

УДК 528.87+550. 837.3

**С.П. Левашов^{1,2}, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин³,
В.В. Прилуков², М.А. Петрановская¹**

*¹Институт прикладных проблем экологии, геофизики
и геохимии, г. Киев, Украина*

*²Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле
ИГН НАН Украины, г. Киев, Украина*

*³Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
г. Киев, Украина*

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ЧАСТОТНО–РЕЗОНАНСНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА РУДНЫХ ОБЪЕКТАХ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ МИРА

Анализируются результаты экспериментальной апробации мобильной и оперативной технологии частотно-резонансной обработки и интерпретации (дешифрирования) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с целью “прямых” поисков полезных ископаемых различного вида на рудных месторождениях и перспективных площадях. Показано, что для обнаружения и картирования мелких объектов (рудных жил) необходимо проводить обработку данных ДЗЗ в крупном масштабе – 1 : 2000 и крупнее. Включение этой технологии в традиционный комплекс поисковых геолого-геофизических методов будет способствовать как минимизации финансовых затрат на решение конкретных поисково-разведочных задач, так и существенному сокращению времени на их практическую реализацию.

Ключевые слова: частотно-резонансная обработка, месторождение, спутниковые данные, медь, золото, молибден, прямые поиски.

Введение. В настоящее время активно проводятся исследования с целью применения в геолого-разведочных работах на рудные и горючие полезные ископаемые мобильных геофизических технологий, в том числе методов, основанных на обработке и интерпретации (дешифрировании) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Уже разработаны и целенаправленно совершенствуются технологии обработки и интерпретации данных ДЗЗ в рамках “вещественной” парадигмы геолого-геофизических исследований, сущность которой состоит в “прямых” поисках конкретного вещества: нефти, газа, золота, серебра, платины, цинка, железа, воды и др. [8]. К такого рода технологиям можно отнести

технологии “Инфоскан”, “Томко” [10], “Поиск” [1] и др. Эффективность геофизических методов, базирующихся на принципах этой парадигмы, выше традиционных.

В рамках “вещественной” парадигмы “работают” также мобильные геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП), вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП – ВЭРЗ) [2–4, 8] и частотно-резонансный метод обработки и дешифрирования данных ДЗЗ [5, 6, 8]. Эти методы уже на протяжении многих лет успешно применяются для оперативного решения широкого класса геолого-геофизических задач, в том числе поисков рудных и горючих полезных ископаемых.

В используемом авторами методе обработки данных ДЗЗ выделение полезного сигнала из спутниковых снимков осуществляется частотно-резонансным способом. Для различных полезных ископаемых (нефть, газ, уран, золото, вода, цинк и др.) на их образцах определены характерные для них резонансные частоты, которые используются при обработке и дешифрировании данных ДЗЗ.

Технология обработки данных ДЗЗ прошла апробацию на известных месторождениях и перспективных на рудные минералы площадях в различных регионах мира. Некоторые примеры практического использования метода приведены в работах [3, 5–9]. Отметим также, что методические вопросы его применения при решении конкретных практических задач также отрабатывались экспериментально. Ниже анализируются результаты апробации метода на рудных объектах в Австралии, Судане и Южной Америке. В проведенных исследованиях сделан акцент на изучение зависимости информативности результатов обработки от масштаба используемых для этих целей спутниковых снимков.

Об аномалиях типа “залежь”. Так сложились обстоятельства, что с самого начала работ (исследований) с применением мобильных методов “прямых” поисков скоплений углеводородов (УВ) (и других полезных ископаемых) авторы использовали термин (выражение) “аномалия типа залежь” (АТЗ) для обозначения картируемых этими методами аномалий (перспективных объектов). Напомним, что данный термин был введен в геофизическую терминологию исследователями на начальном этапе становления так называемых прямых методов поисков и разведки скоплений УВ.

Иной подход пропагандируют авторы технологии “Томко” [10]. Они считают, что их метод квантово-оптической фильтрации данных ДЗЗ позволяет напрямую (в самом настоящем смысле этого термина) обнаруживать и картировать участки скопления УВ. Поэтому картируемые с помощью технологии “Томко” аномалии указанные авторы называют “прогнозируемыми залежами (скоплениями) УВ”. В принципе, такой подход вполне логичен и закономерен.

