

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Ф.Д. Лазарев<sup>1</sup>, А.Н. Онищенко<sup>1</sup>, В.В. Ромашко<sup>1</sup>, Р.Е. Волгин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского, Норильский филиал, г. Норильск, Россия

<sup>2</sup>(ООО «Красноярское ГРП»), г. Красноярск, Россия

На примере Енисейского кряжа изложена технология прогнозирования золоторудных объектов на основе последовательной интерпретации геофизических материалов, включающих гравиметрию, магнитометрию и гамма-спектрометрию, с привлечением геологических и геохимических данных. Отличается поэтапной и последовательной стадийностью исследования от «регионального к локальному» и от «общего к частному», с применением геофизических поисковых критериев признаков золотого оруденения.

На *первом этапе* анализируются среднемасштабные материалы потенциальных полей, на *втором* осуществляется интерпретация цифровых матриц аэрогеофизических съемок масштаба 1:25 000 (и крупнее), а на *завершающем этапе* исследуются графики геофизических полей по линиям аэрогеофизических маршрутов.

Технология позволяет с относительно небольшими затратами ощутимо повысить эффективность прогнозно-поисковых работ во многих как уже известных, так и в новых горнопромышленных районах.

Сотрудники Норильского филиала ФГБУ «ВСЕГЕИ» достаточно продолжительное время успешно выполняют аэрогеофизические исследования, направленные на выявление коренных золоторудных месторождений. Аэрогеофизические работы, выполненные в различных горнорудных провинциях (Республика Карелия, Полярный Урал, Таймыр, Енисейский кряж, Восточный Саян, Забайкалье, Магаданская область, Чукотка) позволили выработать определенную технологию по прогнозированию золоторудных объектов.

## Технология

Под термином **«технология»** мы понимаем совокупность технических средств, методических приёмов производства полевых работ, камеральной обработки геофизических материалов, методических приемов интерпретации геофизических данных, направленных для достижения определенной цели. В данном случае такой целью является локализация участков, перспективных на рудное золото в ранге рудных полей.

Главной особенностью технологии является **стадийность исследований**. Разработка состоит из трех основных этапов – «регионального», «крупномасштабного» и «локального», т.е. прогнозирование ведется по принципу «от общего к частному». Тем самым осуществляется последовательное приближение к искомому объекту по цепочке: рудный узел - рудное поле – месторождение.

Другой особенностью разработанной технологии является широкий спектр геофизических полей, вовлекаемых в интерпретационный процесс: магнитное, гравитационное, радиохимическое (содержания урана, тория, калия и значения мощности экспозиционной дозы), электромагнитное, а также геохимические данные. Используются не только цифровые матрицы потенциальных и дискретных полей, но и их трансформации, наиболее полно отвечающие признакам рудоносности. На их основе разрабатываются геофизические поисковые критерии и признаки рудоносности, т.е.

составляется физико-геологическая модель объекта поисков с учетом имеющейся геологической информации по данным предшествующих исследований. Несмотря на то, что разработанная технология представляет сложно построенную, взаимосвязанную систему технических и методических аспектов, выполняющих важную роль в достижении целей прогноза, все-таки ее базис составляет комплекс геофизических поисковых критериев и признаков рудоносности. Именно они определяют технические и методические особенности проведения полевых и камеральных исследований и, как следствие, составляют основу прогноза.

Ниже рассмотрена технология прогнозирования золоторудных объектов на примере Енисейского кряжа. Фактический материал, положенный в основу исследования, получен в результате тематических работ и комплексных аэрогеофизических съемок масштаба 1:25 000 на лицензионных участках, выполненных в 2004-2011 г.г. Обработка и построение трансформант геофизических полей осуществлялись с помощью программы OASIS montaj, пакета-приложения «Каскад», а также собственных оригинальных программных продуктов.

### **Региональный этап**

Региональный этап прогнозирования золоторудных объектов на основе использования среднемасштабных потенциальных полей и космогеологических данных позволяет в сжатые сроки, с минимальными финансовыми затратами дать оценку перспектив золотоносности (в ранге рудных узлов) обширных площадей, охватывающих золотоносные провинции. Результаты регионального этапа служат для планирования, выбора участков лицензирования и определения стратегии поисков.

Площадь изучения охватывала всю Енисейскую золотоносную провинцию (102 000 кв. км). В качестве геологической основы использовались материалы геологических съемок м-ба 1:1 000 000 – 1:500 000 (Рис. 1-а). Исходными геофизическими материалами послужили гравиметрические и аэромагнитные данные масштаба 1:200 000 (Рис. 1-б, 1-в). Дополнительно использованы спектрзональные комические снимки Landsat-7 с разрешением 30 м (Рис. 1-г).

Интерпретация геофизических данных на рассматриваемом этапе осуществлялась в следующей последовательности:

- выделение и ранжирование основных разрывных нарушений, определяющих тектонический каркас площади исследований;
- разделение территории на блоки, характеризующиеся индивидуальными магнитными и плотностными свойствами на основе кластерного анализа гравитационного и магнитного полей и их трансформант (Рис. 2-а);
- формализованная оценка перспективности площади и выделение аномальных зон, обладающих наибольшими перспективами, проведение эталонного прогнозирования, методом «Статистического анализа» (Рис. 2-б).

На основе совместного анализа полученных параметров выделены прогнозные участки первой и второй очереди изучения. Отметим, что 22 из 26 выделяемых предыдущими исследователями рудных и прогнозируемых рудных узлов нашли свое отражение в полученной прогнозной карте. Общая площадь локализованных участков составила 14 500 кв. км или 15% от исследованной территории.

