

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»**

---

24-25 апреля 2017 года

**ПОЛЕВАЯ ГЕОФИЗИКА**

УДК. 550.8.053:550.837.311:551.311.231:551.435.132

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНО-ЭЛЮВИАЛЬНЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ РУСЛА Р. МЕЛЬКОВКА В ЕКАТЕРИНБУРГЕ**

Банникова П. А.  
Научный руководитель Кузин А. В., доцент, к.г.-м.н.  
Уральский государственный горный университет

Участок работ был изучен трехэлектродными ВЭЗ: один питающий электрод уносился в бесконечность на 500 м, максимальный разнос второго питающего электрода достигал 90 м. Размер приемной линии 10 м. Расстояния между точками 10 м. Всего снято 18 кривых на одном субширотном профиле вкрест древнего русла Мельковки. Зондирования проводились со льда через лунки. Толщина льда составляла 0,7 м, слой воды Городского пруда – 2-4 м.

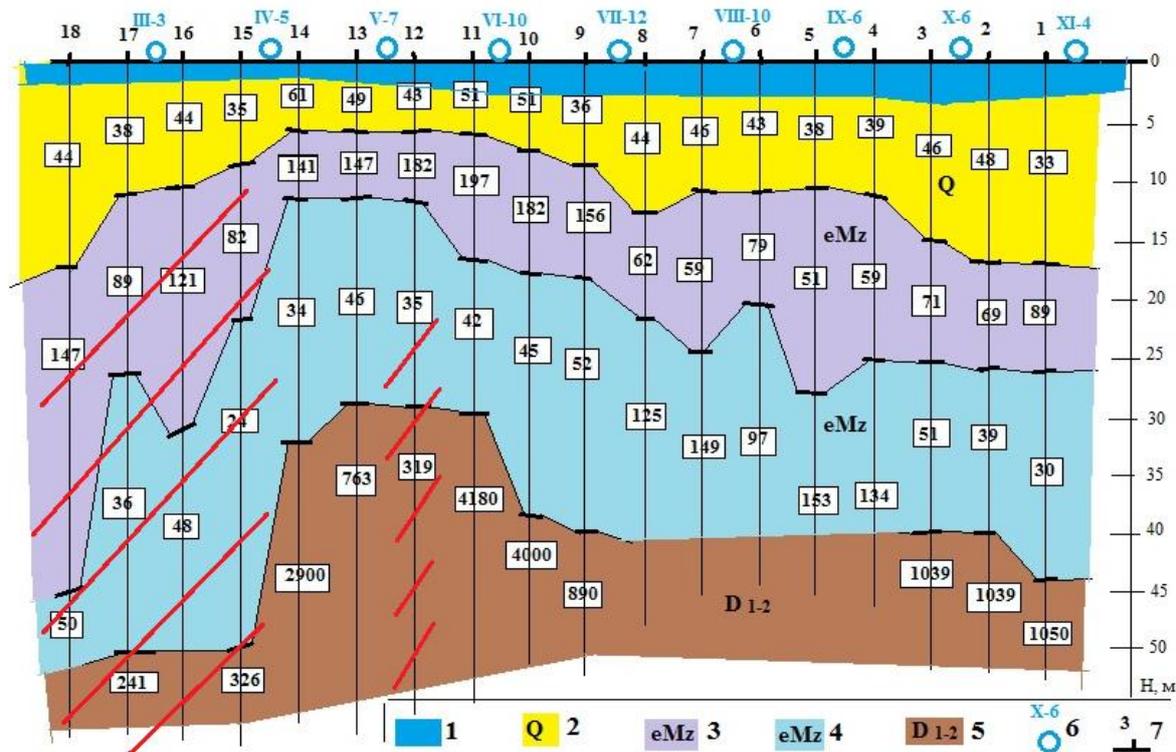
Магнитное поле снято протонным магнитометром с шагом съемки 10 м. Из-за промышленных помех среднеквадратичная погрешность съемки по пяти последовательным замерам составляла  $\pm(10 - 30)$  нТл. Изменение аномального поля составило 200-300 нТл, однако его геологическое истолкование затруднено из-за присутствия техногенных помех.

На геоэлектрическом разрезе приведено положение четырех геоэлектрических слоёв. Верхний слой имеет мощность 7-16 м, характеризуется значениями УЭС порядка 33-61 Ом.м. Он представлен толщей воды пруда, метровым слоем ила, аллювиально-делювиальными суглинками древней долины Мельковки. Более детальное расчленение указанных выше литологических разностей при длине приемной линии 10 м невозможно [2]. Слой аллювия был в XIX подвергнут старательской разработке как объект, содержащий россыпное золото. По данным А. П. Сигова [5], слой аллювия третьей надпойменной террасы р. Исеть (и Мельковки) располагается в районе городского пруда на абсолютных отметках порядка 235-238 м, то есть, ниже уровня поверхности пруда, но выше дна пруда. Дно устья Мельковки как раз располагается на абсолютной отметке 238 м. Истолкование метода ВЭЗ указывает наличие мощного слоя рыхлых относительно электропроводных отложений. По данным [1], мощность аллювия третьей надпойменной террасы на правом берегу р. Исеть ниже плотины Городского пруда достигает 5-6 м.

Второй от поверхности геоэлектрический слой имеет мощность 6-10 м, в западной части она возрастает до 20-25 м. УЭС его повышенное – 50-190 Ом.м. Такие значения сопротивления могут быть у глинистых кор, образовавшихся при физическом выветривании скальных пород среднего или кислого составов. По данным [3], русло р. Исеть ниже плотины городского пруда, сам пруд и устье р. Мельковка залегают на месте речной долины шириной 200 м, выработанной по 200-метровому слою филлитовых и кварц-углеродистых сланцев, залегающих в субвертикальном положении. При выветривании таких пород кремнекислота высвобождается и формирует в верхней части структурных глин вторичные аморфные минералы кварца: опал, халцедон.

Третий от поверхности слой имеет мощность порядка 20 м, его УЭС пониженное: 24-52 Ом.м. Литологически слой представлен структурными глинами по сланцам.

УЭС сланцев составляет 200-1000 Ом.м. Они состоят их пропластков различного состава (кварц-углеродистые, хлоритовые), являются сильно выветренными. Судя по существенному погружению кровли скальных пород на глубину до 45-50 м в районе ВЭЗ №№ 15-18, здесь можно предполагать наличие тектонического нарушения на месте западного контакта сланцев с хлоритовыми сланцами, образующими мыс на месте слияния Исети и Мельковки. В целом повышенная мощность элювиальных образований объясняется тем, что по данным [4], участок находится в зоне регионального Западно-Свердловского разлома.



1 – слой воды; 2 – нерасчленённая толща слоя илов и аллювиальных отложений; 3 – элювиальный суглинок с присутствием вторичных минералов кварца; 4 – элювиальные глины; 5 – скальный грунт; 6 – некоторые из скважин ручного бурения глубиной 5-7 м; 7 – положение точек ВЭЗ. Штриховкой красного цвета указано предполагаемое положение тектонических нарушений в толще скальных пород

Рисунок 1 – Геоэлектрический разрез длиной 170 м по данным ВЭЗ

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

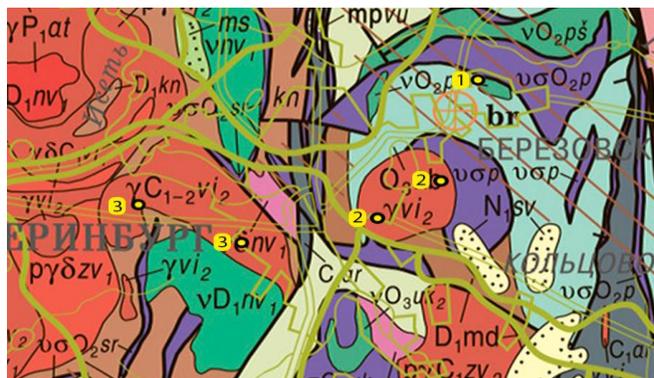
1. Кузин А. В. Рыхлые отложения правобережья р. Исеть в Екатеринбурге // Разведка и охрана недр; №11; 2007. –С. 33-36.
2. Редозубов А. А. Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Учебное пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2007. 328 с.
3. Севергина Н. А. Карта рыхлых отложений г. Свердловска на основе Геологической карты масштаба 1:10000 под ред. Б. И. Кузнецова. 1964.
4. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 124 с.
5. Сигов А. П. Речные террасы восточного склона Среднего Урала // Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 1. Под ред. Я. С. Эдельштейна; И. П. Герасимова. Гостоптехиздат; М.; -Л. 1948.- С.197-214.

## ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА

Ефимов Е. С., Абасали Уулу Э.  
 Научный руководитель: Бельшев Ю. В., доцент, к.г.-м.н.  
 Уральский государственный горный университет

Данная работа посвящена изучению естественной радиоактивности гранитоидных массивов окрестности г. Екатеринбурга, с целью выявления поискового критерия золотоносности пород по содержанию радиоактивных изотопов  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  и  $K^{40}$ . В окрестностях г. Екатеринбурга обнаружено несколько рудопроявлений золота, и одно известное месторождение – Березовское. Большинство рудопроявлений генетически и парагенетически связаны с интрузиями пород кислого состава и зонами их гидротемально-метасоматических изменений.

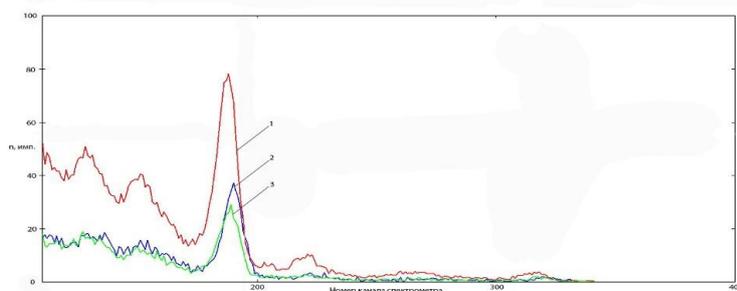
В окрестности г. Екатеринбурга наибольшее распространение имеют: граниты, габбро (также гнейсированные), серпентиниты, талько-карбонатные породы, диориты, кварц - серецитовые сланцы и т.д.[1], рисунок 1.



