

УДК 553.2

**ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИОННОГО СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРИМЕРЕ РУДНЫХ ТЕЛ ШАНУЧСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.****Распопин М.С.<sup>1,2</sup>, Викулин А.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ЗАО НПК «Геотехнология», г. Петропавловск-Камчатский, Россия<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН г.

Петропавловск-Камчатский, 683006, Россия. Appolon41@mail.ru

**Введение**

Шанучское рудное поле расположено в узлах северного окончания Срединного выступа метаморфических пород в западной части Хим-Кирганинской рудной зоны. Металлогеническая специализация рудной зоны определяется известными в её пределах медно-никелевыми, золото-медными, медно-полиметаллическими месторождениями и проявлениями, рудоконтролирующим для которых является глубинный субширотный Ичинский разлом. Рудное поле выделено в результате выявления в междуречье Шануч-Ича медно-никелевого месторождения Шануч, а также открытия ряда проявлений медно-никелевого и графитового оруденения и перспективных геофизических аномалий к востоку от указанного месторождения [3].

Первые сведения о геологическом строении района были получены при маршрутных исследованиях К.И. Богдановича (1897–98 гг.), Н.И. Плахуты (1934 г.) и А.В. Щербакова (1934–1935 гг.). Данные, полученные этими исследователями в настоящее время представляют чисто исторический интерес.

Шанучское месторождение было выявлено геологом Б.И. Слядневым в 1971 г. при геологической съемке масштаба 1:50000. Залежь сульфидных медно-никелевых руд этого месторождения была вскрыта канавами по редкой сети и затем подтверждена анализами взятых проб. Максимальное содержание полезных компонентов в рудах оказалось: 9–10 % никеля и меди, около 0,5 % кобальта.

В 1972 г. в соответствии с геологическими отчетами компании «Геотехнология» на месторождении Шануч начали проводиться как поисковые работы с бурением мелких скважин, так и в незначительном объеме, геофизические исследования, которые включали наземную магнитную съемку и электроразведку методом переходных процессов. В 1975–1976 гг. в районе месторождения проводились детальные поисковые работы силами Центрально-Камчатской ГРЭ. Наземными геофизическими исследованиями (магниторазведка, электроразведка методами ВП, ЕП, МПП, МТЗ) в пределах рудного поля, занимающего всю территорию горного массива Верхняя Тхонжа, был выявлен ряд комплексных геофизических аномалий, которые также рассматривались в качестве прямых поисковых признаков присутствия рудоносных объектов. В 2005 г. на месторождении Шануч начата добыча рудных тел с последующим доизучением рудопроявлений на участках «Графитовое», «Геофизическое» и «Гранитное».

ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИОННОГО СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРИМЕРЕ РУДНЫХ ТЕЛ ШАНУЧСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.