Тринадцать участков из ранга первоочередных рекомендованы для лицензирования и постановки детальных комплексных аэрогеофизических работ с целью поисков новых золоторудных месторождений.



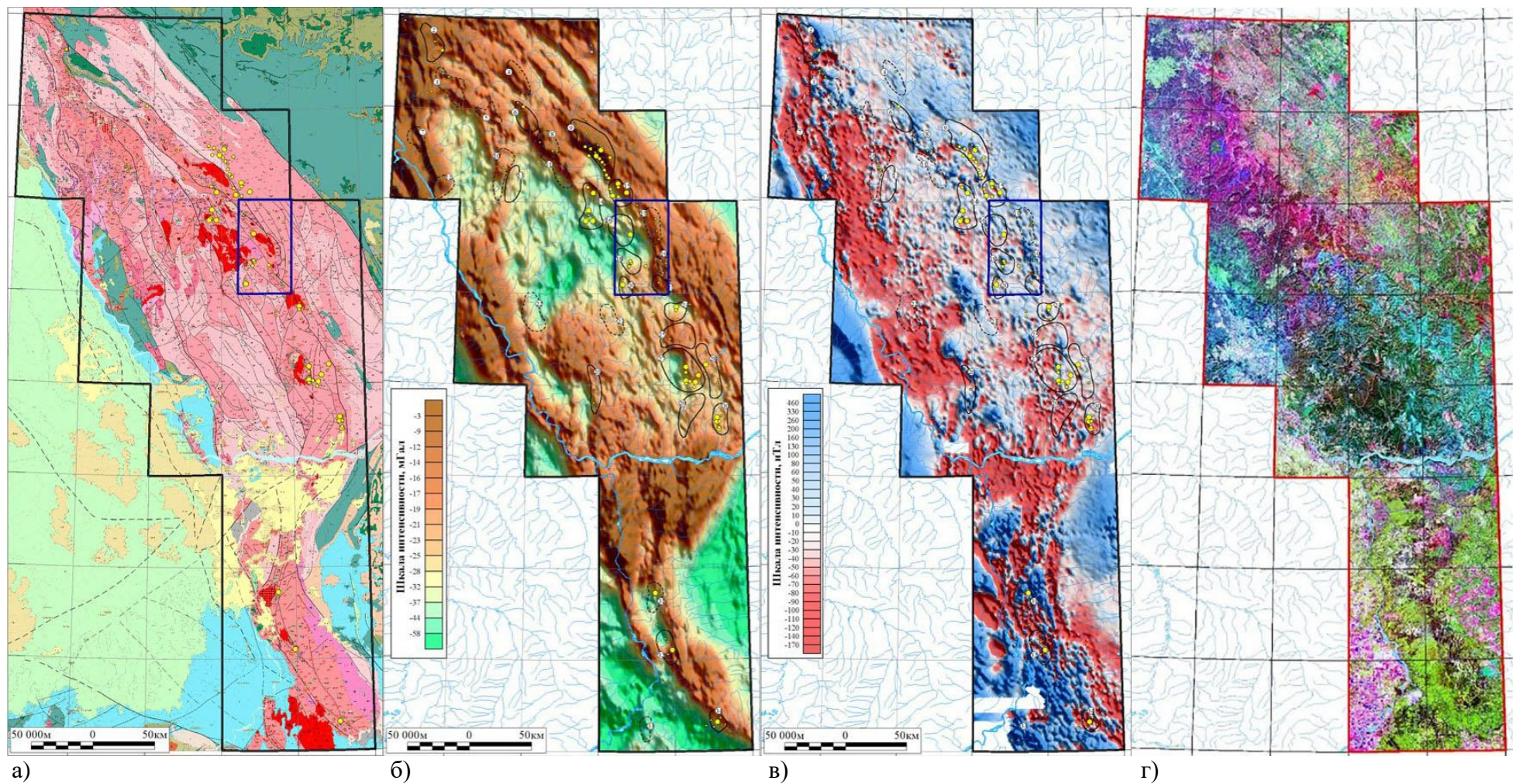


Рис. 1. Исходные материалы региональных съемок Енисейской золотоносной провинции:  
 а) Государственная Геологическая карта; б) Карта поля силы тяжести; в) Карта аномального магнитного поля; г) Спектрональный космический снимок Landsat-7