Поскольку частотно-резонансным методом обработки данных ДЗЗ также регистрируются аномальные эффекты на резонансных частотах “большого количества” конкретного вещества (нефти, газа, золота, урана, меди и др.), то есть также смысл считать (называть) картируемые этим методом аномалии проекциями на дневную поверхность “прогнозируемых месторождений (скоплений) УВ (нефти, газа, конденсата)” или “прогнозируемых зон оруденения (золота, меди, урана, цинка и т.д.)”.

Месторождение Olympic Dam (Австралия). Геолого-геофизические материалы по месторождению, необходимые для обработки, заимствованы из различных сайтов Интернета. Особенности геологического строения района расположения месторождения подробно анализируются в статье [11]. Обработан фрагмент данных ДЗЗ участка расположения шахтного поля месторождения в масштабе 1 : 20 000. При этом выделялись и картировались только аномальные зоны типа “зона золоторудного оруденения”. Результаты обработки показаны на рис. 1, они также нанесены на спутниковый снимок местности. В пределах обследованного участка выделено три аномальные зоны типа “зона золоторудного оруденения” различных размеров и интенсивности. Самая крупная аномальная зона достаточно хорошо описывает контур шахтного поля.

Дополнительно здесь можно: а) провести аналогичную обработку данных ДЗЗ для всей лицензионной площади; б) выделить аномальные зоны типа “медь”, “уран”, “серебро”; в) оценить специальным методом сканирования (зондирования) данных ДЗЗ в отдельных точках глубины залегания и мощности отдельных рудных тел.

Рудное месторождение в Австралии. Рудные тела, содержащие золото, медь, серебро, расположены на исследованной площади в границах. Они перекрыты осадочными отложениями, в которых обнаружены грунтовые воды с высокой минерализацией. Месторождение полностью исследовано методом бурения, но на сегодня добыча еще не начата.

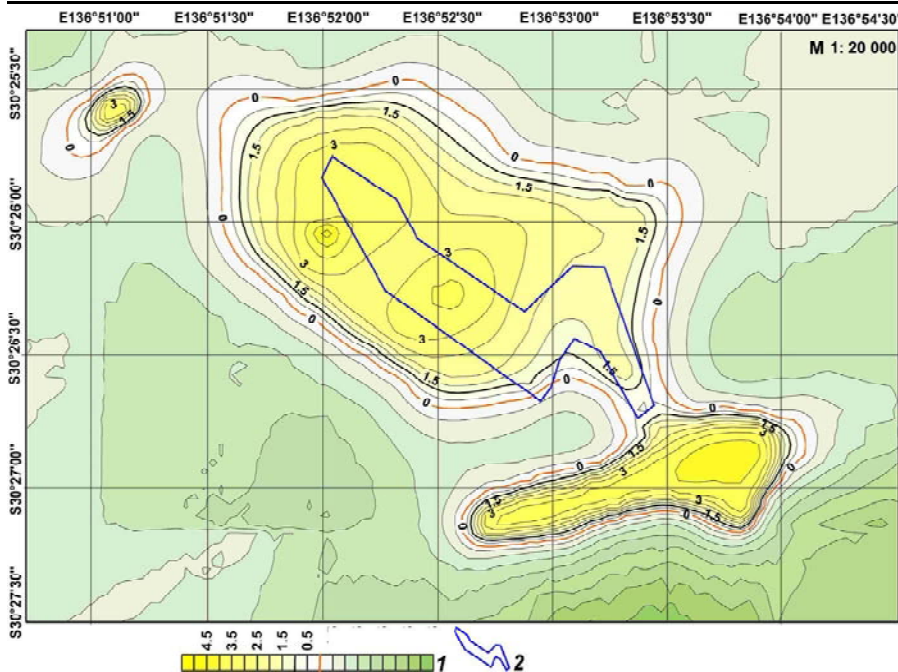


Рис. 1. Карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” в пределах фрагмента рудного поля месторождения Olympic Dam (Австралия), по результатам частотно-резонансной обработки и интерпретации данных ДЗЗ: 1 – шкала интенсивности аномального отклика в условных единицах содержания золота; 2 – контуры шахтного поля

Для проведения работ исполнителям были предоставлены координаты точки, попадающей в контуры рудного тела (рис. 2).