1 – Березовское месторождение золота; 2 – Шарташский гранитный массив; 3 – Верх-Исетский гранитоидный массив.

Рисунок 1 - Фрагмент геологической карты г. Екатеринбурга с местами отбора образцов для гамма-спектрометрических измерений (по Петрову Г.А., Шалагинову В.В. 2009).

Из указанных на карте мест была собрана коллекция образцов в количестве 10 шт., и в дальнейшем проведены гамма-спектрометрические измерения концентраций радиоактивных элементов  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  и  $K^{40}$ . Измерения выполнялись на установке «Гамма-1С» с детектором гамма-излучения NaI 70x50 мм в установке малого фона (толщина слоя свинцовой защиты 70 мм). На рис. 2 приведены спектры гамма-излучения трех образцов коллекции.



1 – Березит (Березовское месторождение); 2 – Шарташский гранит, 3 – Верх-Исетский гранодиорит.

Рисунок 2 - Энергетические спектры гамма-излучений исследованных образцов. В интервале каналов 170-180 хорошо видна линия гамма-излучения изотопа  $K^{40}$  (энергия 1.46 МэВ).

Обработка спектров и расчет концентраций радиоактивных элементов выполнялись методом спектральных отношений [2]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1- Содержание радиоактивных элементов в образцах коллекции

№ образца	Место отбора	Название породы	Координаты		Содержание радиоактивных элементов		
			Широта (N)	Долгота (E)	K, %	U, г/т	Th, г/т
1	Шарташский массив	Гранит	56°51.413'	60°44.157'	1.667	2.231	9.345
2	Шарташский массив	Гранит	56°51,600'	60°44,765'	1.508	8.606	11.377
3	Шарташский массив	Гранит	56°50,634'	60°42,244'	1.662	4.093	11.558
4	Шарташский массив	Гранит	56°50,629'	60°42,163'	1.901	5.172	13.450
5	Верх-исетский массив (лес)	Гранодиорит	56°48,468'	60°31,578'	1.561	1.968	3.606
6	Верх-исетский массив(радуга парк)	Гранит	56°48,936'	60°32,360'	1.306	3.506	11.356
7	Верх-исетский массив	Пегматитовый гранит	56°49,913'	60°27,977'	1.757	3.725	5.413
8	Верх-исетский массив	Гранодиорит	56°50,055'	60°29,076'	1.726	1.799	7.536
9	Березовское месторождение	Лиственит	56°55,930'	60°47,788'	0.500	0.013	0.397
10	Березовское месторождение	Березит	56°55,930'	60°47,788'	3.523	17.987	24.367

Основные выводы по результатам измерений:

1. Содержание урана, тория и калия в гранитах шарташского массива являются типичными для этих пород [2], и не свидетельствуют о вторичных процессах изменения минерального состава (при вносе-выносе элементов).

2. Верх-Исетские гранитоиды в силу большой неоднородности состава имеют широкий диапазон изменения концентраций U238, Th232 и K40. Некоторые образцы по концентрациям урана и тория соответствуют породам среднего состава.

3. Образцы с березовского месторождения сильно дифференцированы по радиоактивности. Березиты характеризуются концентрациями ЕРЭ примерно в 1.5-2 раза выше, чем в шарташских гранитах. Именно с ними связана золотоносность пород месторождения, и поэтому данный факт предлагается использовать как прогнозный критерий на золото. Второй образец является сильно измененным нерудным лиственитом, в котором концентрации ЕРЭ типичны для пород ультраосновного состава, т.е. очень низкие.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В. Н. Сазонов, В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов и др.; М-во общ. и проф. образования РФ. Ур. гос. горно-геол. акад. - Екатеринбург : УГГГА, 1997. - 225 с.: ил.; 28 см.; ISBN 5-8019-0001-2
2. Возжеников Г.С., Бельшев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика: 4-ое издание, исправл., доп. / Г.С.Возжеников, Ю.В. Бельшев; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 418 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОРИСТОСТИ И НЕФТЕГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНТЕРВАЛАХ АЛЛОХТОННОЙ И АВТОХТОННОЙ ЧАСТЕЙ В РАЗРЕЗЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ А КОМПЛЕКСОМ ГИС

Ширяева Е. Г.

Научный руководитель Блинкова Н. В., к.г.-м.н., доцент  
Уральский государственный горный университет

Параметрическая скважина А (глубина 5200 м) позволяет решить ряд задач по геологическому изучению перспектив нефтегазонасыщенности зоны тектонического сочленения Русской платформы и Уральской складчатой системы в центральной части Нижне-Сергинского нефтегазоперспективного района на основе комплексной параметрической характеристики разреза аллохтонных (15-3597 м) и автохтонных (3597-5200 м) комплексов пород.[1]

Проведена комплексная интерпретация ГИС с учетом результатов лабораторно-аналитических исследований керна и испытания перспективных на получение углеводородов объектов. Комплексная интерпретация данных ГИС с учетом петрофизических исследований керна и результатов испытания в эксплуатационной колонне проводилась с целью уточнения эффективных мощностей пластов-коллекторов, их емкостно-фильтрационных свойств и уточнения характера насыщения.

По результатам испытаний объектов и петрофизических исследований образцов керна устанавливались количественные критерии — величины фильтрационно-емкостных свойств пород, характеризующие границу «коллектор-неколлектор», уточнялись литология и тип коллектора (поровый, трещинный, каверновый, смешанный).

Значительный объем керна, отобранного в процессе бурения, проведенные петрофизические исследования и испытание объектов с интенсификацией притока в колонне позволили провести комплексную интерпретацию геолого-геофизических материалов: уточнить модели интерпретации, использовать петрофизическое обоснование, установить количественные критерии выделения коллекторов и оценить величины эффективных мощностей коллекторов ( $N_{эф}$ ), открытой пористости ( $K_{по}$ ) и коэффициента нефтегазонасыщенности ( $K_{нг}$ ).

Выделение коллекторов по количественным критериям основано на следующих предпосылках: граница между коллекторами и неколлекторами характеризуется нижними граничными значениями проницаемости ( $K_{пр\ гр\ ан}$ ) и пористости ( $K_{п\ гр\ ан}$ ). Граничные значения устанавливались по результатам статистической обработки петрофизических исследований керна, в том числе методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) и по результатам испытаний.

Полученные петрофизические зависимости позволили определить ряд важных критериев (граничных значений физических параметров) для обоснования выводов о принадлежности изучаемых пород по имеющимся петрофизическим характеристикам к коллекторам и флюидоупорам. Для установления граничного значения открытой пористости было проведено сопоставление величин открытой пористости и проницаемости отдельно для карбонатов и песчаников. Поскольку коллекторы в исследуемой части разреза трещинные или смешанные, определить граничное значение открытой пористости «коллектор-неколлектор» не представляется возможным. Разделение пластов по коллекторским свойствам и характеру насыщения проводилось по граничным значениям эффективной пористости и результатам испытаний как в открытом стволе, так и в эксплуатационной колонне.

При переинтерпретации ГИС с учетом результатов исследований керна и испытаний определение пористости пород, параметра пористости ( $P_{п}$ ), параметра насыщения ( $P_{н}$ ), коэффициента нефтегазонасыщенности ( $K_{нг}$ ) проводилось с использованием корреляционных уравнений, установленных для каждого петротипа в интервалах отбора керна в скважине А в аллохтонной и автохтонной частях разреза. Статистическая обработка данных проводилась в программе *STATISTICA*. Уравнения корреляционной связи между объемной плотностью и

открытой пористостью для карбонатов нижнепермских-девонских отложений и для песчаников аллахтонной и автохтонной частях разреза:

$$K_{по\ дол} = (2.825 - ГГКП)/0.03, \quad (1.1)$$

$$K_{по\ изв} = (2.7375 - ГГКП)/0.069, \quad (1.2)$$

$$K_{по\ тер\ алл} = (2.72 - ГГКП)/0.06, \quad (1.3)$$

$$K_{по\ тер\ авт} = (2.76 - ГГКП)/0.1, \quad (1.4)$$

где  $K_{по\ дол}$  – зависимость открытой пористости от объемной плотности для доломитов «кern-кern»,  $K_{по\ изв}$  - зависимость открытой пористости от объемной плотности для известняков «кern-кern»,  $K_{по\ тер\ алл}$  - зависимость открытой пористости от объемной плотности для терригенных пород (алевролиты, песчаники, алевропесчаники) аллахтонной части «кern-кern»,  $K_{по\ тер\ авт}$  - зависимость открытой пористости от объемной плотности для терригенных пород (алевролиты, песчаники, алевропесчаники) автохтонной части «кern-кern».

Уравнение корреляционной связи между открытой пористостью и интервальным временем прихода Р-волны (ДТР) для различных петротипов (доломитов, известняков, песчаников) в надвиговой и поднадвиговой частях разреза:

$$K_{по\ дол\ алл} = 0.083 * ДТР - 11.25, \quad (2.1)$$

$$K_{по\ изв\ алл} = 0.0521 * ДТР - 7.669, \quad (2.2)$$

$$K_{по\ тер\ алл} = 0.0433 * ДТР - 6.933, \quad (2.3)$$

где  $K_{по\ дол\ алл}$ ,  $K_{по\ изв\ алл}$ ,  $K_{по\ тер\ алл}$  – зависимость открытой пористости от ДТР для карбонатных и терригенных пород аллахтонной части разреза «кern-кern».

$$K_{по\ дол\ авт} = 0.065 * ДТР - 9.05, \quad (3.1)$$

$$K_{по\ изв\ авт} = 0.0367 * ДТР - 5.5, \quad (3.2)$$

$$K_{по\ тер\ авт} = 0.0357 * ДТР - 5.89, \quad (3.3)$$

где  $K_{по\ дол\ авт}$ ,  $K_{по\ изв\ авт}$ ,  $K_{по\ тер\ авт}$  – зависимость открытой пористости от ДТР для карбонатных и терригенных пород автохтонной части разреза «кern-кern».

