

Региональная аэроэлектромагнитная и магнитная съемка впадины Селвин – оценка перспективности

Роб Карне [Rob Carne](ATAC Resources Ltd., Ванкувер, Канада), Жан М. Лего [Jean M. Legault] (Geotech Ltd., Аврора, Канада), Ричард Филип [Richard Phillips] и Юлия Лэйн [Julia Lane](Archer, Cathro & Associates, Ванкувер, Канада)

Аннотация

Результаты региональных аэрогеофизических исследований аудиоманнитотеллурическим и аэромагнитным методам, проведенные на территории впадины Селвин в 2008 году, приобретенные Геологической Службой Юкона и обнародованные в ноябре 2013 года были проанализированы с точки зрения геологических перспектив.

Анализ выявил сильную корреляцию между региональными проводящими структурами и распределением рудопроявлений в регионе. Генетическое сходство между золотыми месторождениями карлинского типа на Юконе и в Неваде, где региональные геологические структуры хорошо известны, подчеркивает потенциальную значимость выявленных аэроэлектромагнитным методом проводящих структур в бассейне Селвин и в других местах.

Введение

Впадина Селвин (рис. 1) является крупной структурой северо-западного простирания. Она сложена глубоководными осадками палеозойского возраста и простирается на 1000 км от Аляски, через Юкон, на западную часть Северо-Западных территорий и северную часть Британской Колумбии (Goodfellow, 2007).

В 2008 году на территории впадины Селвин на площади 25 000 км² в восточной части Юкона и западной части Северо-Западных территорий, к северо-востоку от реки Росс (рис. 1-2), были выполнены региональные аэрогеофизические исследования по контракту с частной горнодобывающей компанией (Witherly, 2013). Исследования включали 24,675 км вертолетной съемки ZTEM (z-компонентная аудиоманнитотеллурическая система; Lo and Zang, 2008¹) и магнитной съемки.

Эти данные были сопоставлены с известной геологической информацией и данными о минеральных ресурсах, проанализированы с точки зрения оценки их перспективности (Carne и др., 2013) и представлены в данном исследовании.

Геологическое строение и рудопроявления

Впадина Селвин – это структура северо-восточного простирания, сложенная палеозойскими глубоководными осадочными породами, преимущественно черными и кремнистыми сланцами ордовикского – девонского возраста (Рис. 2).

Эти породы несогласно залегают на Верхне-протерозойском – кембрийском кристаллическом фундаменте, который является частью континентальной окраины. Он сложен аргиллитами, алевролитами, карбонатными породами, кварцевым мелкозернистым песчаником возрастом от нижнего отдела раннего Ордовика до раннего Девона. Вышележащие породы состоят из девонских – нижне-карбоновых (Миссисипских) и раннетриасовых аргиллитов и алевролитов, с обилием песчаников и конгломератов.

Породы впадины Селвин были деформированы и метаморфизованы в мезозойский период. К этому тектоническому периоду также относятся гранитоидные интрузии мелового возраста.

Породы впадины Селвин относительно хорошо сохранились за исключением фации зеленых сланцев, подвергшихся складчатому и надвиговому деформациям и метаморфизму (Goodfellow, 2007).

¹ А также см.: Багрянский А.А., Приходько А.Ю., Боурнас Н., Лего Ж. *Аэроэлектромагнитная технология ZTEM для глубинного изучения недр.* Охрана и разведка недр. N5, 2015

Региональная аэроэлектроразведка и аэромагнитная съемка впадины Селвин – Оценка перспективности