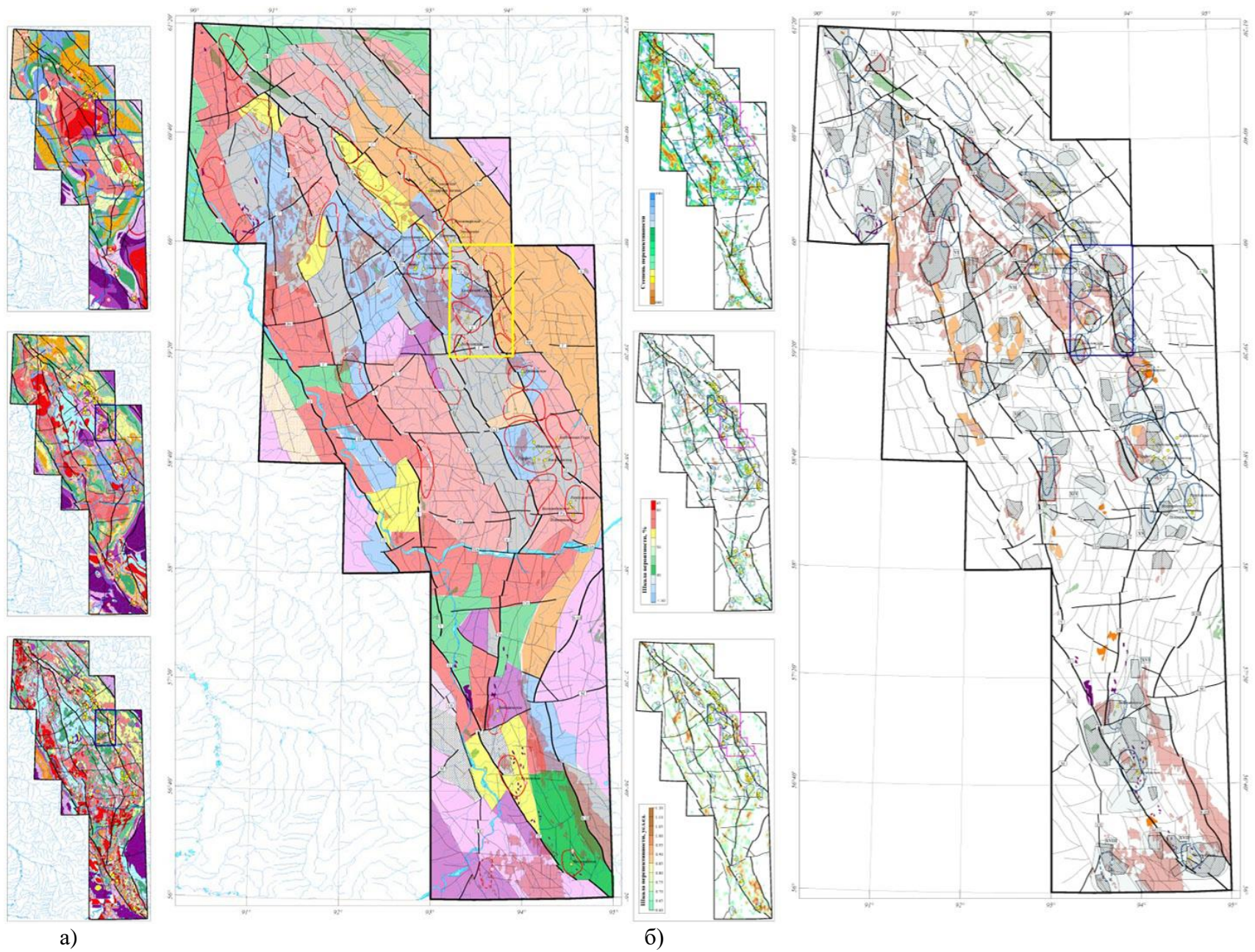


Рис. 2. Результаты интерпретации: а) Схема структурно-тектонического районирования; б) Схема прогнозной интерпретации.

## Крупномасштабный этап

Крупномасштабный этап включает проведение комплексных аэрогеофизических исследований масштаба 1:50 000 - 1:25 000 с применением многометодных аэрогеофизических комплексов на площадях, охватывающих ранее выделенные рудные узлы.

По завершению полевых аэрогеофизических исследований производится обработка полученных материалов, в результате чего формируются кондиционные цифровые матрицы геофизических полей, в том числе *аномальное магнитное поле, содержания урана, тория, калия, мощности экспозиционной дозы, значений эффективных сопротивлений (проводимостей) на частотах 130 Гц, 520 Гц, 2080 Гц, 8320 Гц.* Используемые геофизические данные в сочетании с гравиметрическими и геохимическими материалами являются основой прогнозирования золоторудных объектов.

Реализация этого этапа, на основе применения разработанных методических приемов интерпретации позволяет также в сжатые сроки и с незначительными финансовыми затратами определить плановое положение перспективных участков на обнаружение золоторудных объектов. Такие участки могут рекомендоваться для дальнейшего изучения комплексом наземных геофизических и геохимических исследований, а при положительных результатах – для проведения горно-буровых работ.

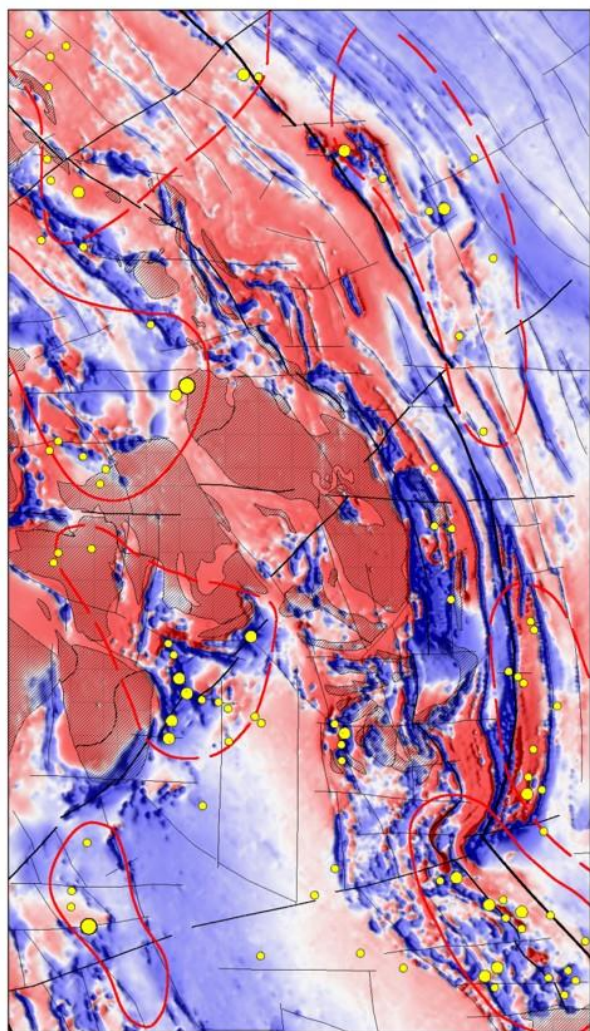
На одном из перспективных участков Енисейского края ( $S = 3400$  кв. км), выделенном на предыдущем (региональном) этапе (Южная площадь), проведена комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1:25 000. По результатам обработки полевых материалов получены цифровые матрицы геофизических полей по регулярной сети 100\*100 м, в том числе: аномального магнитного поля (Рис. 3-а) и мощности экспозиционной дозы (Рис. 3-б). При интерпретации также использовались и данные гравиметрической съёмки (Рис. 3-в).

