

Геология, тектоника и металлогения Северо-Азиатского кратона: материалы Всерос. науч. конф. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2011. – Т. 1. – С. 48–53.

6. Константинов К.М. Оценка возможности грави-магниторазведки при поисках кимберлитовых трубок на территориях развития пермоториасовых траппов (Якутская алмазоносная провинция) / К.М. Константинов, А.В. Новопашин, И.К. Константинов // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: материалы Междунар. школы-семинара. – Казань: Изд-во Казан. федер. ун-та, 2013. – С. 114–119.

7. Константинов К.М. Оценка эффективности магниторазведки при поисках кимберлитовых тел на территориях развития пород трапповой формации (Далдыно-Алакитский алмазоносный район Западной Якутии) / К.М. Кон-

стантинов, А.В. Новопашин, И.К. Константинов // Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород: материалы Междунар. школы-семинара – СПб.: СОЛЮ, 2012. – С. 96–102.

8. Краткий обзор ArcPy: сайт Esri [Электронный ресурс]. – 2016. URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/arcpy/a-quick-tour-of-arcpy.htm>. – 25.04.2016.

9. Новопашин А.В. Геоинформационные технологии в решении прикладных задач алмазопроисковой геологии (Якутская алмазоносная провинция) // Изв. СО РАН. Сер. Геология. – 2015. – № 2 (51) – С. 77–87.

10. Ильина Г.Ф. Промысловая геофизика: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 122 с.

Поступила в редакцию 25.04.2016

УДК 550.83:553.3/9

## Возможности геофизических исследований при региональном и локальном прогнозировании орогенных золоторудных месторождений

Е.Э. Соловьев\*, В.Ю. Фридовский\*\*, В.А. Кычкин\*

\*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск

\*\*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

*Показаны возможности геофизических исследований при региональном и локальном прогнозировании золоторудных месторождений на примере Южно-Верхоянского сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса. Приведены результаты обработки геофизических полей в автоматизированной программе «КОСКАД-3Д». Используются двумерная адаптивная энергетическая фильтрация и расчет значений статистических характеристик геофизических полей. В геофизических полях Южно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса разделяется на две области – Приплатформенную и Южно-Верхоянскую. Для Приплатформенной области характерны относительно неглубокое залегание плотных и намагниченных пород кристаллического фундамента. Южно-Верхоянская область отличается значительной глубиной залегания фундамента, нарастанием мощности карбонатно-терригенных пород. Установлено, что золоторудные проявления Южного Верхоянья приурочены к нескрытым магматическим телам и продольным разломам. Эффективность зондирования методом переходных процессов показана на примере Маринского рудного поля Аллах-Юньской тектонической зоны. Измерения переходных процессов проводились симметричной соосной квадратной установкой «петля в петле». Исследования методом ЗМПП показали, что минерализованные зоны дробления выделяются протяженными линейными аномалиями, преимущественно повышенного сопротивления до 800 Ом\*м на временах измерения переходного процесса 50–80 мкс, а в геоэлектрических разрезах – крутопадающими высокоомными близвертикальными локальными аномалиями.*

Ключевые слова: Южное Верхоянье, золотое оруденение, разломы, гравитационное и магнитное поля, трансформация, аномалии, зондирование методом переходных процессов.

---

СОЛОВЬЕВ Евгений Эдуардович – к.г.-м.н., доцент, зав. каф., e-mail: [solov.eyg@yandex.ru](mailto:solov.eyg@yandex.ru); ФРИДОВСКИЙ Валерий Юрьевич – д.г.-м.н., проф., директор, e-mail: [710933@list.ru](mailto:710933@list.ru); КЫЧКИН Вадим Андреевич – ст. преподаватель, e-mail: [v.a.kychkin\\_14@mail.ru](mailto:v.a.kychkin_14@mail.ru).