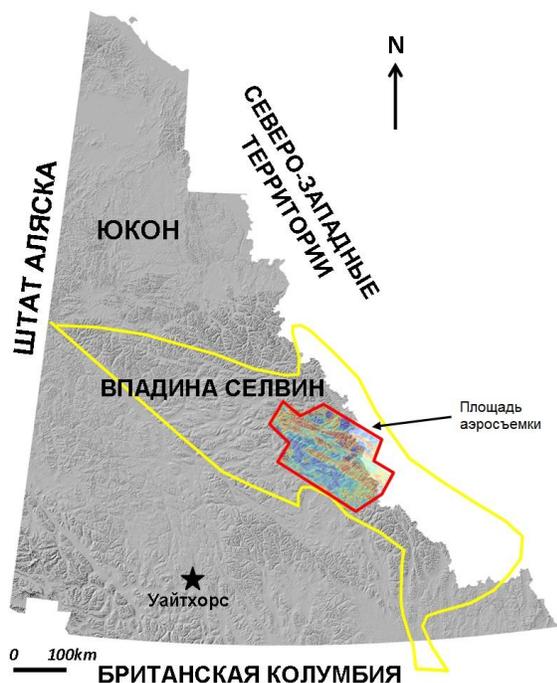


Рис.1: Местоположение впадины Селвин и площадь аэроэлектроразведочных - аэромагнитных исследований на территории Юкона.

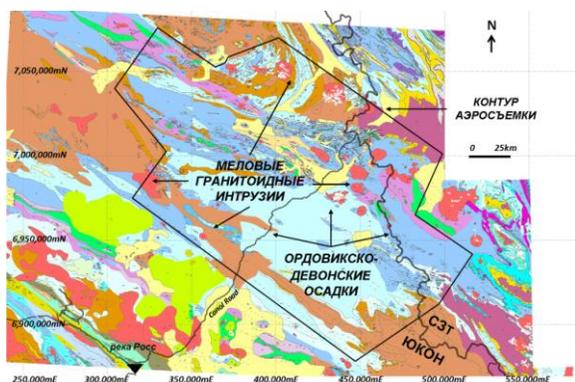


Рис.2: Геологическая карта Бассейна Селвин (Gordey и Makepiece, 1999).

Впадина Селвин хорошо известна своим осадочно-эксгальвативным минеральным потенциалом мирового класса (оруденение SEDEX типа), она включает двенадцать крупных месторождений с доказанными запасами в четырех основных районах, в том числе гигантские месторождения Ховардс Пасс [Howards Pass] с доказанными запасами руды 180 млн. тонн (Kirkham и др., 2012) и последними открытыми Фаро [Faro], Вангорда [Vangorda] и Грум [Grum].

Месторождения богаты Zn, Pb и Ag с сопутствующими Cu и Au. Стратиформные баритовые месторождения и осадочно-эксгальвативные проявления Ni-Mo также представлены в бассейне (Goodfellow, 2007). Кроме того, свинцово-цинковые и вольфрамовые скарновые рудопоявления мелового возраста, жилы Ag-Pb и связанные с интрузиями месторождения золота проявлены в пределах впадины Селвин (Carne и др., 2013).

Недавно было открыто золотое оруденение карлинского типа в 100 км к северо-западу от района аэрогеофизических работ вдоль северной окраины бассейна Селвин (Arehart др., 2013).

Анализ региональной аэроэлектромагнитной и магнитной съемки

В период с мая по октябрь 2008 года была проведена вертолетная геофизическая съемка бассейна Селвин аудиоманнитотеллурическим методом ZTEM (Labson и др., 1985) в комплексе с аэромагнитным, (Witherly, 2013). Объем работ составил 24675 погонных километров съемки с расстоянием между основными линиями полетов 1000 м направленными по азимуту 325° с детализацией 500 м между ними. Данные ZTEM типпера (T_{zx} вдоль линий и T_{zy} поперек линий) были получены на пяти частотах в диапазоне (30-360 Гц). Читатели могут найти описание теории и методики съемки ZTEM в статьях Milicevic и др. (2008) и Legault и др., (2012)².