Выводы: Основная часть коллекторов сосредоточена в аллахтонной части разреза, в которой тектоническая составляющая горного давления отсутствует или незначительна, что ведет к сохранению раскрытости вертикальных трещин. По результатам комплексной интерпретации ГИС с учетом данных исследований керна и опробования пласты в интервале 1885-1908.8 м, характеризующиеся высокими значениями УЭС по данным БК (до 5000 Ом),  $K_{по}$  от 4.0 до 7.8 %,  $K_{нг}$  от 82 до 93 %, являются газонасыщенными коллекторами.

Ряд интервалов в автохтоне по комплексу геофизической и геологической информации имеют признаки трещиноватости. Поэтому возможность получения пластового флюида из ряда объектов оценивалась достаточно высоко. Однако в автохтонной части разреза по результатам опробования в открытом стволе и испытаний в колонне лишь в одном случае (интервал 4278-4302 м) был получен незначительный приток газа углеводородного состава. По результатам комплексной интерпретации ГИС с учетом данных исследований керна и результатов испытаний в колонне в интервалах 4278-4302 м УЭС по данным БК меняется от 350 до 1050 Ом,  $K_{п}$  от 4.0 до 5.8 %, коэффициент газонасыщенности составляет 78-92 %. Пласты – газонасыщенные коллекторы. В целом это свидетельствует о том, что в конкретных геологических условиях поровые коллекторы, а также породы с открытой системой вертикальных трещин практически отсутствуют.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АО «НПЦ «Недра», Отчет, 2012 год.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Исаков А. Ю.

Научный руководитель Болотнова Л. А.

Уральский государственный горный университет

В современном мире есть три вида прогноза землетрясений: долгосрочный, среднесрочный и **краткосрочный**. Долгосрочные и среднесрочные (десятилетия и годы) – позволяют гораздо вероятнее определить время, силу и кол-во толчков (в последнее время были достигнуты определенные достижения в этих прогнозах). Краткосрочные – прогноз с заблаговременностью в несколько часов или суток.

Краткосрочное прогнозирование, наиболее важное для предупреждения населения, в настоящее время практически не развито. Попытки решить проблему краткосрочного прогноза землетрясений уже давно предпринимаются учеными многих стран. В общественном сознании прогноз землетрясений ассоциируется именно с краткосрочным прогнозом, т. е. 1–3 дня по аналогии с прогнозом погоды. Традиционно принято считать, что землетрясения возникают за счет тектонических напряжений, которые обусловлены дрейфом тектонических плит, образованием трещины, а также физикохимическими процессами, происходящими внутри Земли. Однако, как эмпирический, так и теоретический подходы, развивавшиеся в последние десятилетия и основанные на перечисленных выше геологических процессах, не смогли достичь положительных результатов в области краткосрочного прогноза землетрясений. Выделить предвестники конкретных землетрясений не удалось. Локальные возмущения различных параметров среды не могут быть предвестниками отдельных землетрясений. Не исключено, что краткосрочный прогноз с нужной точностью вообще нереален.

В сентябре 2012 года, в ходе 33-й Генеральной ассамблеи Европейской сейсмологической комиссии (Москва), генеральный секретарь Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли П. Сухадолк признал, что в ближайшее время прорывных решений в сейсмологии не ожидается. Отмечалось, что ни один из более 600 известных предвестников и никакой их набор не гарантируют предсказания землетрясений, которые бывают и без предвестников. Уверенно указать место, время, мощность катаклизма не удаётся. Надежды возлагаются лишь на предсказания там, где сильные землетрясения происходят с некоторой периодичностью.

Так возможно ли в будущем повысить одновременно точность и достоверность прогноза? Прежде чем искать ответ, следует понять: а почему, собственно, землетрясения должны быть прогнозируемы? Традиционно полагают, что любое явление прогнозируемо, если достаточно полно, подробно и точно изучены уже происшедшие подобные события, и прогнозирование можно строить по аналогии. Но будущие события происходят в условиях, не тождественных прежним, и поэтому непременно в чём-то от них отличаются. Такой подход может быть эффективен, если, как подразумевается, отличия в условиях зарождения и развития исследуемого процесса в разных местах, в разное время невелики и меняют его результат пропорционально величине таких отличий, то есть также незначительно. При неоднократности, случайности и разнозначности подобных отклонений они существенно взаимокompенсируются, позволяя получать в итоге не абсолютно точный, но статистически приемлемый прогноз. Однако возможность такой предсказуемости в конце XX века была поставлена под сомнение[1].

Рассматривая причины неспособности прогноза землетрясений выделим модель очага землетрясений. Простейшая модель очага для наиболее разрушительных мелкофокусных землетрясений ассоциируется с нарушением сплошности горных пород и образованием микротрещин. Под влиянием зашкаливающих тектонических напряжений в породах стремительно образуются трещины. Процесс становится лавинообразным и сопровождается излучением колоссальной энергии в виде разрушительных сейсмических волн. То есть мы

имели дело с регулярной структурой, земной твердью, которая внезапно переходит в хаотический режим. Возникает вопрос: где лежит граница между регулярной, хотя и очень сложно организованной средой, и хаосом[2]?

Известно, что поведение множества природных систем достаточно удовлетворительно описывается нелинейными дифференциальными уравнениями. Но их решения в некоторой критической точке эволюции становятся неустойчивыми, неоднозначными — теоретическая траектория развития разветвляется. Та или иная из ветвей непредсказуемо реализуется под действием одной из множества малых случайных флуктуаций, всегда происходящих в любой системе. Предсказать выбор можно было бы лишь при точном знании начальных условий. Но к их малейшим изменениям нелинейные системы весьма чувствительны. Из-за этого выбор пути последовательно всего в двух-трёх точках ветвления (бифуркации) приводит к тому, что поведение решений вполне детерминистических уравнений оказывается хаотическим. Это выражается — даже при плавном увеличении значений какого-либо параметра, например давления, — в самоорганизации коллективных нерегулярных, скачкообразно перестраивающихся перемещений и деформаций элементов системы и их агрегаций. Такой режим, парадоксально сочетающий детерминированность и хаотичность и определяемый как детерминистский хаос, отличный от полной разупорядоченности, отнюдь не исключителен, и не только в природе. Приведём простейшие примеры.

Сжимая строго по продольной оси гибкую линейку, мы не сможем предсказать, в какую сторону она изогнётся. Качнув маятник без трения настолько сильно, чтобы он достиг точки верхнего, неустойчивого положения равновесия, но не более, мы не сможем предсказать, пойдёт ли маятник вспять или сделает полный оборот. Посылая один бильярдный шар в направлении другого, мы приблизительно предвидим траекторию последнего, но после его столкновений с третьим, а тем более с четвёртым шаром наши прогнозы окажутся очень неточными и неустойчивыми. Нарращивая равномерной подсыпкой кучу песка, при достижении некоторого критического угла её склона увидим, наряду со скатыванием отдельных песчинок, непредсказуемые лавинообразные обрушения спонтанно возникающих агрегаций зёрен. Таково детерминированно-хаотическое поведение системы в состоянии самоорганизованной критичности. Закономерности механического поведения отдельных песчинок дополняются здесь качественно новыми особенностями, обусловленными внутренними связями совокупности песчинок как системы.

В приведённых и других подобных примерах не прогнозируемы ни конечный, ни промежуточные результаты нелинейной эволюции, определённой начальными условиями. Связано это не с воздействием множества трудно учитываемых факторов, не с незнанием законов механического движения, а с невозможностью оценить начальные условия абсолютно точно. В этих обстоятельствах даже малейшие их различия быстро разводят исходно близкие траектории развития сколь угодно далеко[1].

К сожалению, только прогноза землетрясений не достаточно. На данный момент практически не реализована аварийная система оповещения и отключения газоснабжения, электроснабжения и др при уже явных признаках стихии. Данная система позволила бы спасти множество людей, даже если бы сработала за секунды до начала толчков.

Таким образом, при всем обилии проведенным и проанализированных наблюдений, место, время и магнитуа будущих разрушительных землетрясений даже в хорошо изученных регионах по-прежнему оказывается неожиданным. А пока у человечества есть только один способ обезопасить себя — развивать и совершенствовать сейсмостойкое строительство на территориях, которые подвержены влиянию сильных землетрясений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Короновский Н.В., Наймарк А.А. Землетрясение: возможен ли прогноз? // «Наука и жизнь» №3.2013. ([http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/432151/Zemletryasenie\\_vozmozhen\\_li\\_prognoz](http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432151/Zemletryasenie_vozmozhen_li_prognoz))
2. Николаев А.В., Савин М.Г. Сейсмическая безопасность: новые горизонты // Вестник ДВО РАН. 2014. № 4. С. 87-95.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В МЕТОДЕ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА РУДОПРОЯВЛЕНИИ ЗОЛОТА (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Ведакина М. С.

Научный руководитель Петряев В. Е. – доцент, к.г.-м.н.

Уральский государственный горный университет

На золоторудных месторождениях гидротермально-метасоматического генезиса околорудные изменения вмещающих пород, проявляются в повышенной концентрации включений электропроводящих минералов. Наличие таких минералов приводит к возрастанию поляризуемости измененных пород, что позволяет использовать метод вызванной поляризации (ВП) для выявления продуктивных на золото зон.

Горные породы различаются не только по величине поляризуемости, но и по скорости протекания в них процессов вызванной поляризации, т. е. по скорости зарядки и разрядки (спада). Так как скорость протекания процесса зависит от состава и строения среды, изучая поведение вызванной поляризации во времени, можно получить дополнительную информацию об исследуемой среде.

Поведение вызванной поляризации во времени может быть описано различными временными характеристиками, такими как постоянная времени  $\tau$ , приведенная скорость спада  $v$ , переходная характеристика (ПХ) и зависимость от времени дифференциальной кажущейся поляризуемости  $\Delta\eta_k/1,2/$ .

В настоящее время на востоке страны, где активно ведутся поиски золота, передовые геофизические компании, такие как ОАО «Карамкенская геолого-геофизическая экспедиция», выполняют съемку установкой трех-электродного профилирования (A120M40N, B $\infty$ ), где электрод В («бесконечность») выносится за пределы профиля измерений на расстояние 500 м и более, расстояние от электрода А до центра приемной линии выбирают равным 140 м, длина приемной линии MN составляет 40 м.