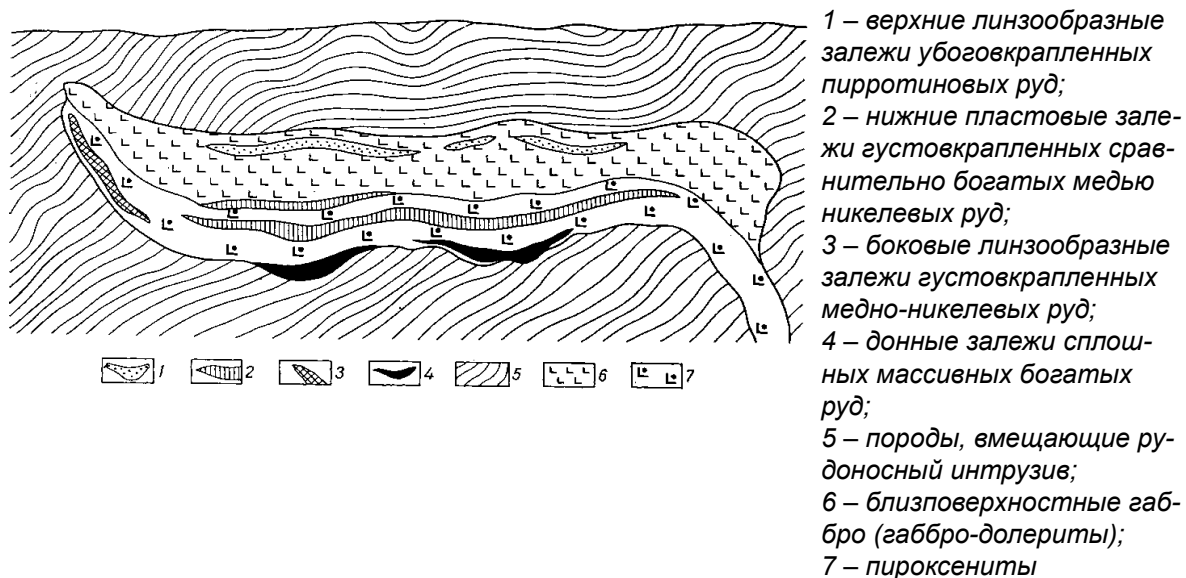


Рис. 1 Схема размещения залежей медно-никелевых руд магматического происхождения в рудоносном интрузиве [1].

**Модель образования магматического месторождения сульфидных медно-никелевых руд**

Месторождения сульфидных медно-никелевых руд, согласно общепринятой схемы [1], приурочены, как правило, к лополитоподобным или плитообразным массивам габброидов, которые в свою очередь связаны с зонами глубинных разломов. Во время формирования месторождения по глубинному разлому поступал, внедряясь во вмещающие породы, первично-рудоносный расплав, который содержал сернистые соединения металлов. В последующем происходила ликвация (разделение) остывающего расплава на две не смешивающиеся жидкости – силикатную и сульфидную. Образовавшиеся в результате ликвации магмы сульфидный и силикатный расплавы в дальнейшем кристаллизовались независимо друг от друга. При отвердевании силикатного расплава образовывались магматические породы габбро-перидотитового состава, а при кристаллизации сульфидного расплава возникли залежи сульфидных руд. Такие залежи концентрировались близ донной части чашеобразных массивов родственных им магматических пород, проникая в виде секущих рудных тел, как в верхние части массивов, так и в подстилающие их осадочные породы (рис. 1).

Наиболее характерны сульфидные медно-никелевые ликвационные месторождения. Главными составляющими руд этих месторождений являются пирротин, пентландит и халькопирит.

**Обзор данных о магматических сульфидных медно-никелевых месторождениях**

Наиболее крупные ликвационные магматические месторождения сульфидных медно-никелевых руд известны на Кольском полуострове (Печенег, Аллареченское, Монча), в Красноярском крае (Талнах, Октябрьское, Норильск 1) в России, и за рубежом – в Финляндии (Пори), Швеции (Клева), Канаде (Садбери, Томпсон), США (Стиллуотер), ЮАР (Бувшвелд, Инсизва) и Австралии (Камбалда).

