

10. Могилевский В.Е. Контарович Р.С. Аэрогравиметрия — новый метод изучения труднодоступных территорий, перспективных на углеводородное сырье // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2004. — № 2. — С. 40–43.

11. Morse J.G., Zinke R. The origin of radiometric anomalies in petroleum basins—a proposed mechanism // Oil & Gas Journal. — 1995. — Vol. 93. — Issue 23.

12. Spector A., Grant F.S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data // Geophysics. — 1970. — Vol. 35. — No. 2. — P. 293–302.

© Бабаянц П.С., 2015

Бабаянц Павел Суменович // bab@aerogeo.ru

УДК 551.243.550.8.05.551.243

Калмыков Б.А., Трусов А.А. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)

ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ СТРУКТУР ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

*Выполнена оценка возможностей и разрешающей способности аэроэлектроразведки для геологического картирования. Приведены примеры отражения в аэроэлектроразведочных данных основных типов рудоконтролирующих структур: дизъюнктивных, блоковых и пликтивных, на которых показана эффективность частотной аэроэлектроразведки для решения задач структурного картирования. Высказаны предложения о целесообразности постановки электроразведки, основанной на нестационарных полях, для локализации перспективных участков в пределах выделенных рудоконтролирующих зон. **Ключевые слова:** аэроэлектроразведка, картирование, рудоконтролирующие структуры, поиски рудных залежей.*

Kalmykov B.A., Trusov A.A. (Aerogeophysics)

THE POSSIBILITIES TO DISCOVER ORE CONTROLLING STRUCTURES WITH THE HELP OF AIRBORNE ELECTROMAGNETIC SURVEY DATA

*The abilities and resolution power of electromagnetic survey for the purposes of geological mapping were estimated. The examples of main types of ore controlling structures found in electromagnetic survey data were given: disjunctive, block, fold. These examples show the efficiency of frequency electromagnetic survey to solve the problems of structural mapping. There were some suggestions to use electromagnetic survey, which is based on variable fields, to locate prospective areas within the identified ore controlling areas. **Key words:** electromagnetic survey data, mapping, ore controlling structures, search for ore deposits.*

В последние годы аэроэлектроразведка занимает традиционное место в поисковом комплексе опережающих аэрогеофизических работ на золото, уран, полиметаллы и другие рудные полезные ископаемые. Прежде всего, данный метод направлен на изучение структурных элементов строения поисковых площадей и выявление структурных предпосылок локализации оруденения. Это рудоконтролирующие структуры разного типа, влияющие на размещение рудных залежей, а также элементы их внутреннего строения, имеющие рудолокализирующий характер.

Методы аэроэлектроразведки с контролируемым источником относятся к индуктивным методам электроразведки, в которых возбуждение и прием поля производится с помощью незаземленных контуров. Возбуждающее поле в генераторной метле может изменяться во времени либо по гармоническому закону (сумма синусоид с фиксированными частотами), либо представлять собой чередование импульсов определенной формы. В первом случае говорят о низкочастотных методах электроразведки, во втором — о методе переходных процессов (МПП).

Аэроэлектроразведочная система, реализующая низкочастотный метод электроразведки (или, по-другому, метод дипольного индуктивного профилирования — ДИП), обладает рядом особенностей, определяющих высокую эффективность данной модификации для решения задач геологического картирования в рудных провинциях. Во-первых, это сравнительно широкий частотный диапазон: от 130 Гц до 8 кГц. Во-вторых, высокая чувствительность приемников и низкий уровень внутренних шумов, что дает способность дифференцировать высокоомные геологические образования с сопротивлениями в несколько тысяч Ом. В-третьих, возможность обработки синфазной компоненты вторичного магнитного поля позволяет выявлять высокопроводящие объекты. В-четвертых, высокая производительность и экономическая эффективность съемки [10].

Размеры зоны возбуждения, т.е. области, в которой распространяются вихревые токи, вносящие наибольший (до 90%) вклад во вторичное поле, зависят, главным образом, от высоты генераторной петли над поверхностью земли. При ее положении на уровне 120 м (закреплена на летательном аппарате) и при средних уровнях электропроводности разреза ее диаметр на местности может составлять около 300 м. Глубинность метода зависит как от ландшафтных условий проведения работ, так и от электрических свойств геологического разреза. Наибольшей глубиной проникновения характеризуется электромагнитное поле на самой низкой частоте (130 Гц). Мощность исследуемого разреза с преобладанием высокоомных неизменных магматических и метаморфических пород может достигать 200 м. На участках развития образований повышенной электропроводности глубинность метода уменьшается до первых десятков метров. Характерно, что пластообразные тела высокоомных пород, присутствующие в верхней части разреза, не образуют существенных помех для отражения и картирования погребенных проводящих образований.

