис. 8) в виде силлов и даек. На приведенном рисунке отчетливо просматривается минимум две частотные составляющие, из которых низкочастотная связана с глубиной залегания и вещественными неоднородностями кристаллического фундамента, а более высокочастотная

НИЖНЮЮ ЧАСТЬ РАЗРЕЗА в пределах плит древних платформ обычно связывают с глубинами залегания кристаллического фундамента. Это глубины, измеряемые первыми километрами, и низкие частоты магнитного и гравитационного полей.

На рисунке №9 приведен пример результатов геологического картирования верхней части разреза фундамента на средних глубинах около 2 км по территории 4-х листов масштаба 1:200 000 южной части Кировской области. На частях рисунка с индексами «1» и «2» показаны карты намагниченности и плотности пород кристаллического основания. Часть рисунка с индексом «3» иллюстрирует результаты классификации этих пород по названным петрофизическим характеристикам. Далее приведены карты петромагнитных разрезов по фундаменту («4») и оценочных глубин залегания главной магнитоактивной поверхности («5»). Все пять перечисленных карт получены по результатам геофизической интерпретации магнитометрических и гравиметрических данных и представляют собой вещественно-петрофизические модели изученной территории.

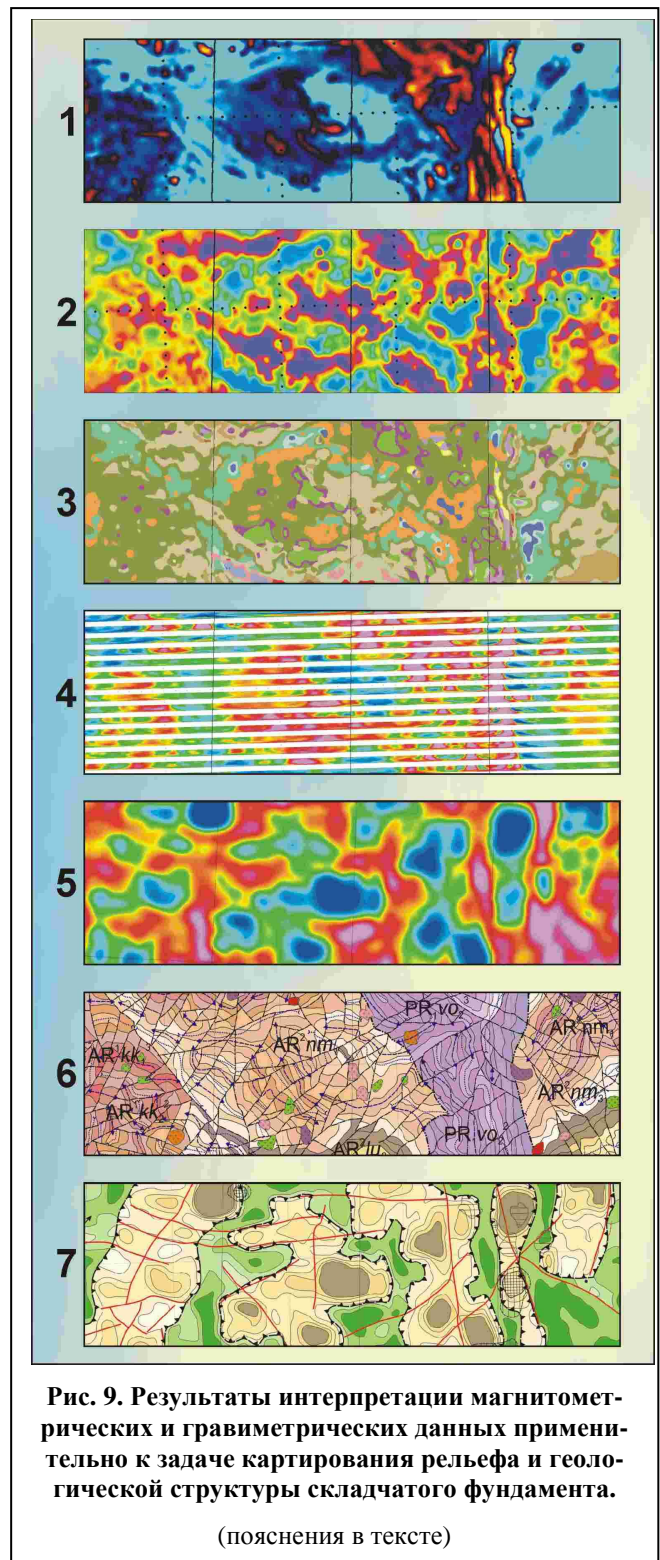
Геолого-тектоническая карта верхней части разреза кристаллического основания (Рис.9.6) получена по результатам геологической интерпретации данных и геофизических моделей. В основу ее построения были положены не только площадные геофизические модели, но и петрофизические разрезы. Последние позволили перейти к рассмотрению соотношений выделяемых на моделях элементарных вещественно-петрофизических неоднородностей с позиций «выше – ниже», т.е. к стратификации, а затем и к стратиграфии суперкрупных комплексов.

На полученной геолого-тектонической карте верхней части разреза кристаллического фундамента отчетливо выделяются блоки пород различного возраста кратонизации, разделенные между собой крупными тектоническими швами, прорисованы детали геологического строения для каждого из блоков.

При сопоставлении этой карты с картой структур рельефа поверхности кристаллического фундамента (Рис.9.7.) отчетливо выделяются элементы унаследования и наложенные структуры рельефа.