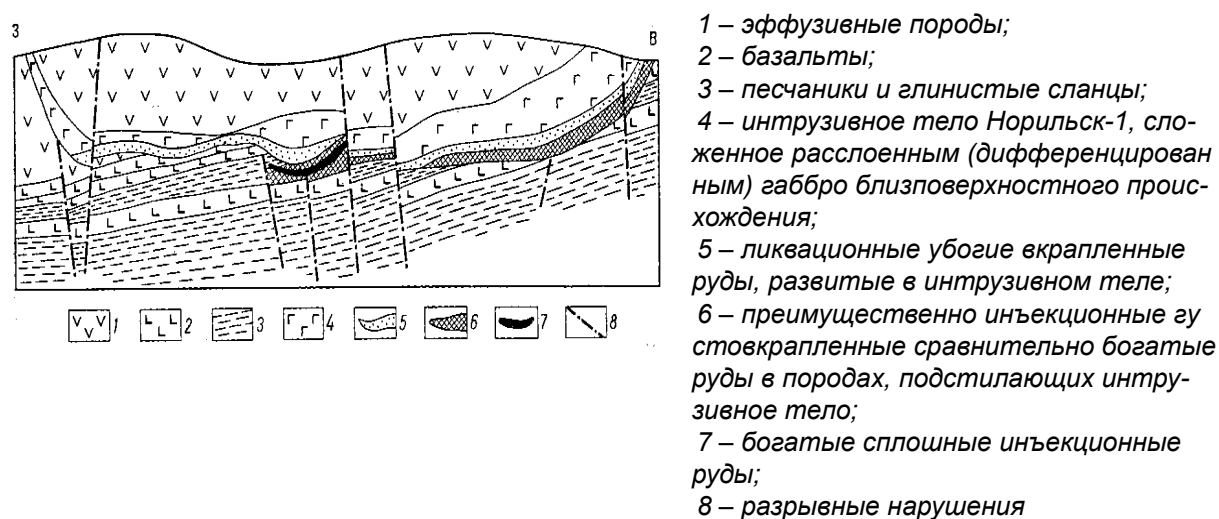


Рис. 2. Упрощенный разрез медно-никелевого месторождения Норильск-1 [5].

В мезозойскую эпоху рудообразования образовались крупные месторождения сульфидных медно-никелевых руд в Норильском районе (Талнах, Октябрьское, Норильск-1). Месторождения приурочены к зоне глубинного разлома близмеридионального простирания, находящийся на северо-западной оконечности Северо-Азиатского кратона [5]. Согласно традиционным представлениям советских авторов монографии, этот тип оруденения всегда тесно связан с тектоническими режимами, обеспечивающими формирование мощных внутрикратонных эпиплатформенных вулcano-плутонических систем, которые определены как рифтогенные.

Сульфидное медно-никелевое оруденение на месторождении Норильск-1 расположено в пределах обширного Норильского рудного района, приуроченного к сочленению Сибирской платформы и Енисейской зоны складчатости. Месторождение сформировалось в подошве интрузивного тела, сложенного габбро-диабазами, застывшими вблизи поверхности. Это интрузивное тело по форме напоминает корытообразную залежь с крутыми бортами (рис. 2).

Интрузивное тело, пересекая в очень косом направлении пологозалегающие слои различных эффузивных и осадочных пород внедрялось в вышележащие горизонты. При внедрении тело расслоилось на полосы различного состава. Некоторые из них включали рудный расплав сульфидов железа, меди и никеля, закристаллизовавшийся позднее силикатного расплава. Образовалось несколько таких слоев рудного расплава, давших начало формированию расположенным друг над другом (подобие слоеного пирога) горизонтам вкрапленных ликвационных руд.

Примером тектоно-магматической модели образования сульфидного месторождения, возникшего путем глубинной ликвации и инъекции, является Талнахское месторождение, приуроченное к северо-западному окончанию Сибирской платформы. В тектоническом плане район месторождения принадлежит краевой юго-западной части Хараелахской трапповой мульды на месте ее пересечения с зоной Норильско-Хараелахского разлома. На Талнахском месторождении рудоносный расплав образовался ликвационным путем на глубине, в пределах гипотетического магматического очага [1]. Интрузив проник в днище пологой синклинали складки, в результате чего этот участок складки оказался тектонически нарушенным. В дальнейшем в разрывы, возникшие на границе подошвы тела габбро и

ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИОННОГО СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРИМЕРЕ РУДНЫХ ТЕЛ ШАНУЧСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.