На первом этапе исследований выполнена обработка данных ДЗЗ в масштабе 1 : 20 000. По результатам обработки на резонансной частоте золота построена карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” (в изолиниях интенсивности аномального отклика), а на резонансной частоте меди – контуры аномальных зон типа “зона меднорудного оруденения” (рис. 2).

На втором этапе обработки использовалась дополнительная информация – координаты некоторых скважин с содержанием золота в отдельных пробах разреза. При этом проведена обработка данных ДЗЗ в более крупном масштабе – 1 : 15 000. В процессе обработки предпринималась также попытка привязать значения содержания золота к интен-

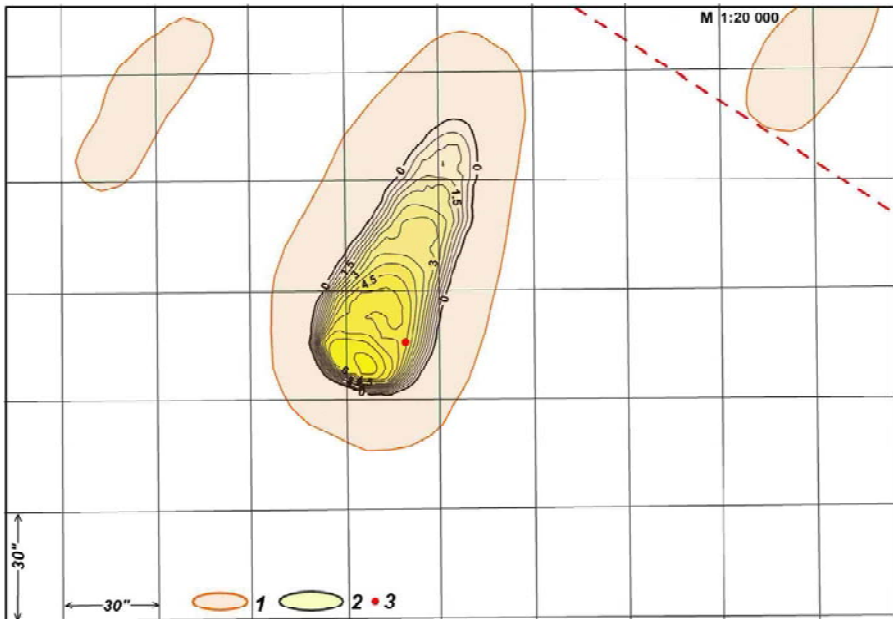


Рис. 2. Карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” и “зона меднорудного оруденения” в районе рудного (Au, Cu, Ag) месторождения Агеа-1 (Австралия), по результатам частотно-резонансной обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли: 1 – зона регистрации аномального отклика на резонансной частоте меди; 2 – зона регистрации аномального отклика на резонансной частоте золота; 3 – положение исходной точки

сивности аномального отклика, что, в принципе, не совсем корректно. Интенсивность аномалии – это эффект всего рудосодержащего объекта, а отдельные скважины дают значения для определенного интервала разреза. Такой подход можно использовать для рудных месторождений россыпного типа, но с большей натяжкой – для жильных и гидротермальных.

Согласно результатам обработки данных ДЗЗ на втором этапе (рис. 3) аномальная зона стала более дифференцированной. В пределах обследованного участка также обнаружена небольшая аномальная зона в южной его части.