## Potentialities of geophysical research for regional and local forecast of orogenic gold deposits

Eu.E. Solovyov, V.Yu. Fridovsky\*\*, V.A. Kychkin\*

\*M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk

\*\*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk

*Potentialities of geophysical research for regional and local forecast of gold deposits are illustrated by the example of the South Verkhoyansk sector of the Verkhoyansk fold-and-thrust belt. Results of the automated geophysical data processing with the use of "KOSKAD-3D" program are presented. Two-dimensional adaptive energy filtering was used, and calculation of statistical characteristics of the geophysical fields was made. In the geophysical field, the South Verkhoyansk sector of the Verkhoyansk fold-and-thrust belt is subdivided into two areas – Near-platform and South Verkhoyansk ones. The former is characterized by a relatively close spatial association of compact and magnetized rocks of the crystalline basement, while the latter area is distinguished by a great depth of the basement and an increased thickness of carbonate and terrigenous rocks. It is shown that gold occurrences of the South Verkhoyansk area are localized in granite-metamorphic domes and longitudinal faults. High efficiency of transient electromagnetic sounding is established, as exemplified by the Mar ore field within the Allakh-Yun' tectonic zone. The mineralized tectonized zones are expressed as extensive high-resistance linear anomalies. Measurements were performed with the use of a standard "loop-in-loop" technique. It is shown that the mineralized tectonized zones are expressed as extensive high-resistance (up to 800 ohm-m) linear anomalies. The ore-controlling structures are recorded in the time interval of 50-80  $\mu$ s of the transient process measurement, and in the geoelectrical sections they are expressed as local subvertical high-resistance anomalies.*

Key words: South Verkhoyansk area, gold mineralization, faults, gravity and magnetic fields, transformation, anomalies, transient electromagnetic sounding.

### Введение

При прогнозировании рудных объектов различного ранга важную роль играют анализ и геологическая интерпретация геопотенциальных полей. Это позволяет изучить и уточнить особенности глубинного строения, выявить связи между оруденением и структурно-тектонической обстановкой территорий [1–4]. С использованием геофизических данных открыты месторождения Олимпиадинское (Россия), Форт Нокс и Донлин Крик (США). Скрытое оруденение Хисикари (Япония), Олимпик Дэм (Австралия) обнаружено в результате анализа аномалий гравитационного поля [5]. Применение наземных геофизических методов, в том числе электроразведки, дает возможность выявлять аномалии отражающие рудоконтролирующие структуры, детализировать пространственное положение рудных объектов и выявлять не выходящие на дневную поверхность рудные тела [6].

В работе показаны возможности геофизических исследований при региональном и локальном прогнозировании золоторудных месторождений на примере Южно-Верхоянского сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса (ВСНП). Сектор расположен на погруженной восточной окраине Северо-Азиатского кратона и сложен рифей-, среднепалеозойскими пре-

имущественно карбонатными и верхнепалеозойскими-мезозойскими терригенными толщами. Здесь широко распространены позднемезозойские благороднометалльные месторождения. Раннеорогенные золото-сульфидно-вкрапленные и золото-кварцевые месторождения shear-зон формируются в начале оксфорд-киммериджских коллизионно-аккреционных событий до формирования крупных позднеюрских-раннемеловых орогенных гранитоидных плутонов. Рудные тела месторождений залегают согласно с напластованием пород, образуя многоярусные жилы с сопровождающими их секущими апофизами (Юрско-Бриндакитский, Оночолаский рудные узлы). Позднеорогенные золото-кварцевые месторождения зон разломов (Неждановское, Задержнинское) контролируются крупноамплитудными разломами, отделяющими блоки с различным геологическим строением и тектоническим развитием. В мелких штоках гранитоидов и их роговиковом ореоле размещаются позднеорогенные золото-висмутовые месторождения. Наиболее перспективным типом золоторудения региона является орогенный [7–10]. На орогенные золоторудные месторождения наложена Ag-Pb-Zn, Ag-Pb-Sn, Ag-Hg и Ag-Au минерализация, связанная с событиями в альб-позднемеловом Охотско-Чукотском вулканогенном поясе.