Площадные аэроэлектроразведочные работы характеризуются системностью наблюдений. В процессе съемки производится 7 измерений в секунду, что обеспечивает шаг точек наблюдений 6–8 м. Разрешающая способность метода зависит от масштаба съемки, определяющего параметры системы наблюдений, но имеет определенные пределы. Как правило, отдельные рудные залежи в силу своей малой мощности не фиксируются даже при проведении детальных работ масштаба 1: 10 000. В то же время структуры, контролирующее положение систем рудных залежей и осложняющие их

морфологию, при благоприятных ландшафтно-геологических условиях находят отражение в локальных элементах карт эффективных сопротивлений и их трансформантах. В связи с этим аэроэлектроразведка направлена на выявление крупных структур, контролирующих размещение рудных залежей как эндогенного, так и экзогенного типов.

Электропроводность горных пород определяется главным образом обводненностью и в меньшей мере минеральным составом [2, 3]. Степень обводненности определяется количеством свободной и рыхлосвязанной воды, электропроводность которой находится в прямой зависимости от растворенных в ней солей [2]. Влагонасыщенность породы определяется ее пористостью, трещиноватостью и степенью тектонической нарушенности. При замерзании воды электропроводность пород резко снижается.

Минеральный состав пород влияет на электропроводность только при значительном скоплении в них минералов высокой электропроводности при условии наличия тесного контакта между минеральными зернами и агрегатами. При соблюдении таких условий повышенной электропроводностью характеризуются углеродистые, глинистые и сульфидизированные породы; высокой электропроводностью — жильные скопления сливных магнетитовых и сульфидных руд. Породы, лишенные влаги и не содержащие в значительных количествах минералов-проводников, обладают высоким удельным электрическим сопротивлением.

Интерпретация аэроэлектроразведочных материалов позволяет выделить геологические структуры трех основных типов: дизъюнктивные, блоковые и пликативные, а также их комбинации.

Дизъюнктивные структуры представляют собой линейные зоны тектонически нарушенных пород. Часто данные зоны имеют скрытый характер без заметных смещений по ним, что затрудняет их диагностику геологическими методами. Они проявляются в электрических полях линеаменами двух типов: зонами повышенной электропроводности и зонами повышенных сопротивлений (рис 1, 2). Проводящие зоны связаны в большинстве случаев с ослабленными и обводненными зонами дробления и трещиноватости, имеющими как секущее, так и субогласное по отношению к слоистости залегание. Менее проявлены зоны проводимости, приуроченные к минерализованным зонам, выполненным рудной минерализацией. Повышенная электропроводность таких зон фиксируется только при сплошном характере рудных выделений по простиранию рудоносной зоны.

Линейные зоны повышенных сопротивлений отражают зоны дробления, залеченные кварцем или силикатно-карбонатной минерализацией (рис. 2).

Тектонические зоны, фиксируемые электроразведкой, имеют потенциально рудоконтролирующий характер для размещения эндогенных рудых залежей разного типа. Так, размещение золоторудных месторождений разных типов контролируется зонами разрывных нарушений разного ранга и характера проявления [6]. Ослабленные деструктивные зоны контролируют распределение кимберлитовых тел: в Зимнебережном алмазоносном районе большинство кимберлитовых тел

приурочено к зонам повышенной электропроводности и их пересечению [5].