Карта напряженности магнитного поля впадины Селвин, представленная на рисунке 3, показывает сильную корреляцию между выделенными магнитными аномалиями и откартированными гранитоидными интрузиями мелового возраста, которые, несмотря на их низкую магнитную восприимчивость, вызывают ороговикование вмещающих пород, которые становятся магнитными, благодаря образуемому в зоне контакта метаморфическому пирротину (Moynihan, 2013). На самом деле, известные жильно-брекчиевые и скарновые месторождения, связаны с интрузиями и ассоциированы с максимумами магнитного поля (Carne и др., 2013; Witherly, 2014). Но в то же время, осадочно-эксгальвативные месторождения (SEDEX) впадины Селвин не выражаются аномальным магнитным полем, в связи с отсутствием ферромагнитных сульфидов (Goodfellow, 2007), и, показанная на рисунке 3, магнитная карта региона

² А также: Багрянский А.А., Приходько А.Ю., Боурнас Н., Лего Ж. *Аэроэлектромагнитная технология ZTEM для глубинного изучения недр.* Охрана и разведка недр. N5, 2015

Региональная аэроэлектроразведка и аэромагнитная съемка впадины Селвин – Оценка перспективности

также, по-видимому, содержит меньше информации о литологии и структуре, из-за отсутствия контрастов от пород с малой магнитной восприимчивостью, таких как глинистые и кремнистые сланцы и известняки, представленные в осадочных породах (Lego и др., 2014).

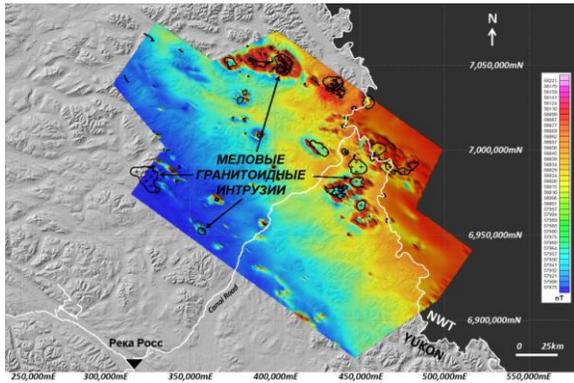


Figure 3: Карта напряженности магнитного поля с контурами интрузий.

Карта кажущейся проводимости по данным ZTEM, представленная на рисунке 4, была получена путем применения специального преобразования (Becken и Pedersen, 2003) к синфазной компоненте аудимагнитотеллурической съемки, как это показано в работе Sattel и др. (2010). Сравнение этого изображения с картой магнитного поля на рисунке 3, показывает что изометричные максимумы удельного сопротивления (синие) и окружающие их максимумы проводимости, связаны с вулканическими интрузиями и сопутствующими им магнитными и электропроводными метасоматическими ореолами. Рисунок 5 показывает, что существует также хорошая корреляция между электропроводными структурами, выделенными по данным ZTEM и известными тектоническими нарушениями, которые не проявляются в магнитном поле.

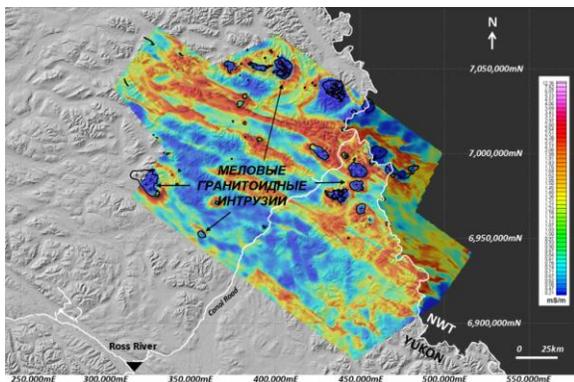


Рис 4: Карта кажущейся проводимости по данным ZTEM (90 Гц) с контурами интрузий

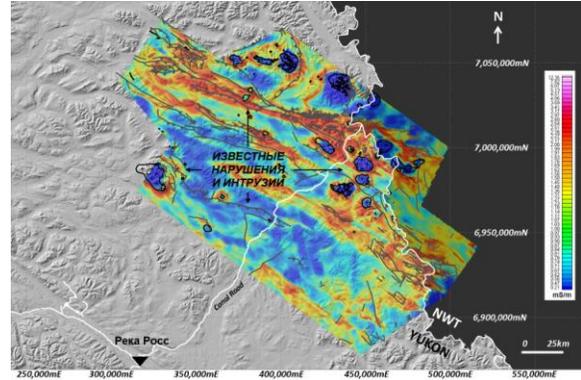


Рис 5: Карта кажущейся проводимости по данным ZTEM (90 Гц) и известные тектонические нарушения и интрузии

Необходимо отметить, что контуры аномалий кажущейся проводимости на рисунке 6 указывают на существование в пределах впадины Селвин крупных структур северо-западного простирания, которые, как представляется, не связаны с породами фундамента (см. рис. 2).