### Структура потенциальных геофизических полей

В геофизических полях, в том числе и трансформированных, Южно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса разделяется на две области – Приплатформенную (Кыллахская и Сетте-Дабанская тектонические зоны) и Южно-Верхоянскую (Аллах-Юньская тектоническая зона) [11]. Области отличаются уровнем значений и структурой аномальных геофизических полей, отражающих различное геологическое строение.

Для Приплатформенной области характерны повышенный уровень значений грави- и магнитных аномалий, относительно неглубокое залегание плотных и намагниченных пород кристаллического фундамента, магматизм основного и ультраосновного состава. В Кыллахской и Сетте-Дабанской тектонических зонах выделен узкий протяженный блок гравитационных и магнитных аномалий субдолготного простирания, отражающий выклинивающийся к югу выступ кристаллического фундамента. Субширотные грави- и магнитные минимумы маркируют поперечные к основным геологические структуры, которые на раннем этапе формирования региона развивались как трансформные разломы, а на позднем – как латеральные рампы.

Южно-Верхоянская область характеризуется малоамплитудными знакопеременными аномалиями геофизических полей. Низкий уровень грави- и магнитного полей указывают на значительную глубину залегания фундамента, нарастание мощности карбонатно-терригенных пород в Аллах-Юньской тектонической зоне. Общий уровень трансформированных полей Южно-Верхоянской области нарушают аномалии, вызванные известными и скрытыми гранитоидными плутонами, представляющие элементы единых рудно-магматических систем [11, 12].

### Особенности размещения золотого оруденения в геофизических аномалиях

Для выявления закономерностей размещения золотого оруденения Южно-Верхоянского сектора ВСНП в геофизических полях выполнена обработка данных в автоматизированной программе «КОСКАД-3Д» [13]. Используются следующие алгоритмы: двумерная адаптивная энергетическая фильтрация для выделения локальной компоненты гравитационного и магнитного полей, а также расчет значений их статистических характеристик.

При анализе полученных трансформант установлено, что на схеме локальной компоненты гравитационного поля золотое оруденение Сетте-Дабанской тектонической зоны тяготеет к нулевым значениям локальных аномалий на границе