Целевые трансформации геофизических полей осуществлялись по цифровым матричным геофизическим данным. В качестве геологической основы использовались материалы геологических съемок м-ба 1:50 000 и крупнее.

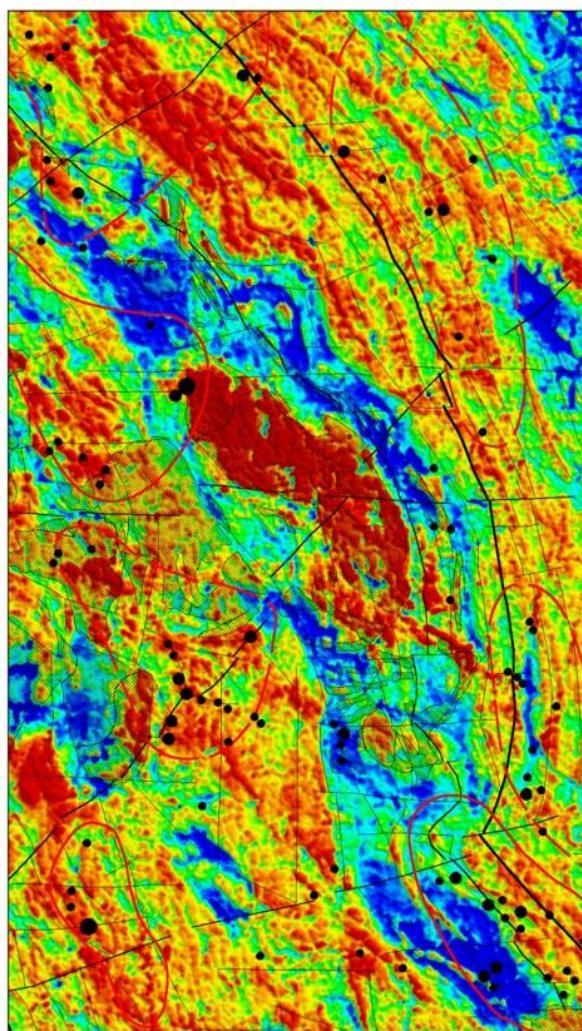
Базовым принципом прогнозно-поискового анализа было разделение общей задачи прогнозирования на ряд частных задач, таких как: установление физико-геологической делимости территории; трассирование тектонических элементов; выделение участков проявления рудоконтролирующих факторов; построение петрофизических разрезов.

Решение указанных задач осуществлялось путем преобразований исходных геофизических полей. На их основе формировались итоговые комплексные схемы суперпозиции различных компонент, характеризующие основные аспекты геологического строения территории, геофизические факторы и признаки рудоносности, в том числе: классификация исходных геофизических полей (Рис. 4-а); эпигенетическая радиогеохимическая зональность (Рис. 4-б); локальная составляющая магнитного поля (Рис. 4-в).

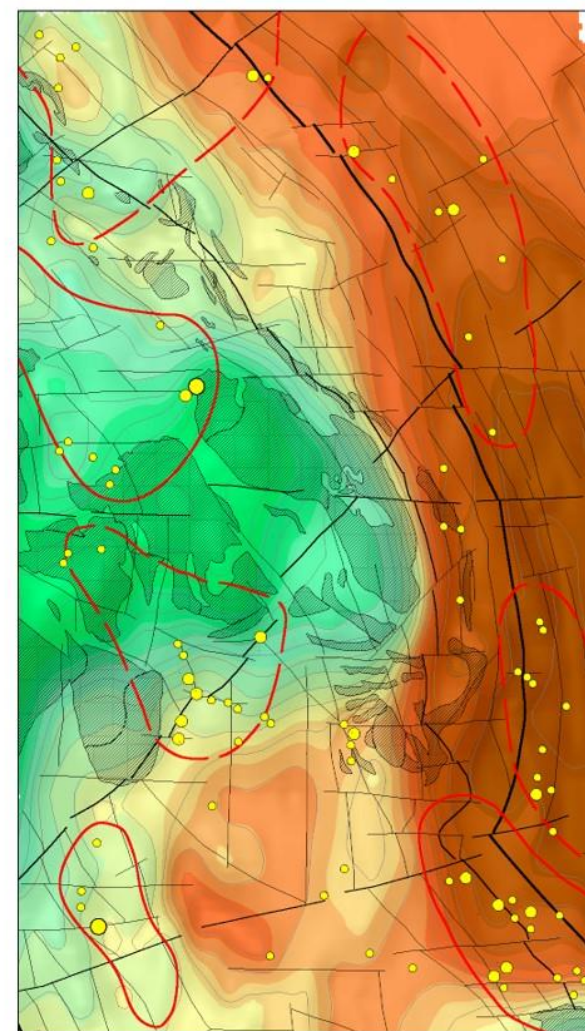




а)