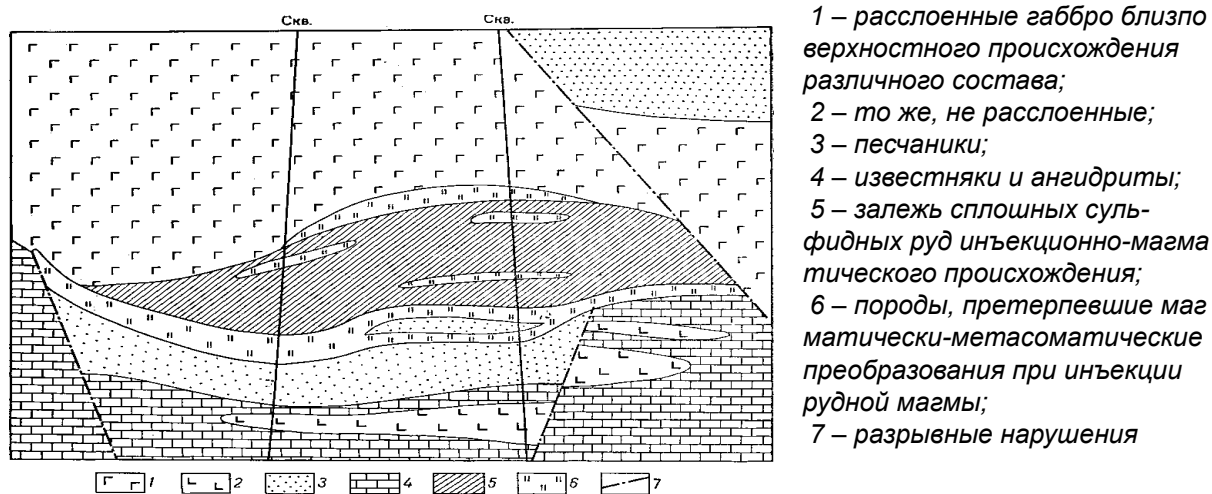


Рис. 3. Разрез медно-никелевых инъекционных руд месторождения Талнах [1].

подстилающих его песчаников, внедрился рудоносный расплав. Раскристаллизовавшись, расплав образовал залежь сплошных сульфидных руд (рис. 3).

Докембрийская эпоха является главной в формировании сульфидных медно-никелевых руд. В это время сформировалась преобладающая часть запасов Канады. Месторождения района Садбери (провинция Онтарио, Канада) – крупнейшее в мире по запасам сульфидных руд. За более чем 100 лет эксплуатации на нем добыто более 7 млн т. никеля, 4,2 млн т меди, 207 тыс т. кобальта, 620 т. металлов группы платины, 400 т. золота, 250 т. серебра. Запасы металлов по настоящее время не исчерпаны и составляют примерно 5,6 млн т. никеля, 170 тыс т. Кобальта и 4,03 тыс т. меди.

Месторождения приурочены к протерозойскому лополитоподобному интрузиву Садбери, имеющему вид эллиптического кольца толщиной до 0,6 км [5]. Длина массива 60 км, ширина 27 км. Многочисленные медно-никелевые месторождения приурочены к внешнему контакту интрузива. Одно из крупнейших в мире тело сульфидных руд месторождения Фруд приурочено к дайкообразному массиву кварцевых диоритов. Длина рудного тела 3 км, мощность 45–120 м, а на глубине оно прослежено до 1200 м. Руды вкрапленные, брекчиевые, массивные; сложены пирротинном, пентландитом, халькопиритом, кубанитом. Рудные залежи имеют пласто-, жиллообразную и линзовидную формы (рис. 4).

### Механизм образования ликвационно-инъекционного месторождения сульфидных руд месторождения «Шануч»

Как можно видеть из приведенных выше данных, на некоторых месторождениях, таких как Талнахское месторождение (рис. 3), сложная история формирования медно-никелевых руд заканчивается инъекцией сульфидного расплава в образующиеся разрывные нарушения. В результате возникает другой тип месторождений – ликвационно-инъекционного происхождения.

В общем виде инъекция представляет собой проникновение по разрывным нарушениям рудных расплавов (а в некоторых случаях возникающих из них растворов) в вышележащие горизонты. Образовавшиеся при этом рудные тела приобретают преимущественно