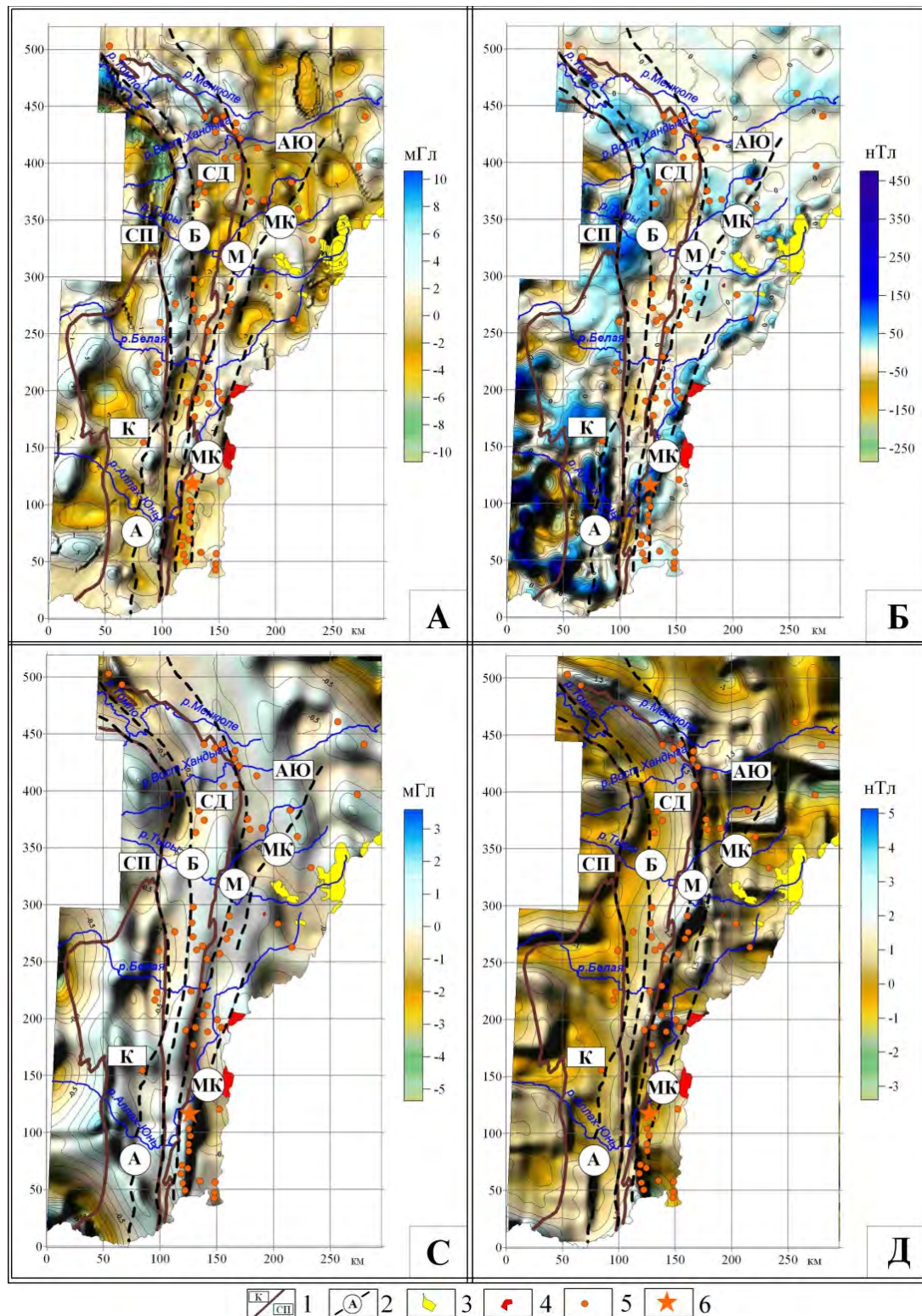
Приплатформенной и Южно-Верхоянской областей (рис. 1, А). Золоторудные проявления северной и центральной частей Аллах-Юньской тектонической зоны, по геофизическим данным, приурочены к нескрытым магматическим телам, которые отображаются локальными изометричными гравитационными минимумами, часто обрамленными дугообразными положительными аномалиями. В южной части рассматриваемой тектонической зоны оруденение тяготеет к Минорско-Кидерикинскому разлому.

В локальных магнитных аномалиях оруденение Сетте-Дабанской зоны размещается в полосе пониженных значений вдоль Бурхалинского разлома (рис. 1, Б). В пределах Аллах-Юньской зоны оно приурочено к единичным локальным изометричным аномалиям в северной части, на юге – к ярко выраженной полосе линейных положительных аномалий, трассирующих Минорско-Кидерикинский разлом. Высокая интенсивность линейных аномалий указывает на наличие магнитовозмущающей минерализации в зоне разрывного нарушения.

На схеме статистической трансформанты – асимметрии гравитационного поля, оруденение исследуемого региона тяготеет к аномалиям повышенных значений (рис. 1, С). Параметр асимметрии в физических полях указывает на нарушение нормального распределения изучаемых значений, чаще всего вызванное резкой сменой геологической обстановки [13]. Так, наиболее контрастно выделяется субмеридиональная линейная аномалия высокой интенсивности асимметрии гравитационного поля в восточной части Сетте-Дабанской тектонической зоны. Повышенные значения трансформированного поля силы тяжести отражают состояние нарушенности геологической среды.