Другим типом разрывных нарушений, фиксируемых электроразведкой, являются зоны нарушения корреляции данных линеаментов, отражающие сдвиговые деформации (рис. 1, 2). Данные сдвиговые дислокации

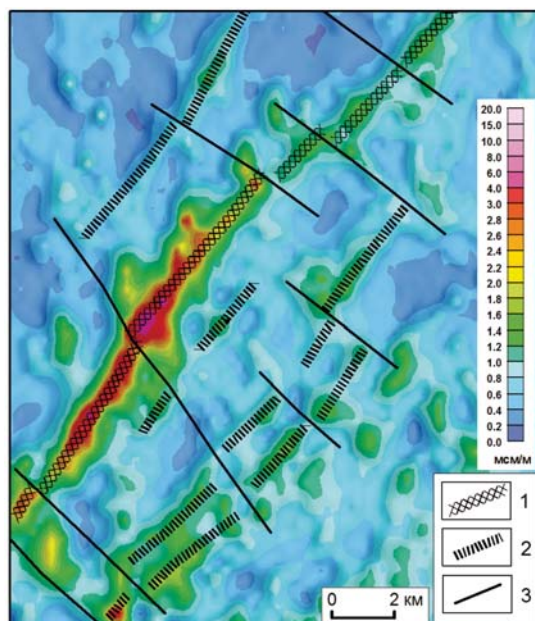


Рис. 1. Тектонические зоны, выраженные линейными аномалиями повышенной электропроводности (палеозойские гранитоиды, Забайкалье): зоны повышенной электропроводности: 1 — 1-го порядка; 2 — 2-го порядка; 3 — секущие нарушения. Цветовая подложка — поле электропроводности на частоте 2080 Гц

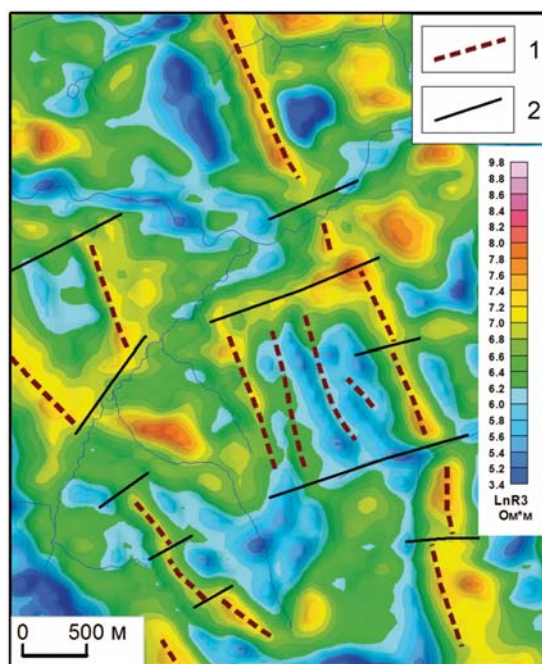


Рис. 2. Залеченные тектонические зоны, выраженные линейными аномалиями повышенных сопротивлений (песчано-глинистые отложения верхоянского комплекса): 1- зоны повышенных сопротивлений; 2 — секущие нарушения. Цветовая подложка — поле сопротивлений на частоте 2080 Гц

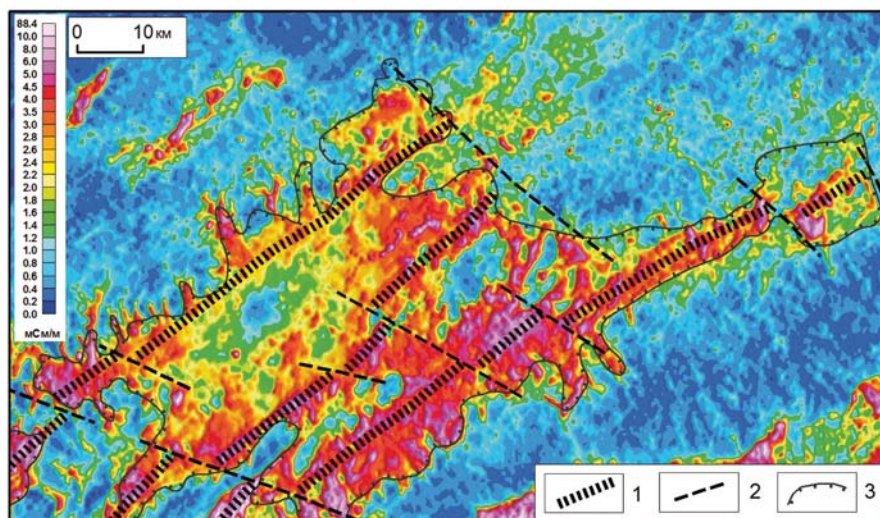


Рис. 3. Отражение в поле электропроводности (частота 520 Гц) погребенных ослабленных зон, наследуемых палеодолинами, выполненными неогеновыми аллювиальными отложениями (Забайкалье): 1 — погребенные ослабленные зоны; 2 — секущие нарушения; 3 — контур развития неогеновых отложений

в ряде случаев способствовали раскрытию полостей в пределах зон дробления и расланцевания и являлись благоприятным фактором локализации гидротермальных рудных залежей.