Тем не менее, при дальнейшем анализе, при наложении на карту проводимости известных рудопроявлений, перспективных участков и месторождений (см. рис. 7), выясняется, что все они расположены четко вдоль, выделенных аэроэлектроразведкой ZTEM крупных проводящих структур, ни одна из которых не проявляется в магнитном поле. Области в пределах этих проводящих структур очевидно заслуживают дальнейших исследований на этой малоизученной территории.

На основании выполненной оценки глубины по ЭМ скин-эффекту, эти аномалии ZTEM могут относиться к породам, распространяющимся на глубину 1 км или более, и поэтому вряд ли будут связаны с приповерхностными отложениями.

Если они в самом деле, связаны с более глубокими структурами фундамента, то расположение месторождений согласуется с исследованиями Arehart др. (2013), которые определили сходство в генезисе между золоторудными месторождениями карлинского типа в Неваде и месторождениями Юкона, на основании их принадлежности 700 млн лет назад суперконтиненту Родиния (см. рис. 8).

Учитывая важность геологических структур в Неваде (см. рис. 9), выявление аэроэлектроразведкой подобных структур на Юконе может внести важный вклад в разведку месторождений впадины Селвин.

Региональная аэроэлектроразведка и аэромагнитная съемка впадины Селвин – Оценка перспективности

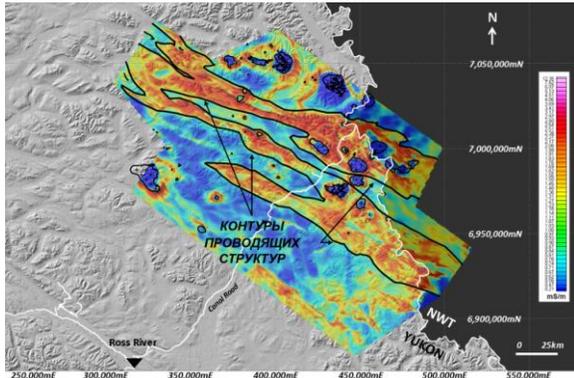


Figure 6: Кажущаяся проводимость по материалам ZTEM (90 Гц), контурами показаны крупные проводящие структуры.

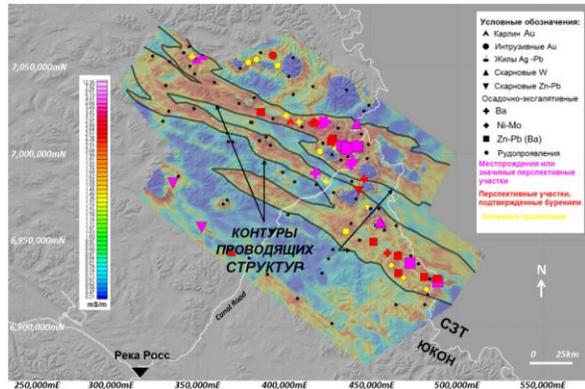


Рис. 7. Кажущаяся проводимость по материалам ZTEM (90 Гц) с контурами крупных проводящих структур и расположением рудопоявлений (черные точки), перспективных участков (красные символы) и месторождений (фиолетовые символы)

На рисунке 10 представлены подобные предыдущим ZTEM синфазные DT (полная дивергенция) изображения над медно-порфировыми гидротермальными месторождениями в Западных Кордильерах (см. Witherly & Sattel, 2012) и роговиковыми изменениями, окружающими интрузии мелового возраста, с которыми связаны Pb-Zn скарновые месторождения впадины Селвин, показанные на рисунках 6-7.