На схеме значений асимметрии магнитных аномалий отмечается полоса высокой интенсивности, имеющая прямую пространственно-физическую корреляцию с выделенной линейной аномалией повышенных значений асимметрии гравитационного поля (рис. 1, Д). Золотое оруденение Южного Верхоянского сектора ВСНП в аномалиях асимметрии магнитного потенциала локализуется в зоне повышенных значений, за исключением проявлений южной части Аллах-Юньской зоны.

Таким образом, в Сетте-Дабанской тектонической зоне главное рудоконтролирующее значение, по геофизическим данным, имеет зона разуплотнения субмеридиональной ориентировки, отделяющая Приплатформенную область от Южно-Верхоянской. Оруденение тяготеет к нулевым и пониженным значениям локальных грави- и магнитных аномалий.



**Рис. 1. Трансформанты потенциальных геофизических полей Южного Верхоянья: А-Б– локальные компоненты геофизических полей: А – гравитационного, Б – магнитного; С-Д – асимметрия геофизических полей: С – гравитационного, Д – магнитного; 1 – тектонические структуры: СП –Сибирская платформа, К – Кыллахская зона, СД – Сетте-Дабанская зона, АЮ – Аллах-Юньская зона; 2 – разломы: А – Акринский, Б – Бурхалинский, М – Менкюленский, МК – Минорско-Кидерикинский; 3 – вулканогенные породы; 4 – граниты, гранодиориты; 5 – золоторудные месторождения и проявления; 6 – Маринское рудное поле**

В северной и центральной частях Аллах-Юньской зоны, рудопроявления связаны с невоскрытыми магматическими телами. В трансформированных полях они выражены локальными изометричными гравитационными и магнитными аномалиями различного знака. Необходимо отметить, что по данным гравиметрии известные рудопроявления чаще тяготеют к периферии невоскрытых магматических тел. В южной части Аллах-Юньской зоны оруденение контролируется Минорско-Кидерикинским разломом, выраженным полосой линейных магнитных аномалий положительного знака.

### Электроразведочные исследования методом ЗМПП

Наземные геофизические работы выполнены на Маринском рудном поле Аллах-Юньской металлогенической зоны в бассейне руч. Ыныкчан [9, 14]. Рудное поле сложено алевролитами, известковистыми алевролитами и редкими пластами известковистых песчаников наталинской свиты верхнего карбона. Здесь широко развиты золотоносные кварцевые жилы, характеризующиеся малой мощностью, незначительной протяженностью и крайне неравномерным распределением золота. Выделяются следующие типы жил: крутопадающие (70–90°) меридиональные и широтные, пологопадающие (20–40°) запад-северо-западного простирания, а также пластовые, выполняющие трещины отслоения, как правило, на контакте песчаников и алевролитов [15]. Рудовмещающие зоны дробления слагают полосу шириной около 150 м и прослежены на 350 м. Между зонами отмечаются маломощные кварцевые жилы нескольких систем, ассоциирующие с надвиговыми деформациями. Содержания золота в зонах изменяется в пределах 5–15 г/т, достигая в отдельных пробах до 20–50 г/т [8].

Выполнено зондирование методом переходных процессов (ЗМПП) по сети 100x10 м. Он широко применяется при изучении строения различных геологических объектов [16, 17]. Измерения переходных процессов проводились симметричной соосной квадратной установкой «петля в петле». Размер генераторной петли составил 250x250 м, измерительной 1x1 м с моментом 30 (30 витков). Измерения выполнялись с использованием отечественной аппаратуры «Импульс-Д» (ООО «Сибгеотех», г. Новосибирск). Для обеспечения высокой детализации и устойчивого отношения сигнал/помеха – шаг дискретизации измерений составлял 10 мкс, количество накоплений – 64. Синхронизация между измерительным и генераторным модулями проводилась через GPS-датчики. Сила подаваемых П-образных импульсов тока – 5 А.