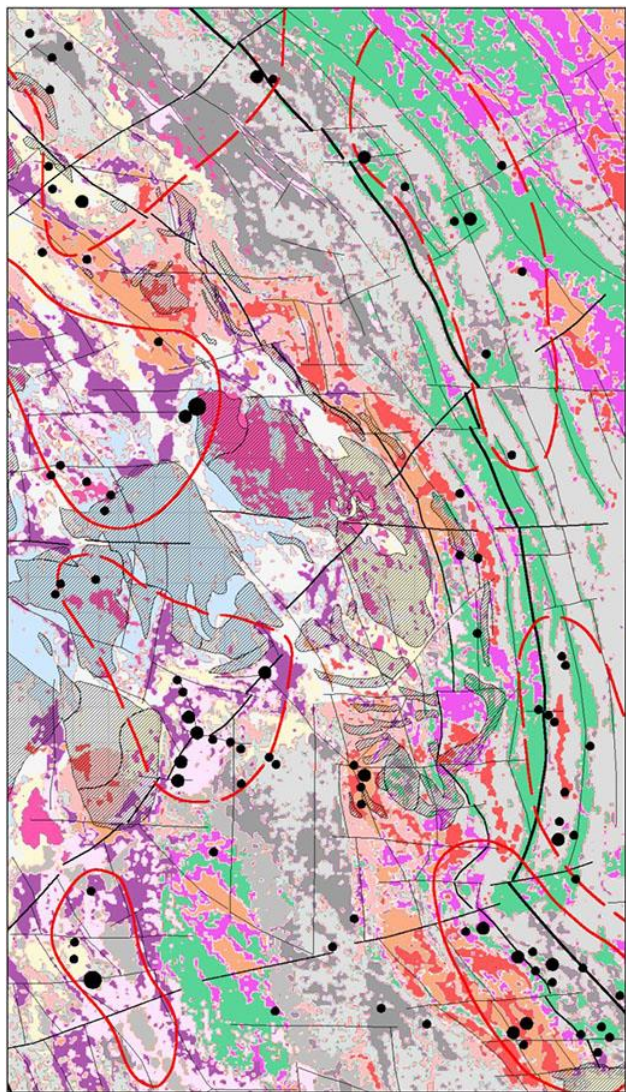
б)



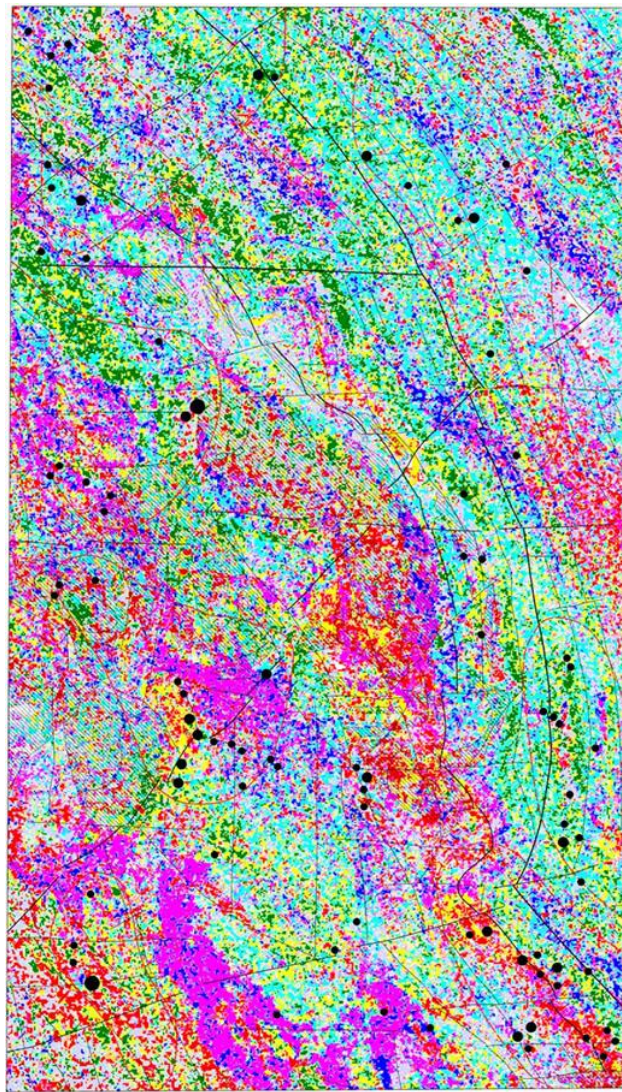
в)

Рис. 3. Геофизические поля Южной площади:  
 - по результатам крупномасштабной комплексной аэрогеофизической съемки: а) Аномальное магнитное поле; б) Мощность экспозиционной дозы;  
 - данные гравиметрической съёмки м-ба 1:200 000 в) Поле силы тяжести