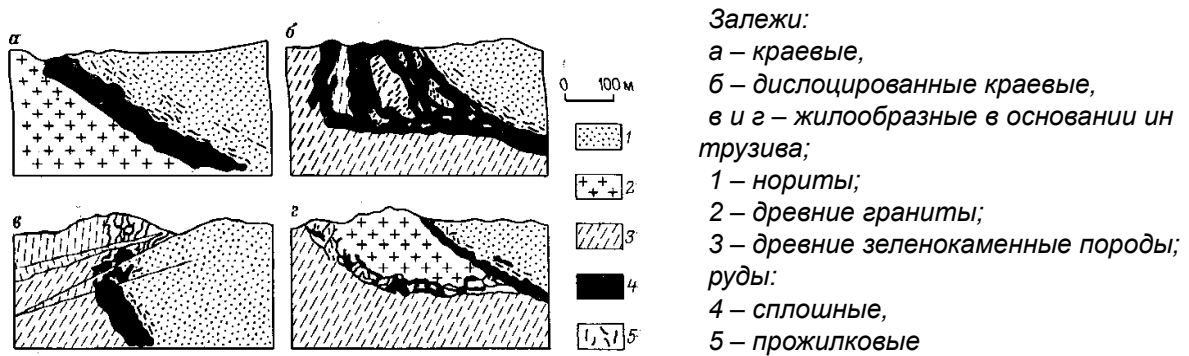


Рис. 4. Типы разрезов рудных тел у окраины интрузива Садбери [5].

плитообразную форму, но контакт их с вмещающими породами различен. В одних случаях контакты резкие, что свидетельствует о заполнении рудной массой разрывов, возникших в остывшей горной породе. В других случаях контакты оказываются нечеткими, расплывчатыми. Это указывает на внедрение рудной массы в еще пластичные, не застывшие породы. В этих условиях рудный расплав частью перемешивался с оставшимися полужидкими, вязкими компонентами породы и частично проникал в нее [1].

Выявленные в результате специализированных исследований особенности вещественного состава и условия локализации, сульфидных руд месторождения Шануч позволяет предположить наиболее вероятную последовательность развития рудообразующих процессов на этом главном рудоносном объекте Шанучского рудного поля [3, 4].

Месторождение Шануч сформировалось в Кайнозойский этап образования медно-никелевых месторождений Камчатки и приурочено к обрамлению Камчатского срединного массива. Предполагается, что никеленосные пояса Камчатки являются результатом нескольких субдукций океанической плиты под континентальную [7].

Рудные тела на месторождении Шануч являются крутопалающими, сложно построен-

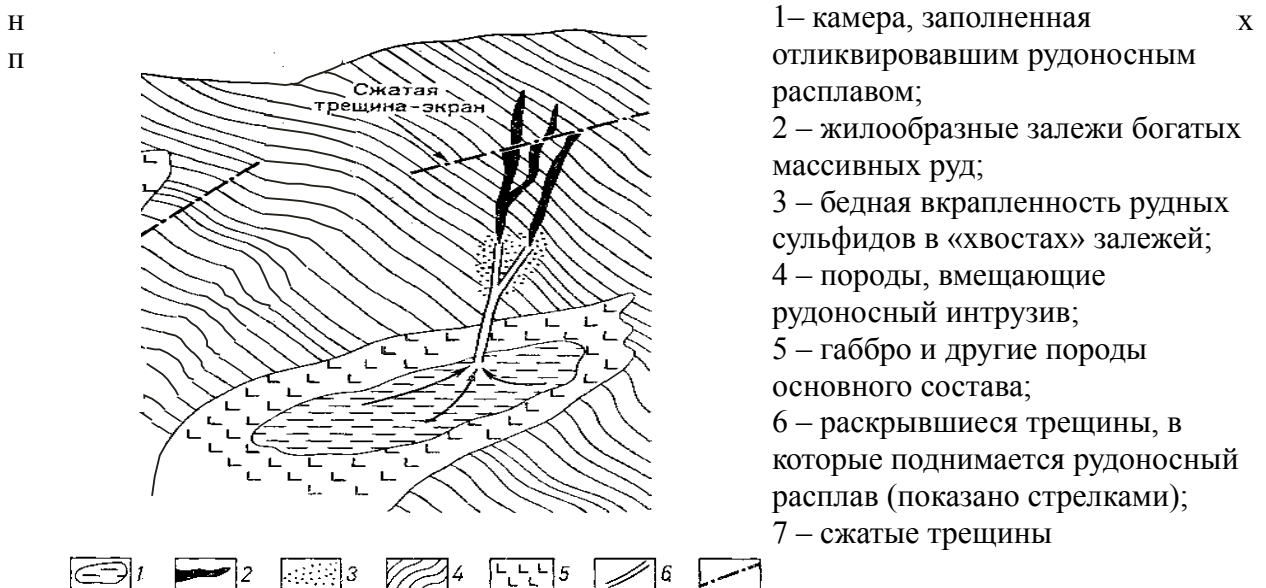


Рис 5. Примерная схема образования инъекционных руд Шанучского месторождения [1].

## ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИОННОГО СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРИМЕРЕ РУДНЫХ Тел ШАНУЧСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.

Центральная часть рудных тел выполнена массивной халькопирит-пентландит-пирротиновой рудой, имеющей магматическое происхождение. В целом рудная залежь представляет собой трубообразное тело неправильного линзовидного сечения. Схожие черты рудных тел можно наблюдать на месторождениях района Садбери в Канаде (рис. 4 в, г). Отмечаемая закрученность и сплюснутость обломков пород в массивных и брекчиевидных рудах Шанучского месторождения указывают на то, что рудообразующий сульфидно-силикатный расплав внедрялся в еще пластичные магматические вмещающие породы (магматическая стадия). Массивные руды на месторождении Шануч к периферии переходят в прожилково-брекчиевидные руды халькопирит-виоларит-пирротинового состава, состоящие из перемежающихся флюктуационных полос силикатного и сульфидного материала. Прожилково-брекчиевидные руды к периферии сменяются прожилково-вкрапленными и вкрапленными халькопирит-пиритовыми и существенно пиритовыми рудами гидротермального генезиса [7, 8].

На Шанучском месторождении отделение сульфидного расплава от силикатного происходило, по-видимому, непосредственно после внедрения сульфидно-силикатной магмы во вмещающие породы. Этот процесс происходил в условиях тектонического сжатия. В связи с этим объемы интродуцированного сульфидного расплава были ограничены. При инъекции пластичного сульфидного расплава в полупластичные вмещающие магматические породы происходило смятие и обкатывание обломков этих пород, развитие полосчатости. Образовавшиеся системы параллельных рудоподводящим каналам трещин явились ареной деятельности постмагматических гидротермальных, насыщенных серой, растворов (тектоническая стадия).

По мнению предшественников, изучающих с 1970–х гг. данный объект, месторождение «Шануч» можно рассматривать как эталонное месторождение инъекционно-метасоматических сульфидных медно-никелевых руд [2].

### Геофизическая характеристика сульфидных медно-никелевых рудных тел Шанучского рудного поля

Последовательное геофизическое изучение Шанучского рудного поля ЗАО НПК «Геотехнология» осуществляет непрерывно начиная с 2003 г. Анализ результатов выполненных

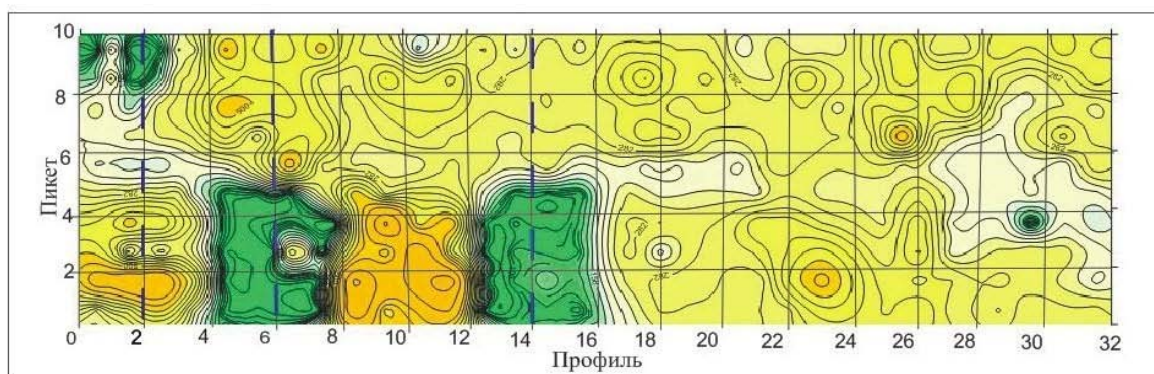


Рис 6. Карта изолиний кажущегося сопротивления при времени регистрации сигнала продолжительностью 4 мс для участка «Гранитный». Расстояние между профилями – 200 м. Расстояние между пикетами – 200 м.

работ проведенных на участках «ручей Ралли», «Геофизический» и «Гранитный» показал, что тела Шанучского месторождения и рудного поля, в целом, проявляются контрастными аномалиями в магнитных и электрических полях.