Измерения ВП проводят во временной области аппаратурой «Цикл-ВП-2» (ООО «ЭЛЬГА», г. Новосибирск) и АИВП (ОАО «Карамкенская геолого-геофизическая экспедиция»). В питающей линии создают последовательность разнополярных импульсов тока, а измерения поля ВП выполняют в паузе между импульсами. Приемными электродами служат медно-купоросные неполяризующиеся электроды конструкции ВИРГ. По первичным данным ( $\Delta U_{пр}$ ,  $\Delta U_{вп}$ ) для каждого значения  $t_{зар}$  и  $t_{сп}$  рассчитывают  $\eta_k$ . Время спада берут в диапазоне от 0,0025 до 1,502 секунд. Время заряда 2 секунды.

Возможности использования временных характеристик ВП для выявления участков, перспективных на золотое оруденение демонстрируются на примере одного из профилей, пересекающего рудопроявление золота, расположенного вблизи месторождения Джульетта (Магаданская область). На профиле, пересекающем рудопроявление, выявлены две продуктивные на золото зоны, в каждой из которых выбрано по пикету, в которых изучались временные характеристики (Пк 12 и Пк 160). Для сравнения, в качестве примера выбраны участки, в которых проявления золота не отмечается (Пк 40 и Пк 138). Характер спада ВП на указанных пикетах приведен на рис. 1.

Полученные графики наглядно показывают поведение кривой спада ВП в безрудной и рудной зонах. Формы графиков двух зон существенно отличаются друг от друга. Кривая для безрудной зоны характеризуется слабым уменьшением во времени при низких значениях поляризуемости. Рудная зона имеет больший угол наклона кривой и высокие значения поляризуемости. Амплитуда, связанная с областью измененных пород, варьируется в пределах от 5 до 8 % (пк 12 и пк 160). В безрудной зоне, амплитуда намного меньше и колеблется в пределах от 1,5 до 2,3 % (пк 40, 138).

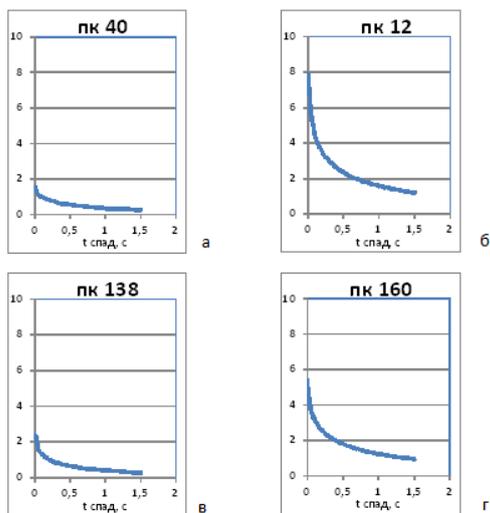


Рис. 1 Графики кажущегося коэффициента ВП (%) для безрудных (а, в) и рудных (б, г) участков

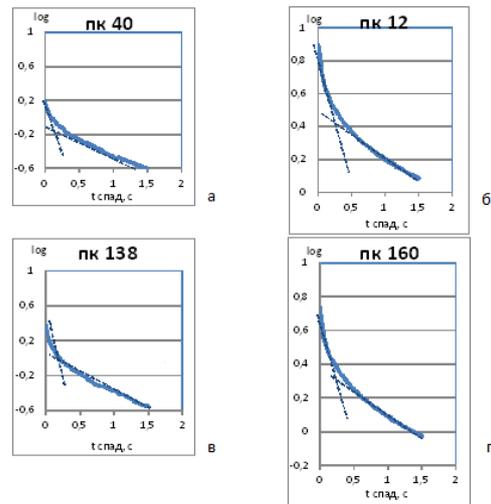


Рис. 2 Графики спада кажущейся поляризуемости в логарифмическом масштабе для безрудных (а, в) и рудных участков (б, г)

При построении графиков кажущейся поляризуемости в полулогарифмическом масштабе (время спада строится в линейном, а поляризуемость в логарифмическом) появляется возможность разделить сложную экспоненциальную зависимость на простые составляющие, соответствующие различным структурно-вещественным комплексам. Примеры построения таких зависимостей приведены на рис. 2.

Определение усредненных значений постоянной времени  $\tau$  по экспоненциальным зависимостям позволило выделить три структурно-вещественных комплекса, которые можно использовать для классификации горных пород на основе анализа временных характеристик ВП для данного типа рудопроявлений золота (Табл. 1).

Таблица 1

Структурно - вещественные комплексы		$\tau, c$
I	Рыхлые отложения, кора выветривания	0,42
II	Вмещающие породы (кластолавы и туфы андезитов, андезибазальтов, андезибазальты, крупнопорфировые туфы, туфопесчаники)	1,9
III	Зона измененных пород с повышенным содержанием золота	3

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации, 2-е изд., перераб. и доп. Л., Недра, 1980. 392 с.
2. Специальный курс электроразведки: учебное пособие / А.А.Редозубов; Урал. гос. горный ун-т, Екатеринбург: изд. УГГУ, 2010, 416 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПЛОСКИХ КРУТОПАДАЮЩИХ ВЫСОКООМНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ

Мелехин И. А.

Научный руководитель Сапожников В. М., профессор, д.г.-м.н  
Уральский государственный горный университет

К рассматриваемым объектам относятся трещины и зоны трещиноватости различного масштаба, заполненные флюидом с высоким сопротивлением. Их отличительная особенность обусловлена крутым падением и относительно небольшим поперечным размером. К таким телам относят разрывные нарушения, жилы, дайки, плоские рудные залежи и другие образования.

Есть основание применить новую модель в виде погруженного плоского круглого диска с низкой электропроводностью. Такая модель позволяет установить вид аномалии, характерный для изучаемого объекта, по которому можно судить о местоположении и условиях залегания объекта. Кроме того у погруженного сравнительно тонкого тела мощность мало влияет на форму аномалии. Поэтому моделирование задач электроразведки с применением тонкого круглого диска-изолятора представляет интерес для изучения аномальных полей широкого класса тел.

Для моделирования можно воспользоваться малоизвестным решением задачи об аномальном поле диска в присутствии точечного источника тока [1,2]. Решение получено в элементарных функциях, что даёт возможность проводить математическое моделирование электроразведки широкому кругу исследователей и полезно в учебном процессе.

Особенность данного решения состоит в том, что в нём используются совместно декартовые и сфероидальные координаты. При применении последних достаточно ориентироваться на поверхности сжатых сфероидов, ( $\lambda = \text{const}$ ) имеющих общий фокус с диском с радиусом  $R$ , являющемуся их предельным образом ( $\lambda = 0$ ). В плоскости включающей диск ( $z=0$ ), изолинии  $\lambda$  представляют окружности, а в нормальной к нему плоскости - это эллипсы, имеющие общий фокус с диском. Координата  $\lambda$  представляет малую полуось сфероидальной поверхности, проходящую через заданную точку.

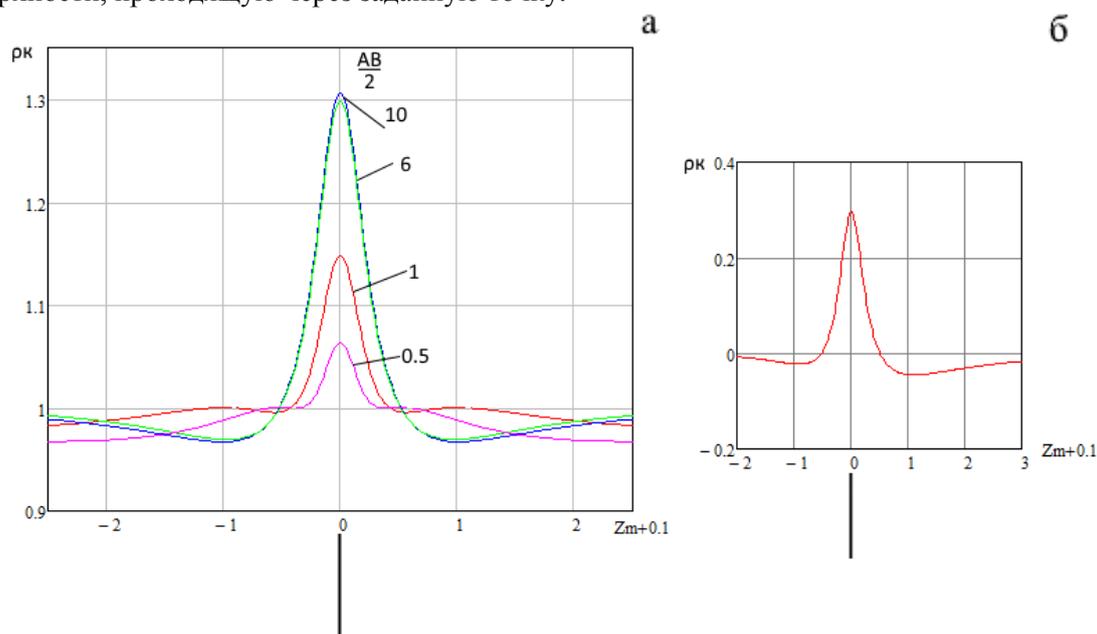


Рисунок 1. Графики  $\rho_k$  электропрофилирования для многоразносного СГ при положении диска ( $R=1$ ) в середине АВ (а) и при смещении его к электроду А при  $AB=20$  (б)

Приводимые примеры моделирования выполнены при условиях:  $Q=200$ ,  $R=1$ , глубина до верхней кромки диска  $H=0,2$ .

При использовании установки СГ графики  $\rho_k$  симметричны (рис.1 а). Интенсивность положительной аномалии растёт с увеличением разноса АВ, достигая некоторого максимума, и больше практически не изменяется. Например, как видно из рис.1а, оптимальным для выявления объекта является разнос АВ=6, который в 30 раз превышает глубину до кромки тела. При расположении объекта значительно ближе к одному токовому электроду, чем к другому, интенсивность аномалии несколько уменьшается, график  $\rho_k$  становится асимметричным с более выраженной отрицательной аномалией в сторону удаленного токового электрода (рис.1б). Вместе с тем объект выделяется достаточно уверенно.