Ослабленные тектонические зоны в массивах кристаллических пород контролируют развитие линейных эрозионных впадин, заполненных слаболифитизированными аллювиальными осадками. На фоне высокоомных массивных пород данные депрессии отражаются линейными областями повышенной электропроводности

сти (рис. 3). С такими эрозионно-тектоническими депрессиями связаны гидрогенные месторождения урана в терригенных отложениях неогеновых палеодолин в Забайкалье [8]. Специализированная обработка аэроэлектроразведочных данных на разных частотах позволяет откартировать элементы погребенной гидросети и выявить благоприятные условия для локализации гидрогенного уранового оруденения внутри впадин [1]. Характерно, что данные палеодолины, выполненные осадками высокой электропроводности, фиксируются аэроэлектроразведкой под высокоомными пластовыми базальтоидами мощностью в несколько десятков метров.

Среди **блоковых структур** в электроразведочных материалах наибольшее отражение находят грабенообразные впадины в кристаллических породах, заполненные слаболифитизированными песчано-глинистыми отложениями. На фоне высокоомных кристаллических пород данные блоки отражаются линейными областями повышенной электропроводности с резкими прямолинейными и изломанными границами (рис. 4).

Резко повышенная проводимость впадин обусловлена выполняющими их влагонасыщенными песчано-гравийными и глинисто-алевритовыми осадками. Данные грабенообразные структуры контролируют распределение гидрогенных урановых руд песчаникового стратиформного типа в мезозойских наложенных впадинах в гранитоидных массивах (Забайкалье). К ряду грабенообразных впадин, выполненных грубообломочными отложениями, приурочены россыпи золота, что позволяет рассматривать данные структуры, как рудоконтролирующие для данного типа залежей.

Пликативные структуры проявляются в электроразведочных материалах при условии чередования в разрезе осадочных толщ высокоомных и проводящих пачек пород. Наиболее высокой электропроводностью характеризуются углеродсодержащие графитизированные отложения. Относительно повышенной проводимостью характеризуются глинистые пачки. На фоне высокоомных карбонатных или сцементированных песчаных пород данные пачки фиксируются полосами повышенной электропроводности, отражающими пликативные формы деформированных осадочных толщ (рис. 5). С черносланцевыми графитизированными толщами связаны золоторудные месторождения золото-кварц-сульфидной формации [9]. Пачки графитизированных сланцев, отражающихся линейными зонами повышенной электропроводности, позволяют выявить пликативные формы, контролирующие распределение золоторудных залежей. Так, в Бодайбинском золоторудном районе (Бодайбинский синклиорий) выявленные месторождения золота приурочены к замкам опрокинутых антиклинальных складок и флексурным перегибам крыльев опрокинутых синклинальных скла-

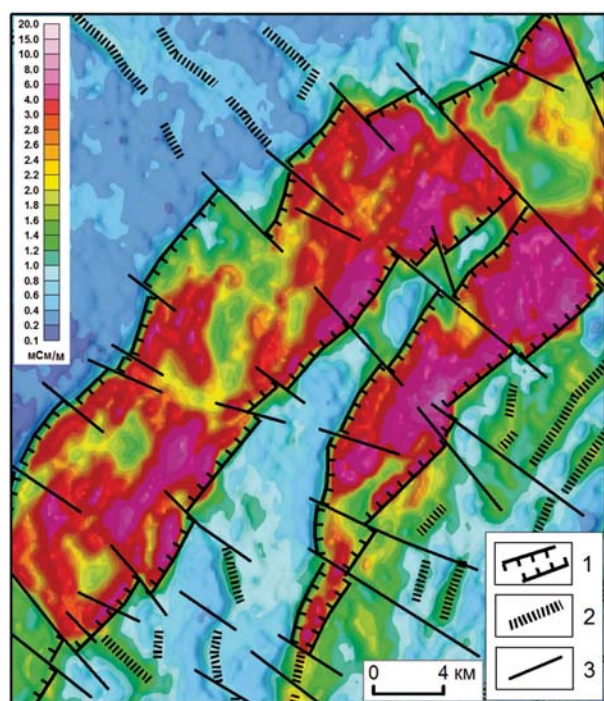


Рис. 4. Отражение грабенов в поле электропроводности на частоте 520 Гц (грабены в палеозойских гранитоидах, выполненные мезозойскими терригенными осадками, Забайкалье): 1 — борта грабенов; 2 — линейные аномалии повышенной электропроводности, связанные с зонами дробления; 3 — нарушения сдвигового типа