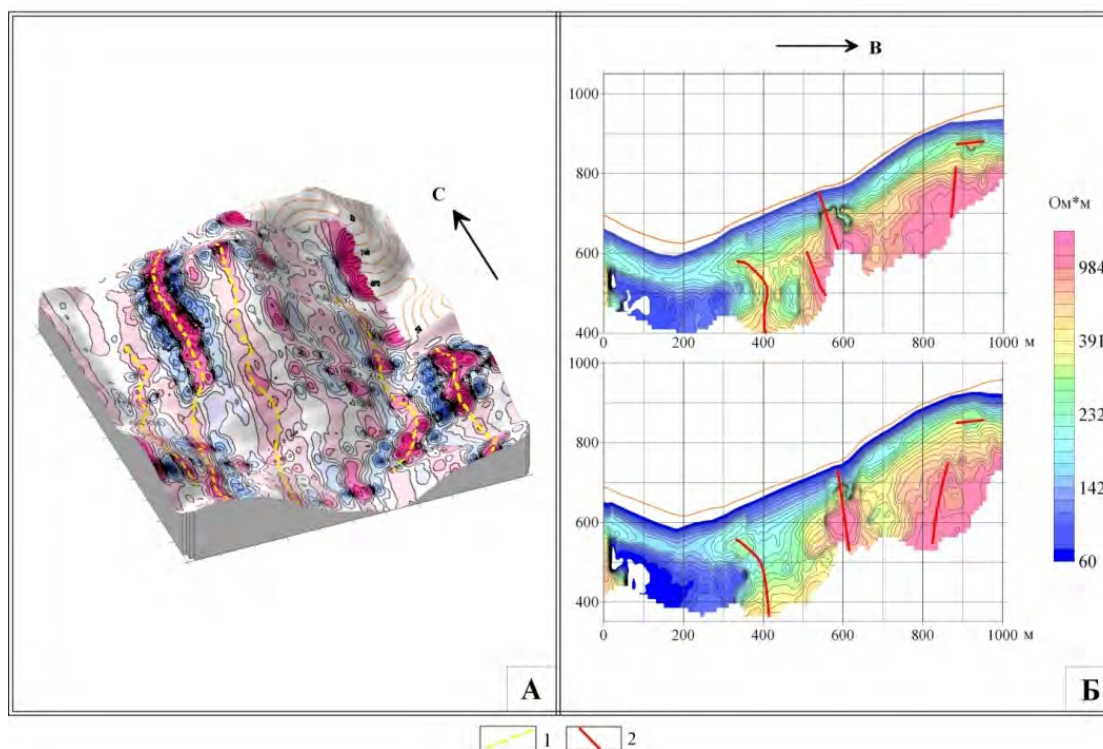
Время измерений переходного процесса  $t_{\max}$  на объекте составило около 0,7–0,8 мс, что позволило достичь глубин 250–300 м. Начальное время регистрации  $t_{\min}$  переходного процесса составило в среднем 0,015–0,02 мс, что определило минимальную глубину исследований около 50 м. Обработка геоэлектрических данных проводилась в программе «АВС» (ООО «Сибгеотех, г. Новосибирск»), где реализованы алгоритмы построения изолиний ЭДС равного времени и геоэлектрических разрезов по параметрам  $\rho_t$  и  $S_t$ .

Выполненные площадные электроразведочные исследования методом ЗМПП показали, что минерализованные зоны дробления Маринского рудного поля выделяются протяженными линейными аномалиями, преимущественно повышенного сопротивления до 800 Ом\*м на временах  $t = 50–80$  мкс. Зоны имеют север-северо-восточное простирание. Ширина выделенных аномалий изменяется от 40 до 70 м. Величины кажущегося удельного сопротивления рудоносных структур могут иметь высокие значения при преимущественно кварцевом составе рудных тел, так и пониженные – при значительном содержании сульфидных минералов или глинистого материала (рис. 2, А).