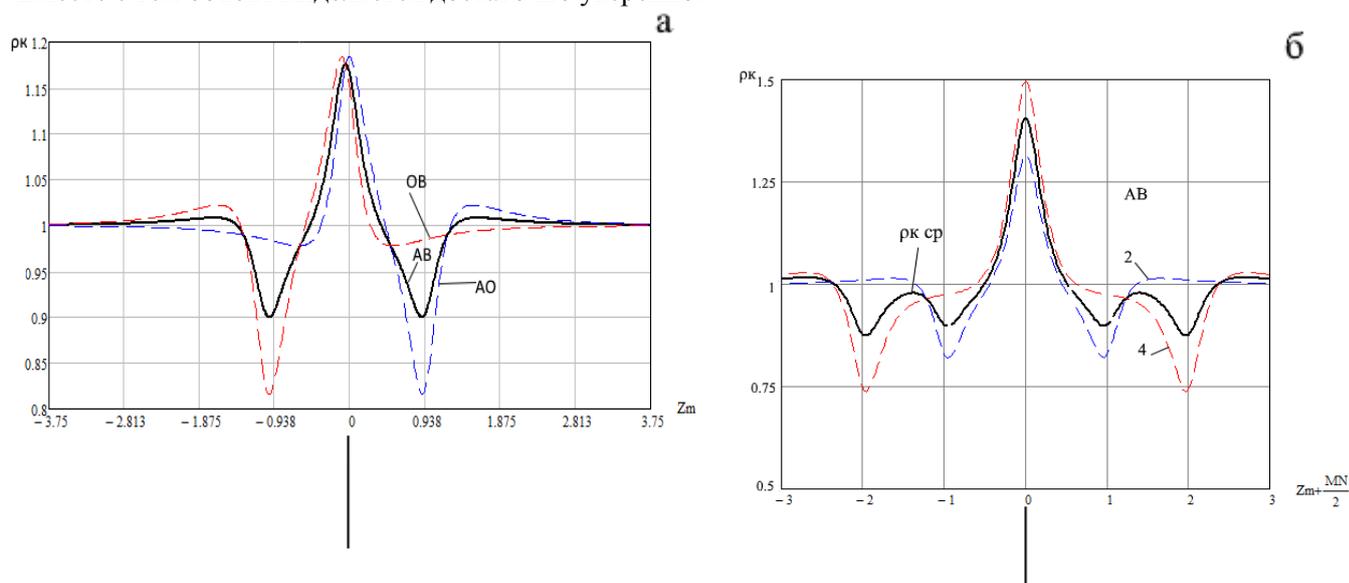


Рисунок 2. График  $\rho_k$  методов КЭП (АО и ОБ) и СЭП (АВ) по профилю, проходящему над центром вертикального диска–изолятора с  $R=1$  (а). Пример ослабления мешающих аномалий путём вычисления среднего значения  $\rho_k$  по данным метода СЭП с двумя размерами токовых линий АВ над вертикальным диском – изолятором  $d=2$  (б).

Графики КЭП и СЭП имеют более сложную форму над погруженным плоским высокоомным телом. Пример типичных аномалий  $\rho_k$  показан на рис.2 (а) для случая вертикального диска. Из приводимого примера видно, что метод СЭП более благоприятен для обнаружения подобных тел, чем метод КЭП. При одинаковых размерах АВ интенсивность отрицательных аномалий, связанных с прохождением над объектом токовых электродов, в методе СЭП в два раза меньше, чем в методе КЭП, и форма графика  $\rho_k$  более благоприятна для обнаружения крутопадающего тела (рис.2 а).

Аномалии, вызванные прохождением токовых электродов над объектом, существенно осложняют вид графиков  $\rho_k$ . Для их ослабления можно рекомендовать выполнять по важнейшим профилям наблюдения с двумя размерами токовых линий. При вычислении среднего значения  $\rho_k$  двух измерений, основная аномалия от объекта изменится мало, а нежелательные аномалии существенно уменьшатся. Эффективность этого приёма продемонстрирована на рис. 2 (б) на примере моделирования применения метода СЭП.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электроразведка рудных полей методом заряда /М. В. Семенов, В. М. Сапожников, М. М. Авдевич, Ю. В. Голиков. Л.: Недра, 1984. -216 с.
2. Сапожников В. М. Диск, полуплоскость и плоскость с вырезом, имеющие предельную или конечную электропроводность, в поле точечного источника тока./ В. М. Сапожников//Известия Уральского государственной горно – геологической академии, серия: Геология и геофизика. – 1996. – вып.5. – С. 111 – 115.

## ВЫДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ СЛАБЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ЭРГЫВААМСКОМ УЧАСТКЕ

Васькин Н. М.

Научный руководитель Виноградов В. Б., к.г.-м.н., доцент.  
Уральский государственный горный университет

При проведении геофизических работ с целью поисков месторождений полезных ископаемых основное внимание уделяется аномалиям большой амплитуды, поскольку, они, как правило, приурочены к крупным рудным телам и для большинства из них этого достаточно. Однако для большинства полезных ископаемых, как, например, благородных металлов, данный подход является мало эффективным, поскольку для них аномалии высокой интенсивности встречаются не так часто, поэтому на практике применяется комплексирование геофизических методов [1,2].

На рис. 1 приведены результаты обработки полевых измерений в виде карт  $\rho_k$  и магнитного поля  $\Delta T$  Эргываамского участка, на котором проводились поиски с помощью магниторазведки и электроразведки, проведены горные работы и пробурена картировочные скважины до 60-ти метров.

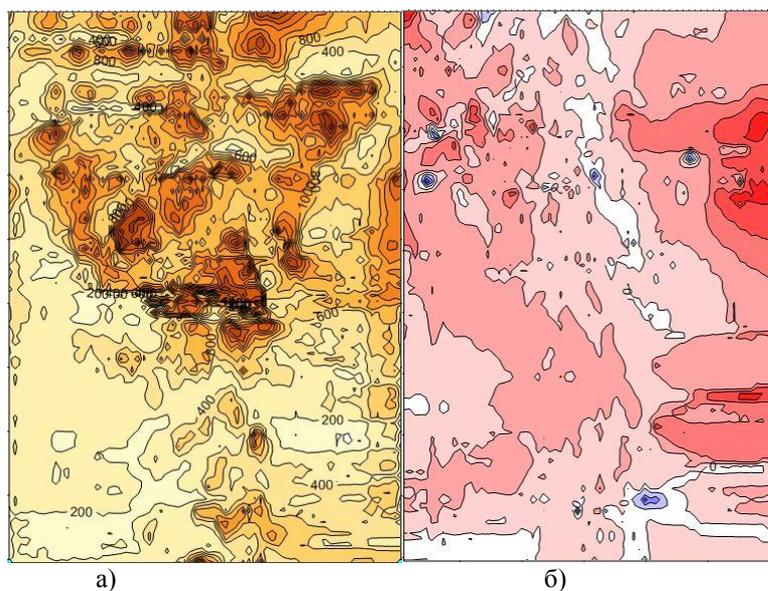


Рис. 1. Карты а)  $\rho_k$  (оцифровка в Омм) и б) магнитного (оцифровка мТл) физических полей Эргываамского участка.

Отличие в интерпретации слабых аномалий от высоко интенсивных заключается в трудности и высокой погрешности решения обратной задачи – определении геологической природы аномалии и количественных характеристик геометрии залегания исследуемого тела, таких как форма, размеры, глубина залегания. Аномалии малой интенсивности, выявленные одним геофизическим методом, могут быть вызваны помехами геологического происхождения, такого как неоднородности верхней части разреза, и негеологическими причинами, в число которых входит рельеф местности. В тоже время слабая аномалия может быть, например, проявлением геологических тел небольших размеров, залегающих неглубоко от дневной поверхности или же большого тела с залеганием на относительно большой глубине. Таких аномалий, как правило, намного больше [1].

В измеренных полях отразилось большое количество аномалий, принадлежащих объектам разной геологической природы, выраженных аномалиями малой интенсивности. В

магнитном поле доминируют геологические элементы северо-западного и меридионального простираний, соответствующих крупным тектоническим разломам. В электрическом поле доминируют меридиональные геологические элементы (разломы).

Было изучено статистическое распределение величин полей на Эргываамском участке  $\rho_k$  и  $\Delta T$  физических полей, приведенных на рис. 2. Следует отметить, что полученные данные позволяют разделить горные породы участка по магнитным свойствам на 5 групп, по электрическим свойствам – на 6 групп, что позволяет решать задачи геологического картирования. Количество выделенных групп (физико-геологических комплексов) по полю существенно меньше, чем количество групп, выделенных по магнитным и электрическим свойствам.

Проведенная обработка позволила выявить области аргиллизации, пропилитизации, сульфидизации, которые перспективны на обнаружение полезных ископаемых. Проведена трассировка разрывных нарушений северо-западной и северо-восточной ориентировки.

Изучение слабых аномалий позволяет существенно увеличить количество разведанных запасов.