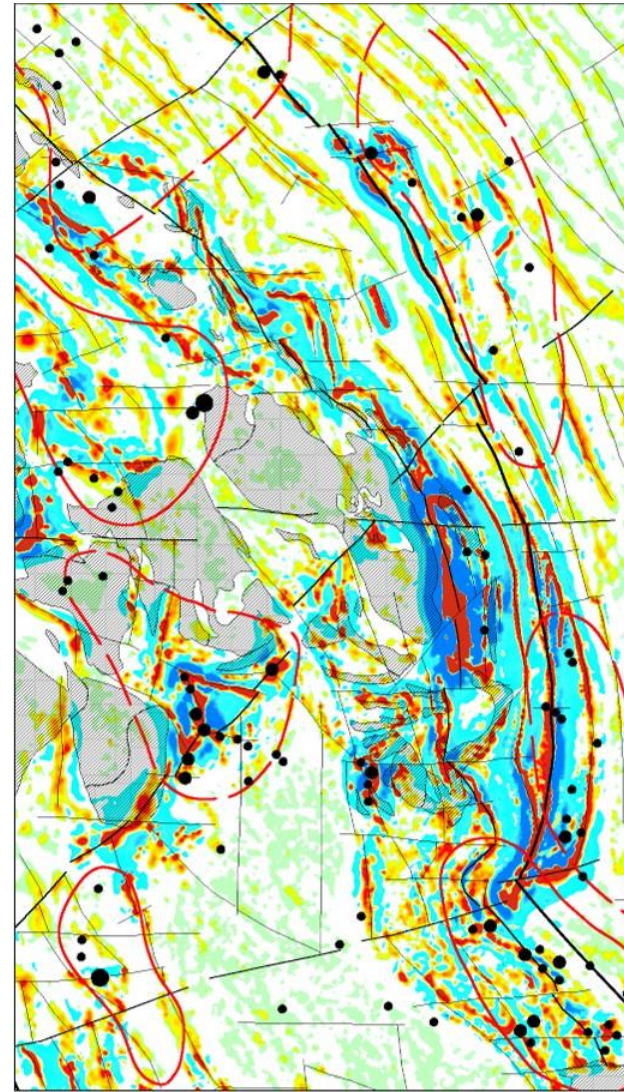




а)



б)



в)

Рис. 4. Итоговые комплексные карты: а) Классификации исходных геофизических полей; б) Эпигенетической радиогеохимической зональности; в) Локальной составляющей магнитного поля



Комплексная прогнозная интерпретация полученных геофизических данных проводилась с применением безэталонного и эталонного прогнозирования на основе геофизических поисковых критериев и признаков, присущих золоторудным объектам данной территории.

Для отображения геофизического облика искомых рудных объектов использовались карты комплексного прогнозного параметра (КПП), показывающие сумму степени аномальности разных полей (Рис. 5-а):

- для золото-сульфидных месторождений: положительные локальные аномалии магнитного поля, положительные надфоновые содержания урана и калия;

- для золото-сульфидно-кварцевых штокверковых месторождений суммировались: градиентные зоны локальной составляющей гравитационного поля, которые могут указывать на присутствие выступов кровли гранитоидных интрузивов, положительные аномалии остаточной составляющей магнитного поля, интенсивностью первые единицы нТл, а также надфоновые содержания калия;

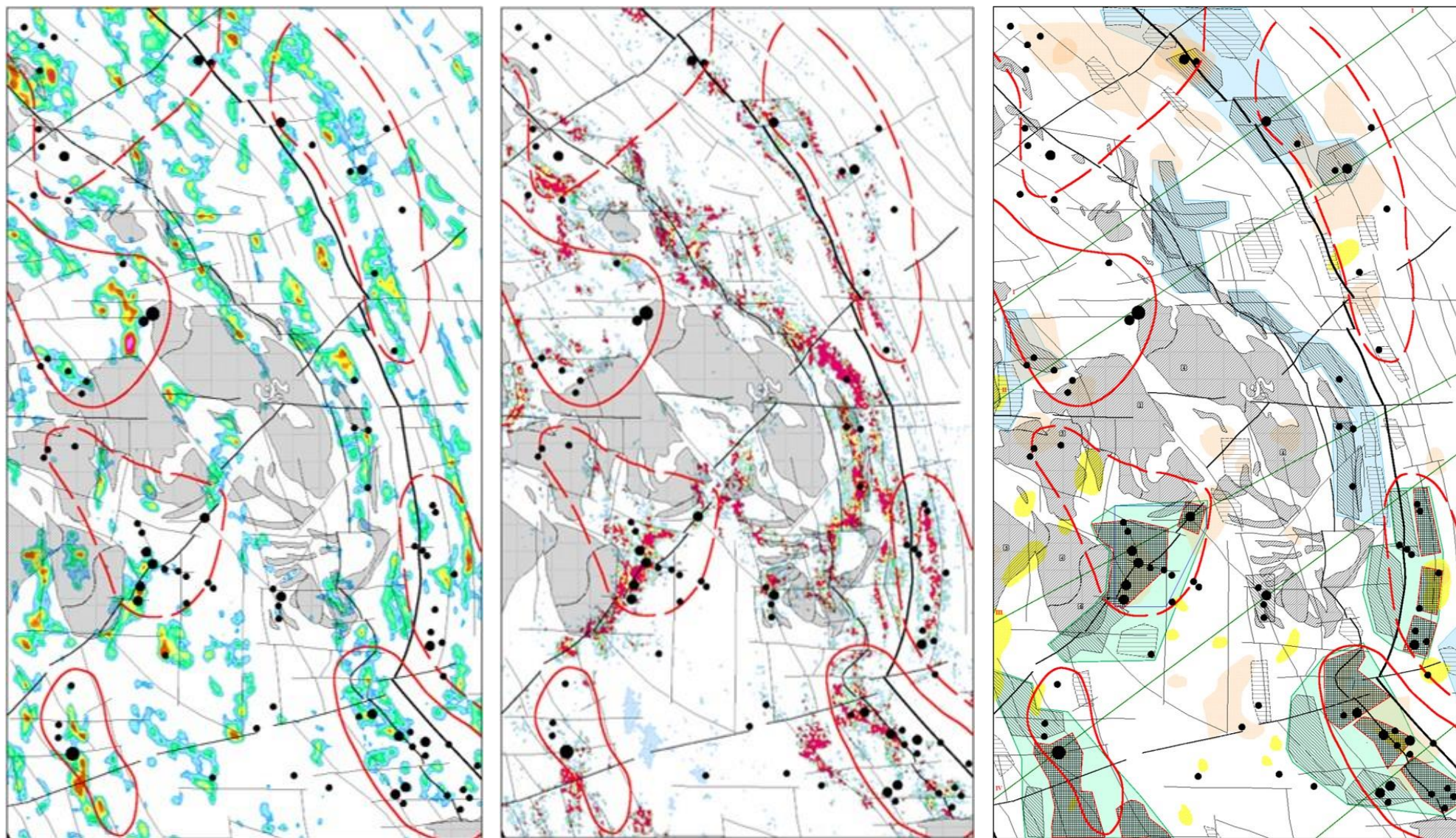
- для золото-кварцевых месторождений: положительные локальные аномалии магнитного поля интенсивностью до +50 нТл; повышенные надфоновые содержания калия, маркирующие области максимальной гидротермальной переработки, и локальные положительные аномалии поля силы тяжести, соответствующие блокам пород повышенной плотности.