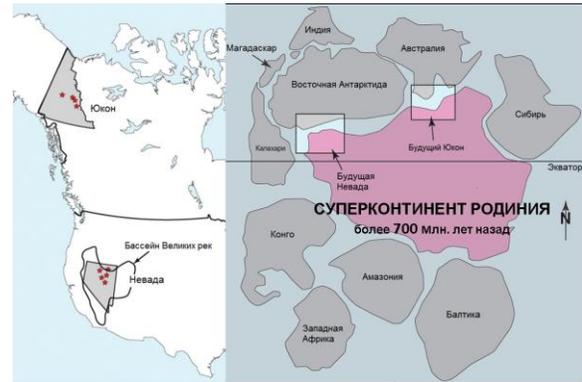


Рис 8. Схематическое изображение пространственного соотношения Юкона и Невады и: А) Местонахождение месторождений золота типа Карлин, и б) Предполагаемые положения на суперконтиненте Родинии (по Aреhart и др 2013)..

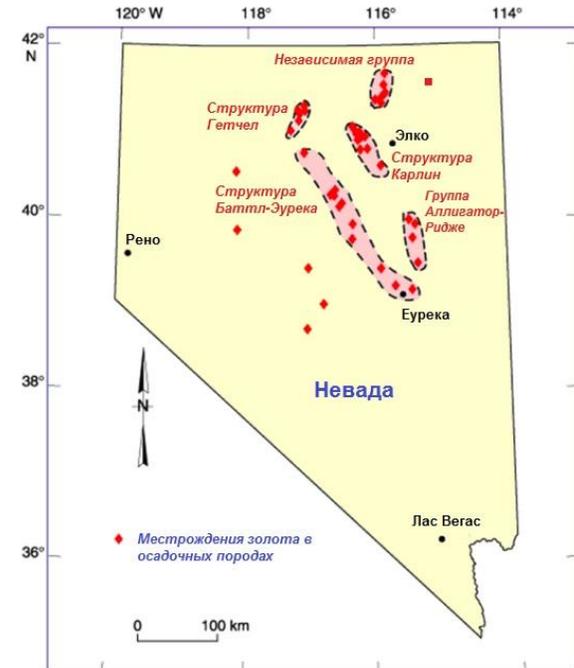


Рис. 9. Схематическое изображение расположения месторождений золота типа Карлин, приуроченных к структурам в Неваде (Carr и др., 2013)

Выводы

Анализ региональной ZTEM аудимагнитотелурической и магнитной аэросъемки впадины Селвин с точки зрения геологической перспективности выявил сильную корреляцию между региональными проводящими структурами и распределением рудопоявлений в регионе, которая не была видна на карте магнитного поля. То, что эти потенциально

Региональная аэроэлектроразведка и аэромагнитная съемка впадины Селвин – Оценка перспективности

глубокие (> 1 км) проводящие структуры представляют возможные структурные элементы фундамента указывает на генетическое сходство между месторождениями золота типа Carlin на Юконе и в Неваде, где региональные рудоконтролирующие структуры хорошо известны. Также указывается на сходство между аномалиями ZTEM, связанными с меловыми скарновыми месторождениями впадины Селвин и медно-порфировыми месторождениями в Западных Кордильерах. Все это подчеркивают потенциальную значимость выделенных ZTEM структурных аномалий и аномалий, связанных с изменением вещественного состава, для дальнейших геологоразведочных работ в пределах впадины Селвин, а также важность и значимость применения глубинной аэроэлектроразведки в других геологических условиях по всему миру.

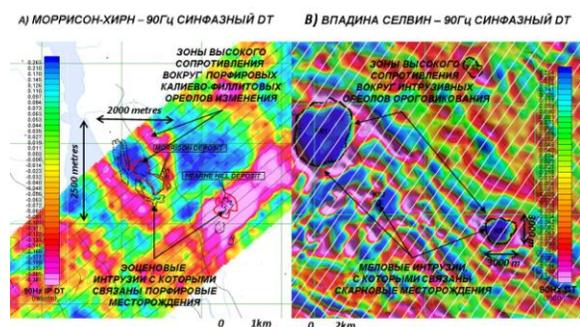


Рис. 10: ZTEM 90Hz DT изображения, показывающие сходство между: А) Признаками медно-порфирового оруденения в Западных Кордильерах и В) Признаками скарнового цинко-свинцового оруденения впадины Селвин

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарим Геологическую службу Юкона и Ken Witherly, Condor Consulting

ЛИТЕРАТУРА

Arehart, G. B., Ressel, M., Carne, R., and Muntean, J., 2013, A Comparison of Carlin-type Deposits in Nevada and Yukon: Society of Economic Geologists, Special Publication 17, 389-401.