В геоэлектрических разрезах объекта исследований выделяется два блока различного кажущегося удельного сопротивления – западный и восточный (рис. 2, Б). Западный блок характеризуется низкими значениями сопротивлений 60–230 Ом\*м с выраженным горизонтальным залеганием пород. Второй восточный блок отмечается высокими значениями сопротивления до 820 Ом\*м и более сложным строением. В восточном блоке выделяются субвертикальные высокоомные локальные аномалии, аппроксимируемые крутопадающими рудными зонами.

### Заключение

В результате проведенных исследований в пределах Южно-Верхоянского сектора ВСНП установлены особенности размещения золотого оруденения в потенциальных геофизических полях и их трансформантах. В гравитационном и магнитном полях сектор разделяется на две области – Приплатформенную и Южно-Верхоянскую, различающиеся уровнем и структурой аномалий. Приплатформенная область отличается неглубоким залеганием плотных и намагнитченных пород кристаллического фундамента. Южно-Верхоянская область характеризуется значительной глубиной залегания фундамента, нарастанием к востоку мощности карбонатно-терригенного комплекса. Большинство известных рудопроявлений региона при-



**Рис. 2.** Результаты электроразведочных работ методом ЗМПШ на Маринском рудном поле: А – изолинии кажущегося у. э. с. на временах измерений переходного процесса 50–80 мкс, Б – геоэлектрические разрезы кажущегося у. э. с.

урочено к нескрытым магматическим телам и продольным зонам протяженных разрывных нарушений, отделяющих блоки с различным строением. При выделении таких неоднородностей в строении земной коры эффективно применение алгоритмов разложения потенциальных полей на составляющие и расчет их статистических характеристик (в данном случае – параметр асимметрии геофизических аномалий). В импульсном электромагнитном поле рудные зоны Аллах-Юньской тектонической зоны выделяются протяженными линейными аномалиями, преимущественно повышенного сопротивления до 800 Ом\*м на временах измерения переходного процесса 50–80 мкс.

Таким образом, анализ геофизических потенциальных полей, в том числе трансформированных, позволяет выделять неоднородности в геологической среде и потенциально рудоносные структуры. Устанавливаемые при этом особенности отражения разноранговых рудных объектов в гравимагнитных и электрических аномалиях, позволяют использовать их в качестве дополнительных геофизических критериев регионального и локального прогноза золотого оруденения.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00465).*

## Литература

1. *Иволга Е.Г.* Региональное количественное прогнозирование перспективных на эндогенное оруденение площадей на основе анализа физических полей в пределах юга Дальнего Востока России / Е.Г. Иволга, Ю.Ф. Манилов // Руды и металлы. – 2010. – № 6. – С. 10–21.
2. *Хасанов И.М.* Глубинная структура юго-востока Яно-Колымской складчатой системы по геофизическим данным и характерные особенности строения золоторудных узлов / И.М. Хасанов, В.М. Шарафутдинов // Ученые записки Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2011. – Т. 153, № 3. – С. 230–246.
3. *Chuansong He.* Gold metallogeny associated with craton destruction: a geophysical perspective from the North China Craton / Chuansong He, Santosh M., Qiong-Yan Yang // Ore Geology Reviews. – 2015. – Vol. 75. – P. 29–41.
4. *Models and Exploration Methods for Major Gold Deposit Types* / Robert F., Brommecker R., Bourne B., Dobak P. J., McEwan C. J., Rowe R. R., Zhou X. // Proceedings of Exploration-07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration / ed. by B. Milkereit. – 2007. – P. 691–711.
5. *Волков А.В.* Крупные месторождения золота и серебра Северо-Востока России (геолого-

генетические и поисковые модели) / А.В. Волков, В.А. Сидоров // Золото северного обрамления Пацифика. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2008. – С. 14–15.