С целью повышения достоверности прогнозных построений, выводов и целенаправленного поиска объектов, схожих с эталонными по физико-радиогеохимическим характеристикам, был применен метод «распознавания образов» (Рис. 5-б). В качестве эталонов выступали месторождения: Олимпиадинское, Ведугинское, Панимбинское, Благодатное.

На основе полученных прогнозных карт путем их сопоставления выделен ряд зон аномальных геофизических параметров различных размеров и конфигурации. Внутри каждой зоны экспертным путем обозначен ряд локальных прогнозных участков, ранжированных по степени перспективности на I и II очереди.

Компактно расположенные прогнозные участки объединены в ряд площадей и рекомендованы для дальнейшего изучения (Рис. 5-в).





а)

б)

в)

Рис. 5. Комплексная прогнозная интерпретация: а) Карта вероятности соответствия геофизических полей формализованным геофизическим признакам золотого оруденения; б) Карта вероятности соответствия геофизических полей эталонным месторождениям (золотосульфидная формация); в) Прогнозная схема перспективных участков на золотое оруденение.

### **Локальный этап. Выделение золоторудных полей на основе маршрутных аэрогеофизических материалов.**

На крупномасштабном этапе интерпретация материалов комплексной аэрогеофизической съемки проводится по матричным данным с ячейкой 100 метров при масштабе съёмки 1:25 000 метров (или 25 метров при масштабе съёмки 1:10 000). При таком шаге матрицы 2 точки из 5 являются чисто интерполированными. Таким образом, соотношение интерполированных точек с наблюдаемыми составляет 40х60 %, т.е. только 60% точек являются реально зафиксированными на линии маршрута.

При использовании маршрутных геофизических данных интерпретационный процесс осуществляется исключительно по одному или по множеству графиков исходных полей и их трансформант при расстоянии между точками наблюдения 4-8 метров. При этом важно заметить, что в анализ вовлекаются только фактически зарегистрированные данные, исключается возможность получения интерполированных данных, тем самым повышается достоверность конечных прогнозных выводов. И что самое главное, маршрутные данные отличаются локальностью и детальностью, имеется возможность анализировать точки геофизических полей, совмещенных во времени и пространстве, оценить характер взаимного поведения полей, в т.ч. имеющих различную физическую природу.

Работы осуществляются в следующей последовательности:

- создание сводной базы геофизических данных (при наличии сюда же входят и геохимические данные);
- трансформации исходных физико-радиогеохимических полей (локальные составляющие потенциальных полей, надфоновые содержания калия, тория, урана);
- формирование петрофизической модели объекта поисков;
- выделение интервалов маршрутов, удовлетворяющих поисковым критериям и признакам золотого оруденения (пространственное совпадение локальных магнитных аномалий (или их градиентов), локальных повышений концентраций калия и понижения тория, а также положительных гравитационных аномалий);
- разбраковка выявленных потенциально рудных интервалов на перспективные и бесперспективные;
- оценка перспектив обнаружения золоторудных объектов с использованием эталонов и метода «распознавание образов»;
- локализация участков, перспективных на обнаружение золоторудных полей.

В настоящей работе для классификации по эталонам использованы нейронные сети (программа SNN – Statistica Neural Networks).

В качестве эталонов выступали контуры конкретных золоторудных тел без деления по формационному типу (ввиду недостаточного размера получаемой эталонной выборки), а рабочая выборка включала в себя все маршрутные данные (около 5 миллионов точек). Набор входных переменных состоял из наиболее информативных параметров: остаточные составляющие гравитационного и магнитного полей и надфоновые содержания калия, урана и тория. Результат классификации площади методом «распознавания образов» представлен на прогнозной схеме (Рис. 6). Используемый метод оказал существенную помощь в корректировке контуров прогнозных участков и ранжировании их по степени перспективности.