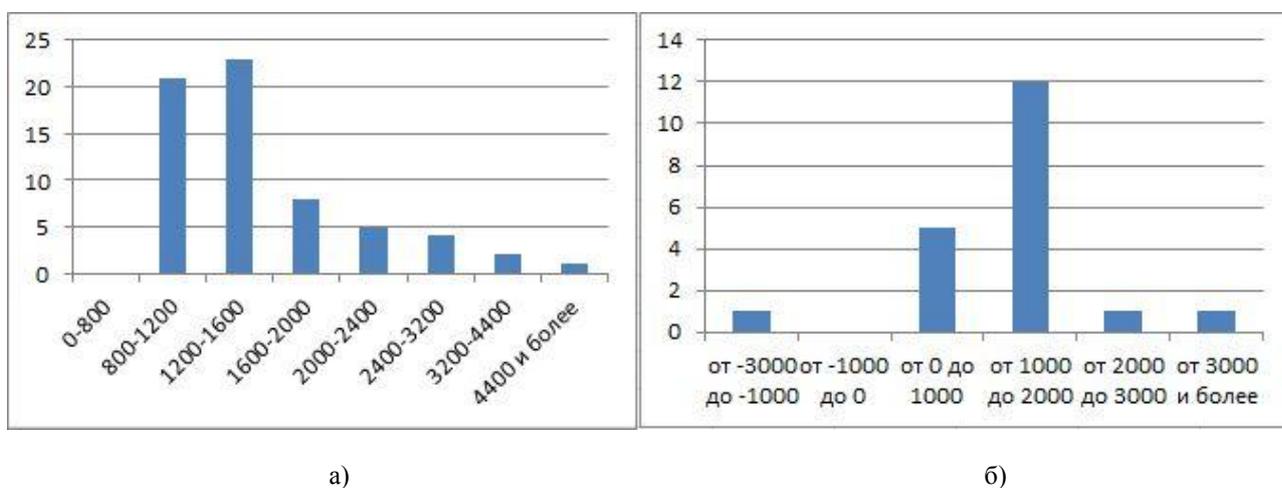


Рис. 2. Гистограммы распределения аномалий а)электрического и б)магнитного полей по Эргываамскому участку.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тархов А.Г., Бондаренко В.М., Никитин А.А. Комплексирование геофизических методов. М: Недра, 1982 – 294с.
2. Бродовой В.В. Комплексирование геофизических методов. М: Недра, 1991 – 330с.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА КАРЛИНСКОГО ТИПА

Варзаков А. П., Хасанов Р. Р.

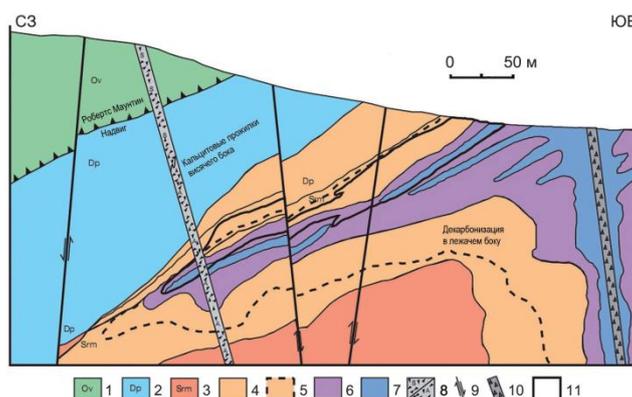
Уральский государственный горный университет

Целью работы является оценка возможности применения полевых геофизических методов для поиска месторождений золота карлинского типа.

Сверхкрупный район, состоящий из множества месторождений золота карлинского типа в Неваде, является вторым по величине запасов золота в мире. Его запасы оцениваются в более чем 6000 т. Месторождения данного типа на сегодняшний день открыты только в США и Южном Китае. Однако некоторые исследования говорят о том, что месторождения этого типа могут быть найдены и в восточных регионах России [1].

Месторождения золота карлинского типа (МЗКТ) представляют собой крупные метасоматические тела джаспероидов в карбонатных вмещающих породах, которые содержат субмикроскопическое тонкодисперсное золото во вкрапленном пирите или марказите. Месторождения встречаются в рудных узлах, сосредоточенных вдоль достаточно протяженных трендов (разломов).

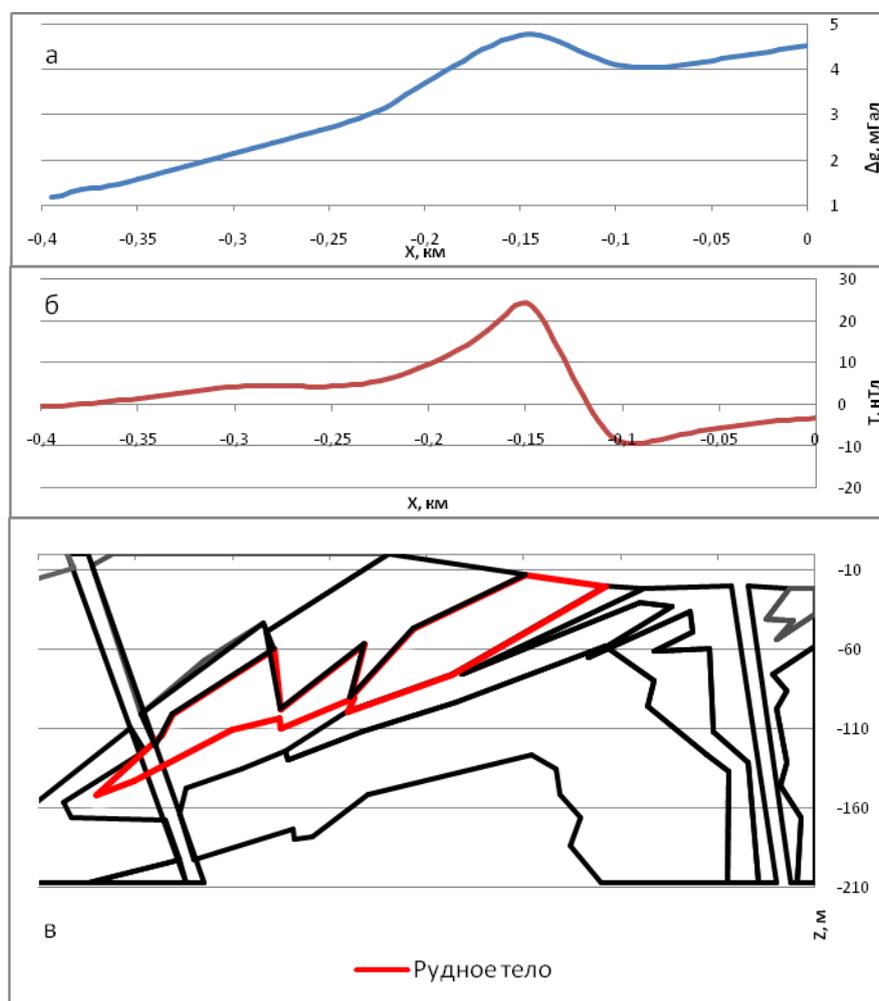
Руды МЗКТ представляют собой золотосодержащий и обогащенный микроэлементами мышьяковистый пирит, образующий метасоматические тела замещения в карбонатных вмещающих породах. Для месторождений свойственны рудные тела табличных, стратиформных, морковковидных, Т-образных, неправильных форм. Форма локальных зон пористости и проницаемости, которые образовались в результате благоприятных литологических особенностей в сочетании с крутыми и пологими разломами, обуславливают морфологические особенности рудных тел. МЗКТ обычно вытянуты в северном или северо-западном направлении, хотя пересечения с северо-восточными крутопадающими разломами в ряде случаев также влияют на их морфологию. Рудные тела могут встречаться длиной до 3 км по простиранию и более километра по вертикали, хотя в основном они прерывистые. Рудные тела, как правило, расположены под непроницаемым экранирующим горизонтом, а лучшая руда концентрируется под антиклиналями, где крутопадающие структуры служили подводящими каналами (Рис. 1).



1 – ордовик, формация Винни (неизмененная); 2 – девон, формация Попович (неизмененная); 3 – силур–девон, формация Робертс Маунтин (неизмененная); 4 – зона растворения кальцита; 5 – зона прогрессивного растворения кальцита и доломита; 6 – кремнисто-аргиллитовая зона с реликтами доломита; 7 – джаспероиды; 8 – серицитизированные и аргиллизированные дайки; 9 – крутые нормальные разломы; 10 – зона брекчирования; 11 – рудная зона (>1 г/т).

Рисунок 1 – Геологический разрез рудной зоны месторождения Карлин[1]

Для построения физико-геологической модели МЗКТ был использован геологический разрез с рисунка 1. Сама физико-геологическая модель представлена на рисунке 2 в. В дальнейшем она была использована для расчётов графиков  $\Delta g$  и  $T$ .



а – кривая  $\Delta g$ , б – кривая  $T$ , в – физико-геологическая модель

Рисунок 2

В результате решения прямой задачи гравиразведки и магниторазведки получили графики  $\Delta g$  и  $T$  (Рис. 2 а,б). Амплитуда аномалии на графике  $\Delta g$  составляет 1,5 мГал, а на графике  $T$  – 30 нТл. Рассчитывалась только индуцирующая составляющая магнитного поля. С учётом вклада остаточной намагниченности и влияния гидроиермальных процессов можно ожидать увеличения амплитуды аномалии в 3-4 раза. При рассмотрении результатов решения прямой задачи видно, что рудная зона хорошо выделяется как и на кривой  $\Delta g$ , так и на кривой  $T$ . Это обусловлено большой дифференциацией плотностей и магнитных свойств между породами рудной зоны и вмещающих пород.

Как было сказано ранее, МЗКТ могут быть найдены в восточных регионах России. Для их поиска целесообразно использовать геофизические методы, в частности гравиразведку.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков А.В., Сидоров А.А. Геолого-генетическая модель месторождений золота карлинского типа // «Литосфера» №6. 2016 С.145-165

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА В СКВАЖИНЕ

Ковтун Д. Б.

Научный руководитель Блинкова Н. В., к. г.-м. н  
Уральский государственный горный университет

Господство на сырьевом рынке становится «жесткой силой», которая может быть использована в качестве рычага для экономического и политического давления. Не случайно ведущие страны мира рассматривают доступность минерального сырья в качестве важного фактора дальнейшего экономического развития. Опираясь на минерально-сырьевой потенциал, наша страна долгие годы развивалась как одна из лидирующих сырьевых держав мира. Однако растущий дефицит многих видов минерального стратегического сырья, истощения запасов эксплуатируемых месторождений и резкое усложнение горно-геологических условий их добычи вынуждают использовать более рациональные, доступные методы поисков и разведки дефицитных руд. Одними из стратегически важных элементов, при определении господства на рынке сырья, являются вольфрам и молибден. На рисунке 1 приведена динамика цен на вольфрам и молибден в динамике.