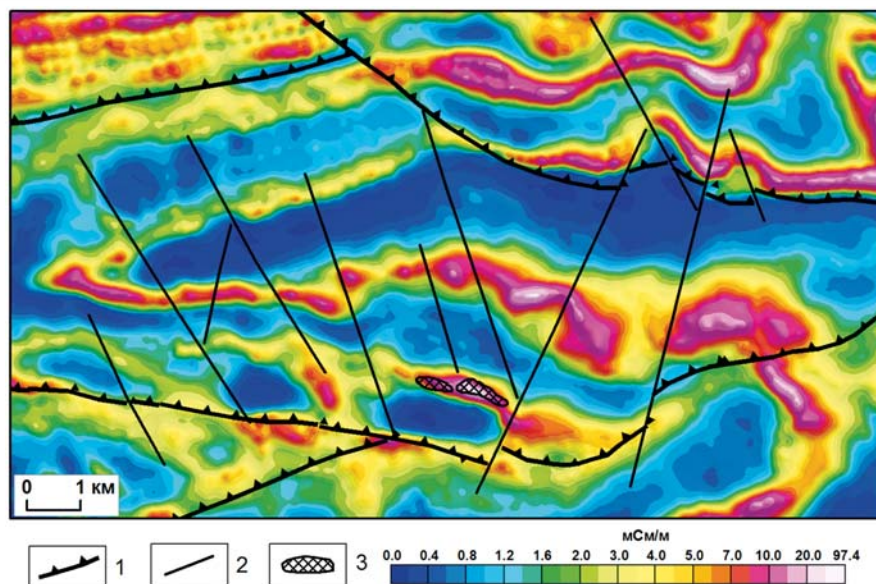


Рис. 5. Отражение пликтивных структур толщи углеродсодержащих отложений линейными зонами повышенной электропроводности (рифейские песчано-сланцевые толщи, Бодайбинский синклиорий): 1 — надвиги; 2 — нарушения сбросо-сдвигового типа; 3 — золоторудные залежи. Цветовая подложка — поле электропроводности на частоте 520 Гц

док [4, 7]. Данные рудоконтролирующие пликтивные структуры отчетливо фиксируются в аэроэлектроразведочных материалах (рис. 4). Литологический контроль залежей осуществляют пачки углеродсодержащих сланцев, которые отражаются линейными проводящими зонами.

Для изучения внутреннего строения рудоконтролирующих структур и локализации рудных залежей рекомендуется использовать метод переходных процессов в аэроварианте. Применение данных съемок в масштабе 1:10 000 и крупнее на перспективных площадях позволит выделить локальные участки для постановки наземных поисковых геолого-геофизических работ и заверочного бурения.

Одной из эффективных реализаций МПП является система **HELITEM** (Канада). Данная система имеет несколько модификаций, которые отличаются размерами генераторной петли и соответственно дипольным моментом установки (от 700 000 до 2 млн. Ам²). Параметры данных модификаций влияют на глубинность исследований, что позволяет выбрать оптимальную конфигурацию для решения конкретных геологических задач. Как и все вертолетные системы с подвесной конфигурацией монтажа (генераторная петля буксируется на трос-кабеле) данная система обладает малой зоной возбуждения и ограничениями по скоростному режиму, что сказывается на снижении производительности летных работ.