Полученные результаты сопоставлены с материалами бурения, а также геофизических методов, применявшихся ранее на поисковой площади. Проведенный анализ показал, что по этим материалам рудная зона

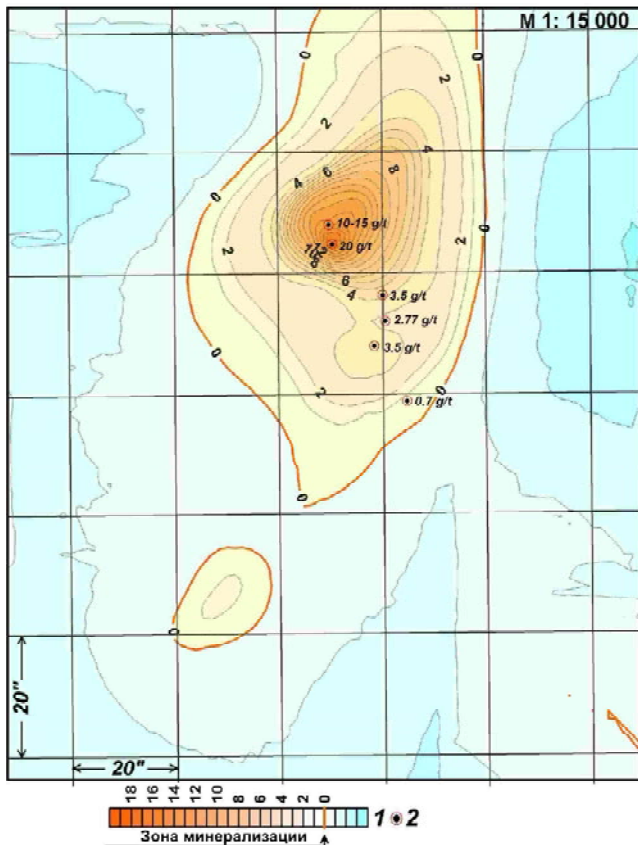


Рис. 3. Карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” в районе рудного (Au, Cu, Ag) месторождения Area-1-det (Австралия), по результатам частотно-резонансной обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли): 1 – шкала интенсивности аномального отклика в приведенных значениях содержания Au (г/т) по заданным точкам; 2 – точки задания значений содержания золота

не фиксируется. Электрические и электромагнитные методы (ЕМ, IP, SAM) и детальная гравиметрическая съемка не позволили обнаружить месторождение непосредственно, хотя с их помощью и определено местонахождение структур, связанных с зонами минерализации.

При этом установлено, что в аномальную зону, выделенную частотно-резонансным методом обработки данных ДЗЗ с заданной точки (см. рис. 2, 3), попали известные месторождения Юникс и Феникс. Про-

стирание аномалии совпадает с простираем структур, выявленных в поле ТМІ (Total Magnetic Intensity) и съемкой SAM (Sub-Audio Magnetics). В закартированную аномальную зону не попадает объект Южный, хотя рядом с ним обнаружена небольшая и не проверенная бурением аномалия (южная на рис. 3).

Поисковый участок в Судане. Перед исполнителями была поставлена задача обнаружения возможных скоплений золота в одном из золоторудных районов Судана. Исходной информацией для исследований были координаты одной точки в пределах поискового участка. Другая информация не использовалась.

На первом этапе исследований для обработки был подготовлен спутниковый снимок фрагмента участка в районе заданной точки обследования, который в масштабе 1 : 1000 поместился на лист формата А3 (рис. 4). На площади обследования зафиксировано несколько небольших аномальных зон с относительно небольшими значениями интенсивности аномального отклика.