Becken, M., and Pedersen, L.B., 2003, Transformation of VLF anomaly maps into apparent resistivity and phase: *Geophysics*, **68**, 497-505.

Carne, R., Phillips, R., and Lane, J., 2013, An explorer's take on the Selwyn Basin ZTEM survey: Presented at Yukon airborne geophysics workshop, Yukon Geoscience Forum 2013, Yukon Chamber of Mines and Yukon Geological Survey, Whitehorse, Canada.

Goodfellow, W.D., 2007, Base metal metallogeny of the

Selwyn Basin, Canada, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, 553-579.

Gordey, S.P. and Makepeace, A.J. (compilers), 1999, Yukon digital geology: Geological Survey of Canada Open File D3826, 1:250,000 scale.

Kirkham, G., Dunning, J., and Schleiss, W., 2012, Update for Don Deposit mineral resource estimate, Howard's Pass property, eastern Yukon: NI 43-101 technical report for Selwyn Resources Ltd., 145 p.

Labson, V. F., A. Becker, H.F. Morrison, and U. Conti, 1985, Geophysical exploration with audio-frequency natural magnetic fields: *Geophysics*, **50**, 656-664.

Legault, J.M., Wilson G., Gribenko A., Zhdanov, M. S., Zhao, S. and Fisk, K., 2012, An overview of the ZTEM and AirMt airborne electromagnetic systems – A case study from the Nebo-Babel Ni-Cu-PGE deposit, West Musgrave, Western Australia: *Preview*, **158**, 26-32.

Legault, J.M., Latrous, A., Zhao, S., Bournas, N., Plastow, G. and O'Donnell, J.J., 2014, Passive airborne EM and magnetic results over SEDEX lead-zinc deposits at Howard's Pass in Selwyn Basin, Yukon, presented at 36TH Annual Convention, Seminar and Exhibition of the Association of Exploration Geophysicists, Hyderabad, India.

Lo, B., and Zang, M., 2008, Numerical modeling of ZTEM (airborne AFMAG) responses to guide exploration strategies, SEG, Expanded Abstracts, 1098-1101.

MacFarlane, K.E., and Nordling, M.G., 2014, Yukon Exploration and Geology Overview 2013: Yukon Geological Survey, Energy, Mines and Resources, 80 p.

Milicevic, B., Laloo, S., Legault, J., and Kumar, H., 2008, Survey report on a helicopter-borne z-axis tipper electromagnetic (ZTEM) and aeromagnetic geophysical survey Selwyn Basin, Yukon, Canada, report (8002) by Geotech Ltd for Exploration Syndicate Inc., in Witherly (2013), 43p.

Moynihan, D., 2013, An introduction to the geology, tectonics and metallogeny of the Selwyn Basin area: Presented at Yukon airborne geophysics workshop, Yukon Geoscience Forum 2013, Yukon Chamber of Mines and Yukon Geological Survey, Whitehorse, Canada.

Sattel, D., Witherly, K., and Becken M., 2010, A brief analysis of ZTEM data from the Forrestania test site, WA: 21ST International Geophysical Conference and Exhibition, ASEG, Extended Abstracts, 4 p.

Региональная аэроэлектроразведка и аэромагнитная съемка впадины Селвин – Оценка перспективности

Witherly, K., 2013, Report on processing of ZTEM magnetic and EM surveys, Selwyn basin area, Yukon, Canada: Yukon Geological Survey miscellaneous report MR-9, 49p.

Witherly, K., 2014, Regional airborne geophysical assessment of the Selwyn Basin area, Yukon-NWT: Presented at PDAC Prospectors and Developers Convention, Geophysics Session, Toronto, Canada.

Witherly, K., and Sattel, D., 2012, The application of ZTEM to porphyry copper-gold exploration, 22ND International Geophysical Conference & Exhibition, ASEG, Extended abstracts, 4 p.