Всего на исследуемой площади оконтурено 11 зон, включающих в себя большинство выделенных прогнозных участков ранга рудных полей. Выделенные зоны отличаются единством геолого-структурной обстановки, литолого-стратиграфического наполнения, характером проявленного магматизма. Они включают в себя большую часть уже известных золоторудных объектов, как месторождений, так и проявлений, пунктов минерализации, геохимических ореолов и потоков рассеяния, что подкрепляет достоверность их выделения (Рис. 7).



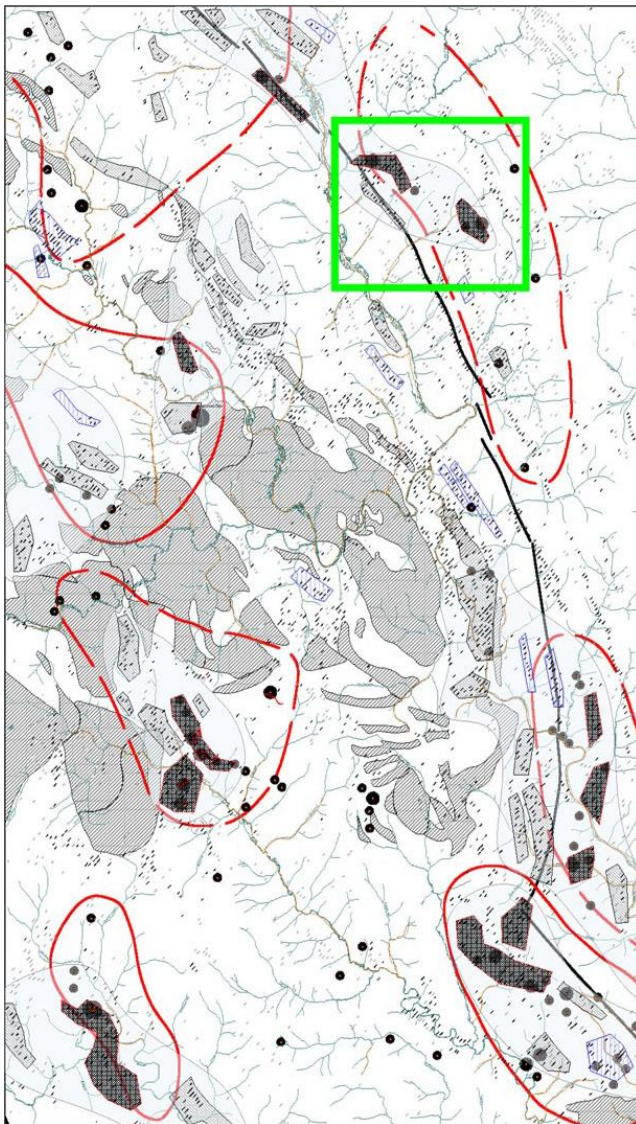


Рис. 6 Локальный прогноз по маршрутным данным

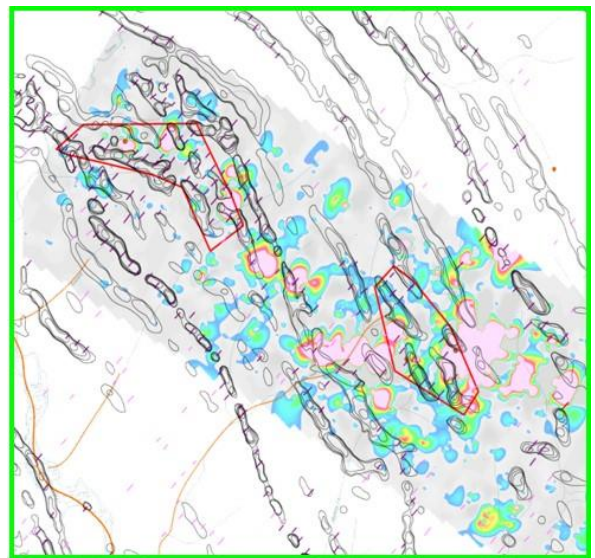


Рис. 7 Сопоставление прогнозных участков с данными геохимических работ.

Оценка достоверности выделения прогнозных участков проведена на одной из лицензионных площадей. В ходе выполнения комплекса поисковых работ (наземная геофизика, геохимия, буровые работы по редкой сети скважин) была изучена природа ряда аномалий геофизических полей и сопряженных с ними вторичных геохимических ореолов.

### Заключение.

В результате работ установлены рудовмещающие зоны, представляющие собой участки жильно-прожилкового окварцевания в интенсивно метасоматически измененных и складчато-дислоцированных породах, с различной степенью золотоносности. Сделан вывод о перспективности дальнейшего изучения выявленной золоторудной минерализации на одной из зон. Отмечено, что по материалам комплексной аэрогеофизической съёмки возможно с высокой степенью достоверности локализовать положение рудоконтролирующих структур, что обычно используется для выделения объектов для постановки поисковых геолого-геофизических работ.

В результате проведенных исследований показана высокая эффективность разработанной поэтапной технологии прогнозирования золоторудных объектов с привлечением средне- и крупномасштабных магнитных, радиогеохимических и гравиметрических данных и последующим выделением перспективных участков ранга рудных полей.

Технология позволяет с относительно небольшими затратами ощутимо повысить эффективность прогнозно-поисковых работ во многих как уже известных, так и в новых горно-промышленных районах. Особо актуально применение такой технологии на слабо- и неравномерно изученных территориях, нередко значительно удаленных от пунктов со сколько-нибудь развитой производственной инфраструктурой.