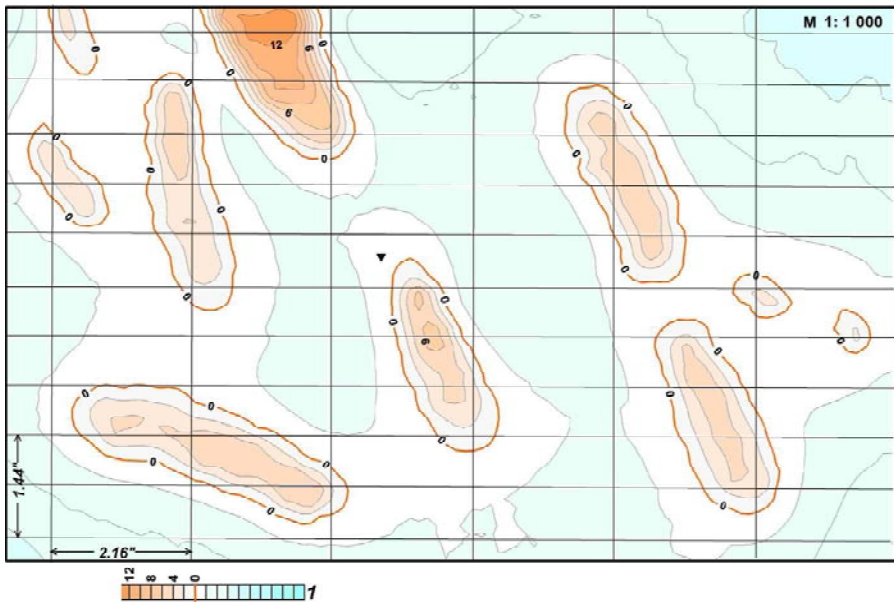


Рис. 4. Карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” на фрагменте поисковой площади в Судане (масштаб обработки данных ДЗЗ – 1 : 1000): 1 – шкала интенсивности аномального отклика. Положение начальной точки показано треугольником

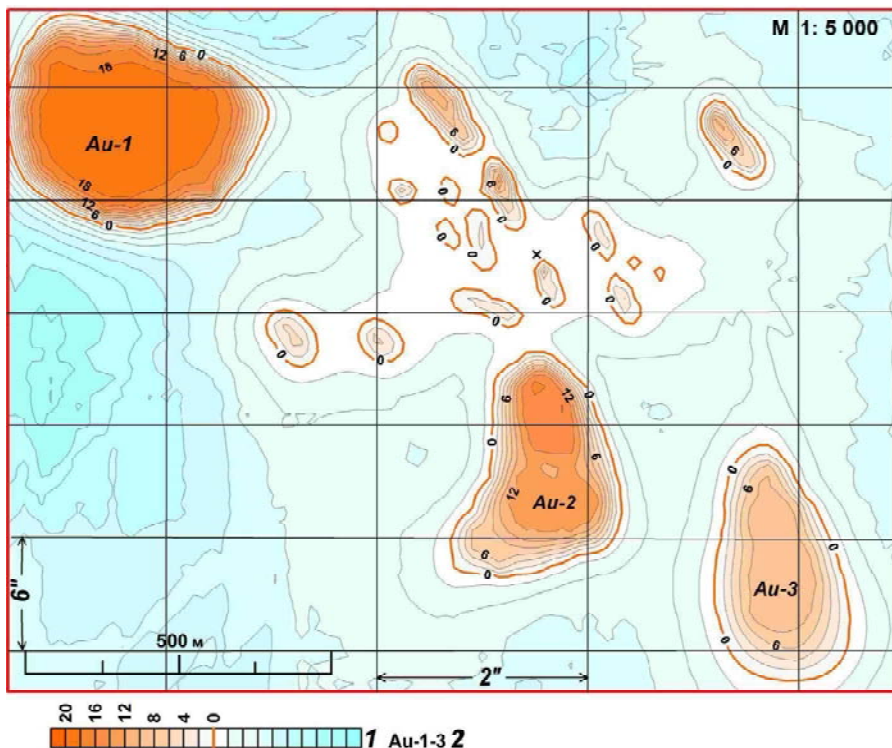


Рис. 5. Карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” на фрагменте поисковой площади в Судане (масштаб обработки данных ДЗЗ – 1 : 5000): 1 – шкала интенсивности аномального отклика; 2 – аномальные зоны, наиболее перспективные для поисков золоторудного оруденения. Положение начальной точки показано крестиком

На втором этапе площадь обследования была увеличена – для обработки был подготовлен снимок участка, который поместился на лист формата А3 в масштабе 1 : 5000 (рис. 5). На этом фрагменте обследованной территории обнаружены и закартированы аномальные зоны более крупного размера и более высокой интенсивности аномального отклика.

В целом, по результатам выполненной обработки на втором этапе можно сделать вывод, что для дальнейшего детального изучения с целью поисков золоторудного оруденения перспективны обнаруженные и закартированные аномальные зоны Au-1, Au-2 и Au-3 (рис. 5).