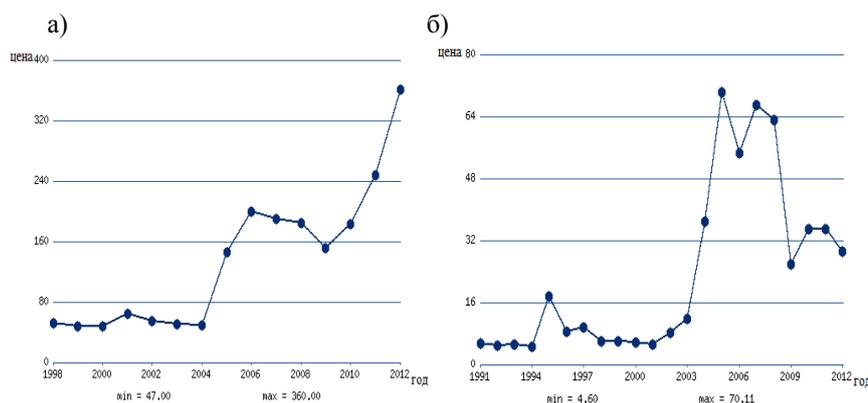


Рисунок 1 — а) Цены на вольфрам, долл./за 1% WO<sub>3</sub> в тонне концентрата; б) Цены на молибден, долл./кг

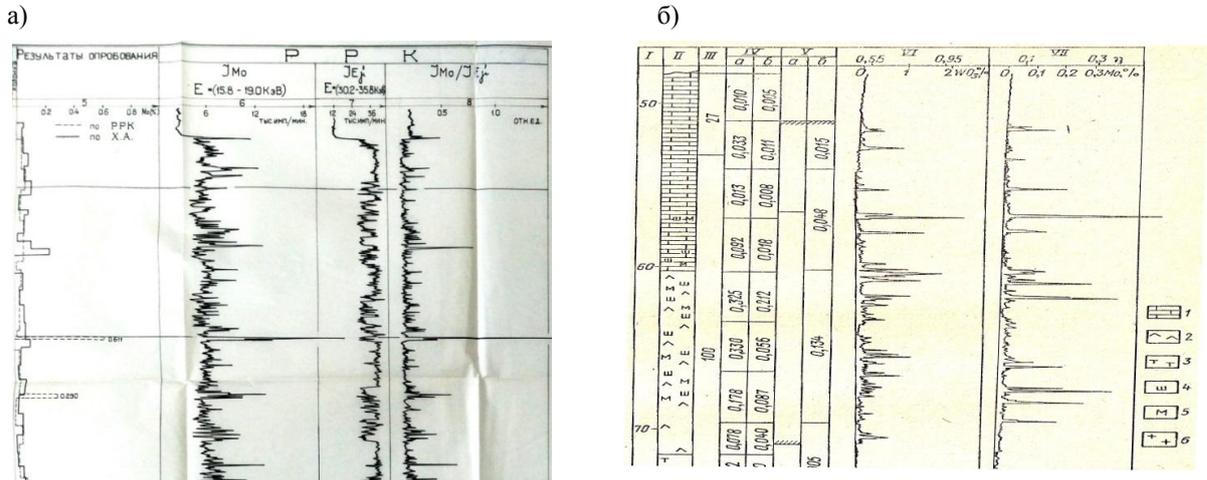
Основной задачей при разведке вольфрам-молибденовых месторождений является определение количественного содержания вольфрама и молибдена в разрезе скважины. Среди инструментальных методов элементного анализа горных пород, основанных на возбуждении и измерении рентгеновской флуоресценции, в практике геологоразведочных работ большое значение имеет рентгенорадиометрический метод, в котором возбуждение спектра флуоресценции атомов осуществляется с помощью излучения радионуклидных источников. К основным достоинствам рентгенорадиометрического метода, обеспечивающим его высокую геолого-экономическую эффективность, относятся простота и компактность анализирующей аппаратуры и ее сравнительно низкая стоимость.[1]

Метод позволяет осуществлять экспрессную оценку содержания многих элементов непосредственно на месте проведения геологических изысканий и в различных условиях.

В СССР начало научным исследованиям в этой области было положено в 1957 г. сотрудниками Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС) под руководством проф. А. Л. Якубовича. Толчком для использования метода в условиях естественного залегания послужили начатые в 1961 —1962 гг. сотрудниками

Ленинградского государственного университета (ЛГУ) под руководством проф. В. А. Мейера исследования.[1]

Рентгенорадиометрический каротаж для поэлементного определения  $W_{iMo}$  можно использовать в двух модификациях: 1 — использование двух различных источников для определения  $W_{iMo}$  по  $K$ -серии характеристического излучения элементов, 2 — использование одного источника, при соответствующих содержаниях вольфрама, для определения  $W_{iMo}$  по  $K$ - и  $L$ -сериям соответственно. На рисунке 2 показано сопоставление лабораторных анализов и данных РРК на одном из молибденовых месторождений. Данные о ранее проведенных работах предоставлены Лучниковым Н.В.



Г- глубина, м; II- геологический разрез; III- выход керна, %; содержание  $WO_3$  (а) и  $Mo$  (б), %: IV- по керну; V- по каротажу; диаграммы каротажа: VI- на вольфрам; VII- на молибден. 1— мрамор; 2— скарн; 3— роговик; 4— шеелит; 5— молибденит; 6— гранит

Рисунок 2— а) Каротажная диаграмма РРК при определении процентного содержания  $Mo$  в разрезе скважины с использованием источника  $^{109}Cd$ . б) Совместное определение  $W$  и  $Mo$  с использованием источника  $^{109}Cd$ .

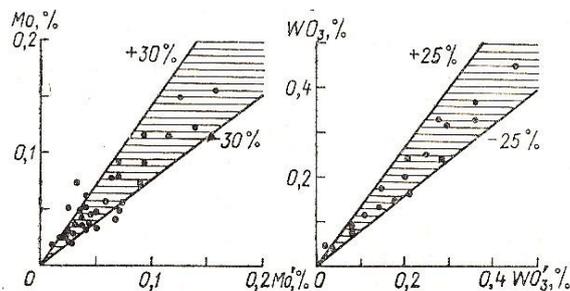


Рисунок 3— сопоставление данных РРК ( $Mo$ ,  $WO_3$ ) и опробования подземных скважин ( $Mo'$ ,  $WO_3'$ )

На рисунке 3 видно, что представительность данных каротажа не уступают лабораторным анализам керна, а их ценность значительно возрастает в тех случаях, когда выход керна по рудным зонам оказывается неполным.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Очкур А.П., Томский И.В., Яншевский Я.В. и др. Рентгенорадиометрический метод при поисках и разведке рудных месторождений. «Недра», 1985.
2. Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. «Недра», 1978.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МЕТОДЕ СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Исламгалиев Д. В.

Уральский государственный горный университет

Рассмотрим математическую модель генерации электрических полей явлениями адсорбции, диффузии и течения в методе спонтанной поляризации с общих позиций математического моделирования, в рамках модели сплошной среды. Так как математическая модель генерации электрического поля в процессе течения или диффузии флюида должна строиться в рамках полевого подхода, то в качестве функции объекта следует взять, например, плотность функции Лагранжа, что приведёт к лагранжевой теории процесса. Плотность функции Лагранжа равна [1,2]

$$\Lambda \left( q^j, \frac{\partial q^j}{\partial x^\alpha}, \frac{\partial q^j}{\partial t}, \mathbf{r}, t \right) = w_{кин} - w_{пот}. \quad (1)$$

Здесь  $w_{кин}$  – плотность кинетической энергии,  $w_{пот}$  – плотность потенциальной энергии.

Плотность кинетической энергии (кинетическая энергия единицы объёма) имеет вид:

$$w_{кин} = \frac{1}{2} \rho \mathbf{v}^2 + \frac{1}{2} C \mathbf{v}^2 + \omega, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность флюида, кг/м<sup>3</sup>;  $\mathbf{v}$  – скорость течения жидкости, м/с;  $\alpha$  – параметр, приводящий к размерности плотности энергии, 1/м<sup>2</sup>;  $C$  – концентрация растворенного вещества, кг-экв/м<sup>3</sup>;  $D$  – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $\omega$  – плотность энергии двойного электрического слоя, кг/(м·с<sup>2</sup>).

Слагаемые (2) обусловлены плотностью кинетической энергии, где первое слагаемое в выражении (2) – обычная плотность кинетической энергии жидкости. Появление в (2) второго слагаемого обусловлено диффузией, возникающей за счет переноса вещества. Третье слагаемое в (2) – плотность энергии двойного электрического слоя, обусловлено затраченной энергией  $E = \int_{\Omega} \omega d\Omega$  по сближению зарядов противоположных знаков (катионов и анионов) и

образованием двойного слоя,  $\omega = \frac{1}{2} \bar{\rho} \mathbf{v}^2$ ,  $\mathbf{v}$  – средняя скорость зарядов, м/с;  $\bar{\rho}$  – объёмная плотность зарядов, кг/м<sup>3</sup>.

Тогда вариация кинетической энергии:

$$\delta w_{кин} = \left( -\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - C \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial C}{\partial t} - \bar{\rho} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \right) \delta \mathbf{r}.$$

Учитывая тот факт, что внутренние силы работу не производят, плотность потенциальной энергии представим в следующей форме [2]:

$$w_{пот} = -P \cdot \mathbf{div} \mathbf{r} + (-k_n D \mathbf{grad} C, \mathbf{v}) + \bar{\rho} U + (\mathbf{i}_n, \mathbf{A}) + \tilde{A}. \quad (3)$$

Здесь  $P$  – давление, приводящее флюид (жидкости) в движение, Па;  $k_n$  – коэффициент пористости;  $U$  – потенциал двойного электрического слоя, В;  $\mathbf{i}_n = \sigma(\mathbf{E} + [\mathbf{v}, \mathbf{B}])$  – плотность полного тока, А/м<sup>2</sup>;  $\mathbf{A}$  – вектор-потенциал электромагнитного поля, А;  $\mathbf{B}$  – магнитная индукция, Тл,  $\tilde{A}$  – вариация работы внешних сил, кг/(м·с<sup>2</sup>).