6. *Применение геофизических методов при детальном изучении скарновых железорудных месторождений Северного Урала* / В.Н. Глазнев, И.В. Притыка, В.И. Жаворонкин, Р.А. Терентьев, Д.П. Севастьянов, П.П. Горских // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2010. – № 2. – С. 238–248.

7. *Окунев А.Е.* Перспективы поисков месторождений золото-сульфидной формации в Аллах-Юньской минерагенической зоне / А.Е. Окунев, А.П. Кропачев // Вестн. Госкомгеологии. – 2006. – № 1(8). – С. 19–24.

8. *Окунев А.Е.* О перспективах открытия крупных золоторудных месторождений орогенного типа в терригенных отложениях Южного Верхоянья / А.Е. Окунев, В.Ю. Фридовский // Руды и металлы. – 2012. – № 5. – С. 22–29.

9. *Фридовский В.Ю.* Условия локализации золотого оруденения Маринского рудного поля (Южное Верхоянье) / В.Ю. Фридовский, Л.И. Полуфунтикова // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 13–20.

10. *Goryachev N.A.* Gold deposit and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geology Reviews* / N.A. Goryachev, F. Pirajno. – 2014. – Vol. 59. – P. 123–151.

11. *Соловьев Е.Э.* Геофизические поля и глубинное строение Южного Верхоянья / Е.Э. Со-

ловьев, В.Ю. Фридовский, Т.Д. Адаров // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 82–86.

12. *Горячев Н.А.* Золоторудообразующие системы орогенных поясов // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН. – 2006. – № 1. – С. 2–16.

13. *Петров А.В.* Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» / А.В. Петров, Д.Б. Юдин, Сюели Хоу // Вестн. Камчат. регион. ассоциации. Сер. Науки о Земле. – 2010. – № 16. – С. 126–132.

14. *Адаров Т.Д.* Геофизические исследования рудоконтролирующих структур Южного Верхоянья / Т.Д. Адаров, Е.Э. Соловьев // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 12. – С. 33–35.

15. *Окунев А.Е.* Новые проявления золото-кварц-сульфидной формации Аллах-Юньской металлогенической зоны / А.Е. Окунев, В.П. Данилов // Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М.К. Аммосова. – 2010. – Т. 7, № 1. – С. 41–46.

16. *Кожевников Н.О.* Оценка возможностей метода переходных процессов при изучении верхней части геологического разреза / Н.О. Кожевников, А.Е. Плотноков // Геофизика. – 2004. – № 6. – С. 33–38.

17. *Геоэлектрический разрез в районе подземного ядерного взрыва «Кристалл» (Западная Якутия) по данным метода переходных процессов* / Н.О. Кожевников, Е.Ю. Антонов, С.Ю. Артамонова, А.Е. Плотноков // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 2. – С. 237–249.

*Поступила в редакцию 15.04.2016*

УДК 51:550.34.013.4

## **Исследование распределения тяжелых фракций в колеблющейся сыпучей среде**

А.И. Матвеев\*, Л.В. Никифорова\*\*, Е.С. Слепцова\*, Б. В. Яковлев\*\*

\*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск

\*\*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

*Одним из эффективных методов сепарирования тяжелых зерен в сыпучей среде, например золотых зерен, является гравитационная отсадка. В известных работах по моделированию процесса отсадки используется теория броуновской частицы, где решается уравнение типа Фоккера-Планка. В*

---

МАТВЕЕВ Андрей Иннокентьевич – академик АН РС(Я), д.т.н., зав. лаб., e-mail: andrei.mati@yandex.ru; НИКИФОРОВА Людмила Владимировна – ст. преподаватель, e-mail: nliudmilav@mail.ru; СЛЕПЦОВА Екатерина Семеновна – н.с., e-mail: slept@mail.ru; ЯКОВЛЕВ Борис Васильевич – д.т.н., e-mail: b-yakovlev@mail.ru.