Развитие систем аэро-МПП в последнее время происходит в нескольких направлениях. Одно из направлений заключается в регистрации вторичного магнитного поля на ранних временах задержки (от 8 мкс после выключения тока в генераторной петле). При этом необходимо учитывать, что использование систем с большими дипольными моментами затрудняет регистрацию отклика среды в этом временном интервале из-за значительных собственных переходных процессов в

приемном и генераторном контурах. Недостаток этой информации не позволяет восстанавливать геоэлектрические свойства приповерхностной части разреза (от 0 до 70 м). В модификации системы **HELITEM MULTIPULSE** данная проблема решается за счет использования комбинированного зондирующего импульса: традиционный высокоамплитудный полусинус в начале полупериода обеспечивает увеличение глубины зондирования, а низкоамплитудный прямоугольный импульс ближе к концу каждого полупериода — более крутой срез фронта выключения тока и регистрацию процесса становления на ранних временах. Данный подход обогащает спектр зондирующего сигнала высокочастотной составляющей, что позволяет зафиксировать отклик от верхней части разреза. Таким образом, система **HELITEM MULTIPULSE** способна эффективно решать геолого-поисковые задачи с

высоким пространственным разрешением как по латерали, так и по глубине [11].

Другим направлением развития МПП является выделение аномалий вызванной поляризации по данным аэроэлектроразведки. Данная информация ценна как сама по себе, так и позволяет путем моделирования исключить влияние этого процесса на кривые становления поля, что дает возможность корректно их проинтерпретировать [12].

Таким образом, аэроэлектроразведочные работы методом ДИП в комплексе с другими геофизическими методами позволяют при масштабе съемки 1:50 000 — 1:20 000 выявить потенциальные рудоконтролирующие структуры дизъюнктивного, блокового и пликтивного типов и локализовать перспективные площади. Дальнейшая локализация перспективных участков в пределах выделенных рудоконтролирующих структур возможна с применением аэроэлектроразведки МПП в модификациях, соответствующих параметрам рудных залежей и геологическим условиям их предполагаемого залегания. Разбраковка аномальных участков для последующей заверки горно-буровыми работами должна проводиться на основе анализа всего комплекса геолого-геофизических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаянц П.С., Трусов А.А., Лаврова Т.Ю. Комплексные аэрогеофизические работы при поисках месторождений урана гидрогенного типа // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 7. — С. 56–60.
2. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. Петрофизика: учебник для вузов. — Томск: изд. ТПУ, 1997.
3. Ерофеев Л.Я. Электрические свойства минералов и горных пород: учеб. пособие. — Томск: изд. ТПУ, 1994.
4. Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотосодержание Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. — 2008. — № 3. — С. 43–61.
5. Кутинов Ю.Г. О структурно-тектоническом контроле эксплозивных тел Зимнего Берега по данным аэроэлектроразведки // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1991. — № 6. — С. 118–121.

6. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Золото». / Отв. ред. Беневольский Б.И., Вартамян С.С. — М.: ЦНИГРИ, 2002.
7. Мигачев И.Ф., Карпенко И.А., Иванов А.И. и др. Золоторудное месторождение Сухой Лог — переоценка и оценка прогноза рудного поля и района // Отеч. геология. — 2008. — № 2. — С. 55–67.
8. Митрофанов Е.А., Макаров С.И. Условия локализации и морфология рудных залежей Хиагдинского месторождения. / Матер. по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Вып. 147. — М.: ВИМС, 2005. — С. 109–123.
9. Рафаилович М.С., Мизерная М.А., Дьячков Б.А. Крупные месторождения золота в черносланцевых толщах: условия формирования, признаки сходства. — Алматы, 2011.
10. Трусов А.А. Особенности современной аэроэлектроразведки // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 7. — С. 31–36.
11. Chen T., Hodges G., Miles P. MULTIPULSE — high resolution and high power in one TDEM system. Exploration Geophysics, 2014a № 46(1). — P. 49–57.
12. Chen T., Hodges G. IP effect in airborne TDEM data: Model studies and field examples. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2014b — P. 828–832.

© Калмыков Б.А., Трусов А.А., 2015

Калмыков Борис Александрович // kalmykov@aerogeo.ru
Трусов Алексей Андреевич // trusov@aerogeo.ru

УДК 551.4.075.550.3

Агеев С.Н., Лёвин Ф.Д. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)

ВОЗМОЖНОСТИ АЭРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ДРЕВНИХ РЕЧНЫХ И ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