Основным по информативности методом геофизического комплекса работ является электроразведка МПП, вследствие ее высокой глубинности и производительности. Основной задачей метода является выделение в пределах изучаемой площади низкоомных аномалий, связанных с залежами сульфидных руд.

Построения электроразведки методом МПП в пределах участка «Гранитный», полученные сотрудниками компании «Геотехнология» в 2006 – 2007 гг, представлены картой кажущегося сопротивления на рис. 6.

Проведенный автором анализ карт изолиний кажущегося сопротивления, построенных для разных интервалов времени регистрации сигнала (1, 2 и 4 мс), позволяет проследить изменение геоэлектрических параметров горных пород с глубиной. Интервалам времен регистрации 1 мс, 2 мс и 4 мс соответствуют глубинам 100–150, 200–250 и 350–450 м.

Из данных, приведенных на рис. 6 видно, что на западной половине участка (в левой части рисунка) отчетливо выделяются три аномалии низкого сопротивления, ограниченные высокоградиентными зонами и имеющие характерную контрастную «рудную» морфологию. Наибольший интерес для дальнейшего изучения представляет аномалия с центром на профиле 6, так как она полностью оконтурена и характеризуется минимальными значениями сопротивления. Аномалия на профиле 14 имеет меньшую амплитуду и с юга (нижняя часть рисунка) не оконтурена. На западном углу участка, по профилю 2, выделяется третья глубинная аномалия, неоконтуренная с трех сторон. Эта третья аномалия по своей информативности является наиболее полной. Однако она расположена глубже и выделяется почти на пределе возможностей применявшейся методики. Вопрос требует своего решения в дальнейшем.

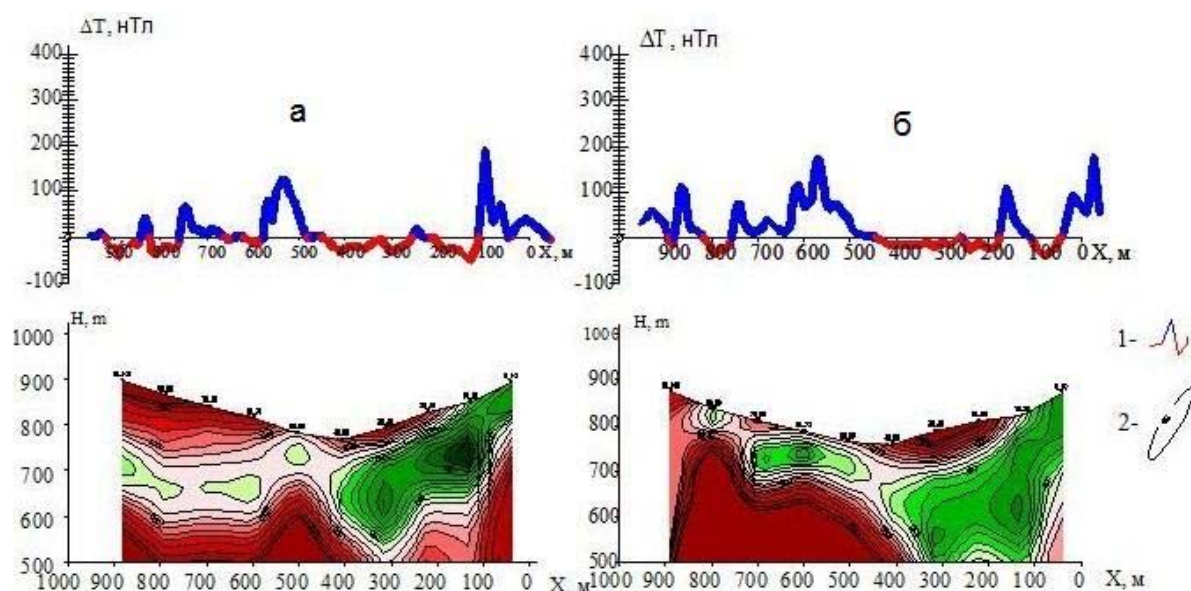


Рис. 7. а, б геоэлектрические разрезы МПП, построенные с разномом 100 м друг от друга для участка «Медвежий». 1 – график изменения магнитной восприимчивости пород  $\Delta T_a$ ; 2 – изолинии кажущегося сопротивления.

## ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИКВАЦИОННОГО СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРИМЕРЕ РУДНЫХ Тел ШАНУЧСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.

Наглядным примером выделения сульфидных руд по магнитным и электрическим данным в совокупности могут являться геоэлектрические разрезы, и графики магнитной восприимчивости, полученные с участием автора на участке «Медвежий» во время полевых работ 2007–2008 гг. Геоэлектрические разрезы позволяют оценить изменение сопротивления пород по вертикали и оконтурить области пониженных значений сопротивления для зон с сульфидной минерализацией. Графики магнитной восприимчивости отражают области распространения горных пород, различающихся по магнитным характеристикам. Два разреза, построенные по профилям с разносом 100 м друг от друга, приведены на рис. 7 а, б.

Данные на рис. 7 показывают, что аномально высокие значения магнитного поля (график  $\Delta T_a$ ) свидетельствуют о наличии руд, содержащих магнитные элементы – медно-никелевые руды, в состав которых входит ферромагнитный минерал – пиротин. Высоко проводящие сульфидные руды, находят свое отражение в магнитном поле. Зонам пониженного электрического сопротивления соответствуют зоны повышенной магнитной восприимчивости.

### Заключение

В данной статье проведен обзор крупных месторождений России и Мира и кратко рассмотрена тектоно-магматическая модель образования сульфидного медно-никелевого месторождения Шануч. Приведенные автором данные позволяют выделить как общие черты, так и отличия в условиях формирования этих месторождений.

Общим моментом является то, что преобладающая масса сульфидных медно-никелевых месторождений сформировалась на стадии активизации древних платформ в связи с трапповым магматизмом. Общей чертой является и приуроченность рассмотренных месторождений к лополитоподобным интрузивам, которые в свою очередь связаны с зонами глубинных разломов. Месторождения сульфидных медно-никелевых руд, которые сосредоточены в зонах глубинных разломов на древних щитах и платформах имеют, в основном, пластообразную форму рудных тел (Норильск-1, Талнахское). Месторождения, возникшие на краях активизированных платформ, (месторождения района Садбери, Шануч) имеют более сложную форму рудных залежей. Вполне возможно, что общие черты рудных тел этих двух месторождений определялись схожими геолого-тектоническими условиями расположения месторождений вблизи зон коллизии, которые существовали в период их зарождения, образования и формирования.

Отличительными чертами рассмотренных месторождений являются времена их образования, геолого-тектонические обстановки в районах месторождений, пространственное расположение рудных тел во вмещающих породах и их размеры.

Данные геофизических исследований, описанные в работе на примере Шанучского рудного поля, показывают высокую эффективность электроразведки и магнитной съемки при нахождении сульфидных медно-никелевых руд. Построенные по ним карты изолиний кажущегося сопротивления и геоэлектрические разрезы в совокупности с графиками изменения магнитной восприимчивости, позволяют достаточно определенно выделять сульфидные руды, как на больших глубинах, так и в обнажениях.

Авторы признательны А.С. Гумовскому, О.Б. Селянину и И.В. Мелекесцеву за обсуждение работы и ценные доброжелательные советы.



### Список литературы

1. *Вольфсон Ф.И., Некрасов Е.М.* Основы образования рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 223 с.
2. *Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А.* Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
3. *Селянгин О.Б.* Петрология никеленосных базитов Шанучского рудного поля // Вестник КАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2003. № 2. С. 33–35.
4. *Селянгин О.Б.* Новые данные о строении и эволюции никеленосного интрузива Кувалорог, южная Камчатка // Вестник КАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 111–126.
5. *Смирнов В.И., Гинзбург А.И.* Курс рудных месторождений. М.: Недра, 1986. 360 с.
6. *Степанов В.А.* Медно- никелевые месторождения Востока Азии // Вестник КАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. 13. С. 111–126.
7. Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonides // Geol. Surv. Finland, 1985. Bull. 333, Espoo. 394p