Важные результаты были получены при проведении аналогичной работы по территории Московской области. Здесь удалось увидеть отчетливую унаследованность тектонических форм докембрийских структур не только рельефом поверхности фундамента, но и современным дневным рельефом. А анализ данных по неотектонике этого региона показал, что и неотектоническое развитие здесь в значительной степени определено делимостью кристаллического основания.

Геологические образования **САМОЙ НИЖНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА (СНЧР)** находят свое отображение в материалах магнитометрии и гравиметрии, да и то только тогда, когда исследуемая площадь имеет размеры в многие тысячи и десятки тысяч км.кв. Это, как правило, самые низкочастотные регио-



нальные тренды, характеризующиеся радиусом автокорреляции не менее первых десятков км. Как правило, глубины залегания геологических образований, относимых к СНЧР, измеряются многими км и первыми десятками км. Их выделение, исследование и картирование возможно и целесообразно только при проведении мелкомасштабных региональных работ при комплексировании с глубинными модификациями сейсморазведки. В рамках принятой на сегодня технологии работ по региональному изучению территории РФ структура СНЧР может изучаться только вдоль линий комплексных геолого-геофизических геотраверсов.

Рассмотренные особенности трехмерных комплексных вещественно-петрофизических и геологических моделей на примере плитных частей древних платформ, как уже отмечалось, относятся к моделям субгоризонтальнослоистого типа. Хотя в нижней части разреза таких территорий уже имеют место элементы стратифицированной, но дислоцированной модели геолого-тектонического строения, а местами и (интрузивные комплексы в фундаменте) нестратифицированные образования. Отмеченные особенности описанной модели на примере плит древних платформ, позволяют рассматривать ее как достаточно универсальную для общего случая и применимую в других обстановках (частных случаях) с исключением из разреза отдельных его частей и с уточнением глубинных диапазонов других составляющих.

3. Прогнозно-минерагенические интерпретационные модели

Этот тип интерпретационных моделей отличается от рассмотренных моделей общего геологического типа наличием четкой прогнозной цели. Здесь любая входящая геолого-геофизическая и другая информация проходит через специальные фильтры, разделяющие ее на следующие группы:

- данные, позволяющие картировать предпосылки локализации поисковых объектов, т.е. прогнозировать перспективные ситуации на основе установленных закономерностей локализации объектов поисков в геологической среде региона;
- данные, позволяющие картировать признаки локализации поисковых объектов, т.е. прогнозировать перспективные ситуации на основе установленных форм отражения в различного типа полях геологических явлений, связанных непосредственно с объектами поисков или специфического воздействия процессов их формирования на окружающую геологическую среду;
- данные, позволяющие картировать различного типа ландшафтно-геологические обстановки, влияющие на возможность выделения поисковых предпосылок и признаков.

В общем виде схема построения таких моделей применительно не только к конечному, но и всему иерархическому ряду целевых промежуточных объектов поисков описана и опубликована нами ранее (<http://www.aerogeophysica.com/rus/personal/tsyganov/tsygtxt.html>), и поэтому здесь не рассматривается.

Заключение

Современный уровень развития аэрогеофизических методов, как по количеству видов получаемой при съемках информации, так и по технико-метрологическим параметрам каждого исследовательского канала, высокая экспрессность в проведении съемок на больших территориях, относительная дешевизна в сравнении с наземными методами, возможность комплексирования с материалами аэро- и космофотосъемок в единых ГИС или других компьютерных технологиях, все это в совокупности позволяет изменить саму технологическую схему использования аэрогеофизики в решении различных прикладных геолого-исследовательских задач.

Вместо "типового комплекса" аэрометодов, опережающих региональные исследования и составление геологических карт, результаты которых часто просто "прикладываются" к геологическим отчетам, современное состояние аэрогеофизики позволяет для многих районов страны перейти к комплексному геолого-аэрогеофизическому картированию территорий с составлением геологических карт на основе высококачественных данных комплексных аэросъемок.

Вместо традиционного "прямого поиска" месторождений по локальным геофизическим аномалиям с попытками эпизодического и не систематизированного выделения других прогнозных факторов, современное состояние аэрогеофизических методов позволяет перейти к разработке и использованию целевых аэрогеофизических прогнозно-поисковых технологий, ориентированных на эффективное обнаружение конкретных промышленных типов месторождений полезных ископаемых в конкретных ландшафтно-геологических обстановках.

Отмеченные обстоятельства позволяют подойти к использованию типовых целевых аэрогеофизических геолого-исследовательских технологий, ориентированных по всем своим параметрам на решение конкретных прикладных задач с максимально возможной экономической эффективностью. При этом ориентация технологии на достижение заданной цели в каждом конкретном случае должна обеспечиваться:

- целевым выбором необходимой этапности (стадийности) работ, аэрогеофизических методов и модификаций, точности наблюдений, масштабов и высот съемок для различных этапов,
- целевой методикой обработки и представления информации, набором дополнительных необходимых данных,
- целевой технологической схемой общей и прогнозной интерпретации полученной информации.

В соответствии с основными типами геолого-исследовательских задач такие технологии подразделяются на: геолого-съемочные, прогнозно-поисковые, инженерно-геологические, гидрогеологические, гео-экологические и др. и далее классифицируются по видам конкретных задач (поиски конкретных типов месторождений в конкретных ландшафтно-геологических обстановках, выделение конкретных объектов экологического контроля и т.д.).

Опубликовано:

1. В сб. научных трудов «Конгресс выпускников геологического факультета МГУ 26 мая 2004 г.». М. МГУ. 2004. С 151-158.