*В процессе аэромагнитной съемки, проведенной АО «ГНПП «Аэрогеофизика» в 2008–2011 гг. на территории ЮФО, выявлены магнитные аномалии, связанные с аллювием среднемиоценовых палеорусел. По этим данным откартированы три разновозрастные палеодолины, перекрытые плиоценовым аллювием и не выраженные в современном рельефе, а также речные отложения на водоразделах. Первые приурочены к территориям, претерпевшим на неотектоническом этапе опускание, а вторые — поднятие. Выявлены также линейные локальные аномалии низкой интенсивности, являющиеся либо результатом окисления рудных тел U-P-TR формации в зонах разрывных нарушений, либо связанные с первичными концентрациями магнитных минералов в прибрежно-морских позднеолигоценовых барообразных мелях. **Ключевые слова:** аэрогеофизика, аэромагнитная съемка, магнитное поле, палеодолина.*

Ageev S.N., Levin F.D. (Aerogeophysics)

THE POSSIBILITIES OF AIRBORNE MAGNETIC SURVEY WHEN MAPPING ANCIENT RIVER AND SHORELINE SEDIMENTS

In 2008–2011 when GNPP «Aerogeophysics» was performing airborne magnetic survey on the territory of Southern Federal District, some magnetic anomalies related to alluvium of the middle Miocene paleochannels. Three paleovalleys of different ages superposed by the Pliocene alluvium and not visible in the geometry, as well as river sediments at watershed, were mapped with the help of the data. The former coincide with the territories which underwent sinking at neotectonic stage, and the latter underwent lifting. Low intensity linear local anomalies which resulted either from orebody of U-P-TR formation oxidation in the areas of disjunctive dislocations, or are related to the initial

*concentrations of magnetic minerals in coastal Late Oligocene bar resembling shoals, were also discovered. **Key words:** aerogeophysics, airborne magnetic survey, magnetic field, paleo-valley.*

В 2008–2011 гг. на территории Южного федерального округа организацией ГНПП «Аэрогеофизика» были проведены комплексные аэрогеофизические исследования (аэрогравиметрия, аэромагниторазведка) м-ба 1:50 000 — 1:100 000. В процессе этих работ на полученных аэромагнитных картах в районе возвышенности Ергени, Сальско-Маньчской гряды и Кума-Маньчской впадины в нескольких разнонаправленных протяженных зонах шириной от 5 до 45 км было зафиксировано дифференцированное поле локальной составляющей (ΔT)_a, состоящее из многочисленных сильно вытянутых и изогнутых аномалий интенсивностью $\pm 1\text{--}9$ нТл, напоминающих по форме речные излучины (меандры) (рис. 1 А).

Сопоставление с имеющимися геологическими данными показало, что эти аномалии можно интерпретировать как участки накопления магнитных минералов тяжелой фракции, по-видимому, представляющие собой русловые косы среднемиоценовых палеорусел. В частности, из материалов карты [1] видно, что в районе одного из аномальных участков по буровым данным ранее были выделены аллювиальные отложения среднемиоценовой яшкульской свиты, а к юго-западу от них в районе другого аномального участка — так называемый «Бурукшунский миоценовый каньон», протягивающийся более чем на 150 км на юго-запад от Ергенинской возвышенности до р. Егорлык.

Отложения яшкульской свиты представлены аллювиальными песками и глинами с гравием и галькой мощностью до 200–250 м. Они заполняют эрозионные впадины поверхности верхнеолигоцен-нижнемиоценовых майкопских глин и перекрыты плиоценовыми (понт-киммерийскими) ергенинскими песками (рис. 2). Возраст свиты установлен как чокрак-раннесарматский.

На наличие на территории съемок древних палеодолин указывали ранее многие исследователи [3] (рис. 2), но определить их точное расположение удалось только благодаря высокоточной аэромагнитной съемке, поскольку в рельефе местности обнаруженные палеодолины никак не проявлены (рис. 1 Б). Анализ материалов аэромагнитной съемки позволил выделить в данном районе три палеодолины разного возраста (рис. 1, 2), характеризующиеся к тому же существенно различным направлением намагниченности, т.е. наличием остаточной намагниченности с коэффициентом Кенигсбергера $Q > 1$. К сожалению, эта информация сама по себе мало помогает уточнить возраст водотоков, поскольку за период среднего миоцена смена палеомагнитной полярности происходила около 40 раз!

«Ранняя» палеодолина имеет северо-восточное простирание, протяженность по территории съемок до 200 км и ширину до 17 км. Выработавший ее водоток, по-видимому, являлся небольшим проливом, который начинался из морского бассейна, соединявшего в среднем миоцене палеобассейны Каспийского и Черномор-