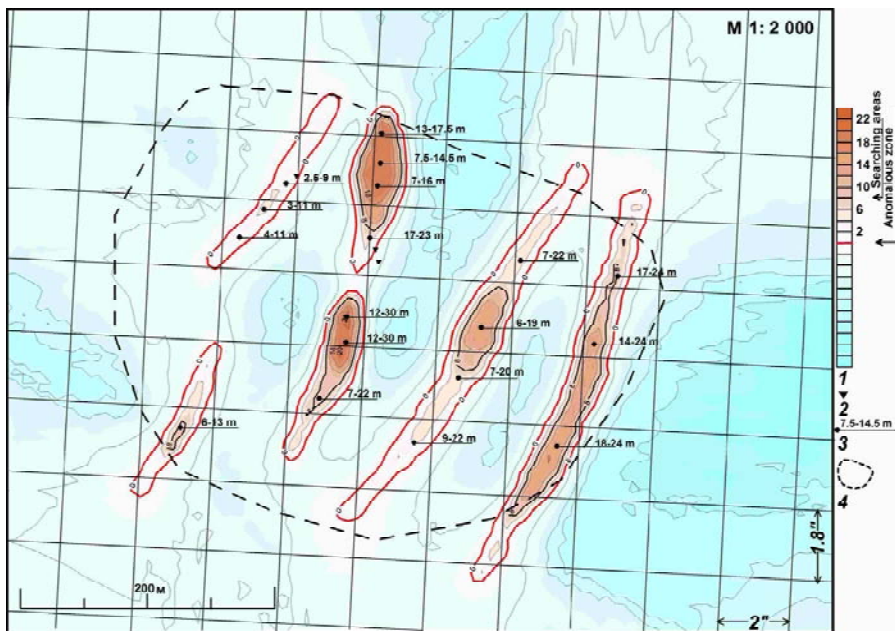


Рис. 6. Карта аномальных зон типа “зона золоторудного оруденения” фрагмента поисковой площади в районе аномальной зоны Au-1 на рис. 5 в Судане (масштаб обработки данных ДЗЗ – 1 : 2000); 1 – шкала интенсивности аномального отклика; 2 – каналы (шурфы); 3 – глубины залегания перспективных горизонтов (жил); 4 – контур аномальной зоны Au-1 на рис. 5

На последнем этапе спутниковый снимок участка обнаруженной аномальной зоны Au-1 (рис. 5) был детально обработан в более крупном масштабе – 1 : 2000 (рис. 6). В пределах одной аномальной зоны закартировано несколько линейных аномальных зон, которые могут быть связаны с рудными жилами. В линейных аномалиях вертикальным сканированием спутниковых данных оценены глубины залегания (и мощности) перспективных на золоторудное оруденение тел (жил).

Отметим следующее. На рис. 6 показано положение трех шурфов в районе нулевой изолинии интенсивности аномального отклика. Естественно, промышленных содержаний золота в пробах из этих шурфов не обнаружено.

Полученные результаты наглядно и убедительно показывают, что для выбора мест заложения скважин и шурфов данные ДЗЗ необходимо

обработывать в детализационном режиме и достаточно крупном масштабе: 1 : 1 000 – 1 : 2 000!

Поисковый участок в Южной Америке. На начальном этапе исследований обработан фрагмент данных ДЗЗ района расположения поискового участка площадью 75 км² в масштабе 1 : 30 000. В процессе дешифрирования выделялись и картировались только аномальные зоны типа “зона медного оруденения” и “зона молибденового оруденения”.

На обследованном участке обнаружено восемь аномальных зон типа “зона медного + молибденового оруденения” различных размеров и интенсивности и три аномалии типа “зона медного оруденения”. В пределах двух последних (Cu-2, Cu-3) дополнительно выделены небольшие аномалии типа “зона молибденового оруденения”.

После анализа результатов обработки данных ДЗЗ выяснилось, что в районе известного рудного месторождения аномальная зона типа “зона медного + молибденового оруденения” не была закартирована. В связи с этим данные ДЗЗ южного фрагмента поисковой площади были повторно обработаны в более крупном масштабе – 1 : 19 000. Дополнительно был уменьшен шаг обработки данных ДЗЗ.

В результате на южном фрагменте поискового участка дополнительно обнаружены и закартированы четыре аномальные зоны типа “зона медного + молибденового оруденения”: Cu + Mo-9, Cu + Mo-10, Cu + Mo-11, Cu + Mo-12. Одна из аномальных зон совпала с известным месторождением.

Выводы. Апробация технологии частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ на известных рудных месторождениях (в том числе Olympic Dam) демонстрирует ее работоспособность и эффективность.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют констатировать, что картируемые частотно-резонансным методом обработки данных ДЗЗ аномалии в мелком масштабе (см. рис. 1–3, например), в принципе, фиксируют весь объем искомого вещества (золота и меди, см рис. 2) в пределах обследованной структуры. Судить о глубине расположения нижней кромки этой структуры сложно. На фоне интегрального аномального эффекта от структуры (рис. 2, 3) как бы сглаживаются (“затушевываются”) локальные аномальные эффекты от целевых объектов на небольшой глубине – рудных жил.

С учетом указанного объект Южный и аномальную зону восточнее от него (выделена по результатам обработки данных участка на рис. 3 в

масштабе 1 : 15 000) можно считать единой структурной единицей – аномальная зона здесь обусловлена всей глубинной структурой, а объект Южный – рудной жилой, сформированной глубинной структурой.

Сопоставление рис. 4–6 показывает, что при увеличении масштаба обработки данных ДЗЗ обнаруживаются более мелкие объекты. Можно сделать вывод: детализацию обнаруженных аномальных зон необходимо проводить в масштабах не меньше 1 : 5000, а еще лучше – 1 : 2000 – 1 : 1000.

Результаты обработки данных ДЗЗ в районе проведения археологических раскопок в Тунисе показали, что в данном случае могут быть обнаружены и закартированы локальные объекты небольших размеров.

Опыт экспериментального применения в последние годы мобильной экспресс-технологии геоэлектрических исследований СКИП–ВЭРЗ [3, 6–8] демонстрирует принципиальную возможность и подтверждает целесообразность ее применения для оперативных поисков и картирования рудных объектов различной минерализации. Применение рассматриваемых методов для решения широкого класса задач рудной геофизики будет способствовать ускорению процессов поиска и разведки месторождений рудных полезных ископаемых различного вида.

Практическая апробация частотно-резонансного метода обработки и дешифрирования спутниковых данных на многочисленных рудных объектах свидетельствует и о возможности оперативного обнаружения и картирования с его помощью АГЗ “водоносный горизонт (коллектор)”, “золоторудная залежь”, “меднорудная залежь”, “залежь с урановой минерализацией” и др. Специальная методика вертикального сканирования данных ДЗЗ позволяет также оценивать глубины залегания и мощности отдельных аномально поляризованных пластов (АПП) типа “водоносный пласт”, “пласт с золоторудной минерализацией”, “пласт с меднорудной минерализацией”, “пласт с урановой минерализацией” и др.

Полученные результаты указывают на практическую целесообразность использования частотно-резонансного метода обработки данных ДЗЗ в комплексе с наземными мобильными геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ. Совместное использование “спутниковой” компоненты технологии на рекогносцировочных этапах работ и наземной геоэлектрической – на детализационных этапах предоставляет широкие возможности для оптимизации поискового процесса в рамках мобильной технологии непосредственно.

В целом, результаты выполненных экспериментальных исследований позволяют авторам в очередной раз констатировать, что включение оперативных и мобильных технологий “прямых” поисков и разведки скопленных УВ, водоносных горизонтов и рудных полезных ископаемых (в том числе экспресс-технологии СКИП–ВЭРЗ и метода специальной обработки спутниковых данных) в традиционный комплекс поисковых геолого-геофизических методов будет способствовать как минимизации финансовых затрат на решение конкретных поисково-разведочных задач, так и существенно сокращению времени на их практическую реализацию.

1. *Ковалев Н.И.* Опыт практического использования аппаратуры комплекса “Поиск” для обнаружения и оконтуривания углеводородных месторождений / Н.И. Ковалев, В.А. Гох, П.Н. Иващенко, С.В. Солдатова // *Геоинформатика*. – 2010. – № 4. – С. 46–51.
2. *Левашов С.П.* Электрорезонансное зондирование и его использование для решения задач экологии и инженерной геологии / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // *Геол. журн.* – 2003. – № 4. – С. 24–28.
3. *Левашов С.П.* Возможности геоэлектрических методов при поисках и разведке объектов с рудной минерализацией / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный // *Наук. вісн. НГУ.* – 2005. – № 9. – С. 69–72.
4. *Левашов С.П.* Обнаружение и картирование геоэлектрическими методами зон повышенного газонасыщения на угольных шахтах / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Р.В. Дегтярь, Д.Н. Божежа // *Геофизика*. – 2006. – № 2. – С. 58–63.
5. *Левашов С.П.* Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // *Геоинформатика*. – 2010. – № 3. – С. 22–43.
6. *Левашов С.П.* Оперативное решение задач оценки перспектив рудоносности лицензионных участков и территорий в районах действующих промыслов и рудных месторождений / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Д.Н. Божежа // *Геоинформатика*. – 2010. – № 4. – С. 23–30.
7. *Левашов С.П.* Применение геоэлектрических и дистанционных методов для поисков рудных полезных ископаемых / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // *Геодинамика*. – 2011. – № 2(11). – С. 164–166.
8. *Левашов С.П.* Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // *Геофиз. журн.* – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 167–176.
9. *Левашов С.П.* Новые результаты геофизических исследований в районе крупного месторождения цинковых руд “Шаймерден” (Республика Казахстан) / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, В.И. Якубовский // *Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Сер. Геологія*. – 2012. – № 57. – С. 21–27.
10. *Ростовцев В.В.* К большой нефти России / В.В. Ростовцев, В.В. Лайнвебер, В.Н. Ростовцев // *Геоматика*. – 2011. – № 1. – С. 60–62.
11. *Шумилин М.В.* О генезисе медно-золото-уранового месторождения Олимпик-Дэм / М.В. Шумилин // *Недропользование XXI век*. – 2013. – № 2. – С. 26–35.

Апробація методу частотно-резонансної обробки даних дистанційного зондування Землі на рудних об’єктах в різних регіонах світу С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін, В.В. Прилуков, М.А. Петрановська

Проаналізовано результати експериментальної апробації мобільної та оперативної технології частотно-резонансної обробки та інтерпретації (дешифрування) даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з метою “прямих” пошуків корисних копалин різного виду на рудних родовищах і перспективних площах. Показано, що для виявлення та картування дрібних об’єктів (рудних жил) необхідно проводити обробку даних ДЗЗ у більшому масштабі – 1 : 2000 і більше. Включення цієї технології в традиційний комплекс пошукових геолого-геофізичних методів сприятиме як мінімізації фінансових витрат на вирішення конкретних пошуково-розвідувальних завдань, так й істотному скороченню часу на їх практичну реалізацію.

Ключові слова: частотно-резонансна обробка, родовище, супутникові дані, мідь, золото, молібден, прямі пошуки.

Approbation of frequency-resonance method of remote sensing data processing on ore objects in different regions of the world S.P. Levashov, N.A. Yakymchuk, I.N. Korchagin, V.V. Prylukov, M.A. Petranovskaya

The results of experimental testing of mobile and operative technology of the remote sensing (RS) data frequency-resonance processing and interpretation (decoding) for “direct” searches of the various types minerals on the ore deposits and prospective areas are analyzed. It is shown that for the small objects (lodes) detection and mapping the remote sensing data processing should be carried in a large scale – 1:2000 and larger. This technology inclusion in the traditional complex of exploratory geological and geophysical methods will contribute both to minimize the financial cost for the particular exploration problem solving and to reduce significantly the time to implement them.

Keywords: frequency-resonance processing, deposit, satellite data, copper, gold, molybdenum, direct prospecting.