Слагаемые в выражении (3) является частью плотности потенциальной энергии. Появление первого слагаемого (3) обусловлено течением флюида, протекающим через проницаемую среду. Но учитывая, что при движении жидкости любой её выделенный объем не изменяет своей величины, но может менять форму), слагаемое должно быть добавлено в

выражение (3). Второе слагаемое (3) определяет изменение концентрации вещества. Третье слагаемое (3) учитывает потенциал двойного электрического слоя, создаваемого на границе твердой и жидкой фаз. Четвертое слагаемое определяет электрическое (электромагнитное) поле. Пятое слагаемое учитывает влияние внешних сил.

В результате получим вариацию плотности потенциальной энергии:

$$\delta w_{nom} = \left[ \mathbf{grad}P + \mathbf{div}(-k_n D \mathbf{grad}C) \mathbf{v} + \bar{\rho} \left( \mathbf{grad}U + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right) + [\mathbf{i}_n, \mathbf{B}] + \mathbf{F} \right] \delta \mathbf{r},$$

где  $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3$  – вариация внешних сил электрического поля, кг/(м<sup>2</sup>·с<sup>2</sup>).

В случае, если скорость течения Дарси  $\mathbf{v}$  постоянна, то появятся слагаемые:

$$\tilde{A} = \frac{\mu}{c} (\mathbf{v}, \mathbf{r}) + \mathbf{div}(C \mathbf{v}) \cdot (\mathbf{v}, \mathbf{r}), \quad \delta \tilde{A} = \left[ \frac{\mu}{c} \mathbf{v} + \mathbf{div}(C \mathbf{v}) \cdot \mathbf{v} \right] \delta \mathbf{r},$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость флюида, Па·с;  $c$  – гидравлическая проницаемость, м<sup>2</sup>.

Подставляя плотность функции Лагранжа (1) с учётом выражений (2), (3) в уравнения Лагранжа [1], и вычисляя, входящие в уравнения системы производные с учётом преобразований работ [3,4], окончательно приходим к следующей системе дифференциальных уравнений с частными производными [2], которая является уравнением движения объекта:

$$\begin{cases} -\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{grad}P - m_1 [\mathbf{i}_n, \mathbf{B}] - \mathbf{F}_1 = 0, \\ -C \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \mathbf{v} \frac{\partial C}{\partial t} - \mathbf{div}(-k_n D \mathbf{grad}C) \mathbf{v} - m_2 [\mathbf{i}_n, \mathbf{B}] - \mathbf{F}_2 = 0, \\ -\bar{\rho} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \bar{\rho} \left( \mathbf{grad}U + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right) - m_3 [\mathbf{i}_n, \mathbf{B}] - \mathbf{F}_3 = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где коэффициенты  $m_1, m_2, m_3$  показывают наличие электрического поля во всех трех уравнениях, определяющих течение флюида, диффузию вещества и адсорбцию соответственно, при условии  $m_1 + m_2 + m_3 = 1$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурнев В.Б. Математическое моделирование. Непрерывные детерминированные модели/В. Б. Сурнев. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2013. – 689 с.
2. Исламгалиев Д.В. Математическая модель генерации электрического поля в методе спонтанной поляризации / Д.В. Исламгалиев, В.Б. Сурнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. № 10. С. 337-343.
3. Ванько В.И. Вариационное исчисление и оптимальное управление: Учеб. для вузов / В.И. Ванько, О.В. Ермошина, Г.Н. Кувыркин. Под. ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, – 488 с.
4. Батыгин В.В. Современная электродинамика, часть 1. Микроскопическая теория: Учебное пособие / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 736 с.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СКВАЖИНАХ

Белоусов М. В.

Научный руководитель Виноградов В. Б., к.г.-м.н., доцент  
Уральский государственный горный университет

Целью данной работы является разработка алгоритма расчета потенциала по измеренному магнитному полю. В рудных скважинах проводится векторная магнитометрия – измерение вертикальной и горизонтальной составляющих магнитного поля. Согласно теореме Пуассона, магнитный потенциал является аналогом поля силы тяжести. Для аномалий силы тяжести П. И. Лукавченко разработаны способы истолкования гравитационного каротажа по скважинам. Таким образом, к вычисленному потенциалу магнитного поля применимы методы интерпретации гравитационного каротажа. Например, угол падения пересекаемого скважиной пласта определяется выражением:

$$\cos \alpha = \frac{1}{4\pi f \delta H} \left[ g_n - g_{n+1} + \frac{\partial g}{\partial z} H \right],$$

где  $f = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см/г} \cdot \text{с}^2$ ;  $\delta$  – плотность пород слоя;  $H$  – мощность слоя;  $\frac{\partial g}{\partial z} H$  – поправка силы тяжести за разность высот,  $g_n$  и  $g_{n+1}$  – значения силы тяжести на кровле и подошве пласта соответственно.

Алгоритм вычисления магнитного потенциала основан на аналитической аппроксимации магнитного поля в скважине – представления в качестве источника магнитного поля совокупности элементарных витков с током (магнитных листков). Такой источник располагается вблизи точки измерения (рисунок 1а). Напряженность ( $H$ ) и потенциал ( $U$ ) поля:

$$H_i = \frac{2\pi I a^2}{c(a^2 + z_i^2)^{3/2}} = P_m \frac{a^2}{(a^2 + z_i^2)^{3/2}};$$

$$U_i = P_m z_i \left( \frac{1}{|z_i|} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + z_i^2}} \right),$$

где  $P_m$  – магнитный момент витка с током,  $a$  – радиус витка с током,  $c$  – скорость света,  $z_i$  – аппликата точки расчета;  $I$  – сила тока в витке.

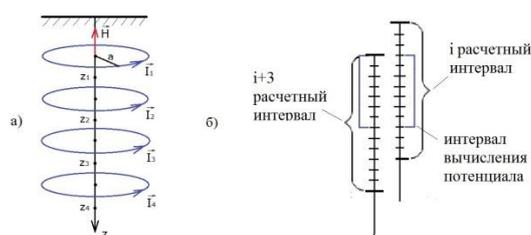


Рисунок - 1 а) аналитическая аппроксимация магнитного поля в скважине; б) схема локальной аппроксимации.

Определение магнитных моментов витков сводится к решению СЛАУ (системы линейных алгебраических уравнений):  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{P}_m = \mathbf{Z}$ , где  $\mathbf{A}$  – матрица коэффициентов, определяемая геометрией аппроксимации,  $\mathbf{P}_m$  – вектор неизвестных магнитных витков,  $\mathbf{Z}$  – измеренное магнитное поле. В таком случае, потенциал магнитного поля  $U$  в точках измерения может быть получен как  $U = \mathbf{B} \cdot \mathbf{P}_m$ , где  $\mathbf{B}$  – матрица коэффициентов,  $\mathbf{P}_m$  – магнитные моменты витков

Ввиду того, что вычисления могут занять много времени из-за больших размеров матрицы  $\mathbf{A}$ , необходимо перейти к локальной аппроксимации (рисунок 1б), т.е. ограничить длину расчетного интервала с формированием матрицы меньшего размера. При этом было оценено число обусловленности такой матрицы, а также возможный радиус витка на предмет

устойчивости задачи. Вычисления проведены с последовательным сдвигом на несколько точек измерения при постоянном радиусе витков, образуя интервал вычисления потенциала (рисунок 1б), подлежащий сравнению с аналогичными вычислениями, проведенными при других радиусах витков.

В ходе вычислений в программе Mathcad с помощью команды «conde (A)» установили числа обусловленности матриц коэффициентов 27.4, 29.5, 27.4 для трех радиусов витков 0.2м, 0.25м и 0.3м соответственно, что говорит о хорошей обусловленности матриц. Тем самым установили практическую независимость устойчивости задачи от радиуса магнитного листка. Например, в расчетном интервале из 20 точек измерения по схеме локальной аппроксимации был образован интервал вычисления потенциала в 16 точек, где результаты вычисления оказываются наиболее устойчивыми в 5 точках посреди всего интервала независимо от выбранного радиуса витка с током (рисунок 2)

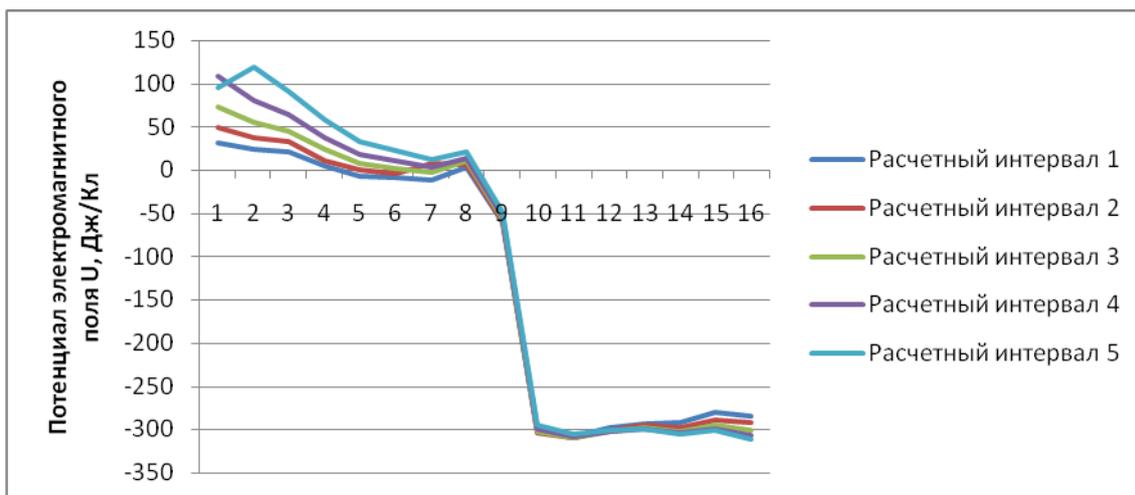


Рисунок 2 - Пример результатов аппроксимации для радиуса витка с током  $r=0.2\text{м}$

Разработанный алгоритм представляет собой еще один способ истолкования данных векторной магнитометрии. Его применение возможно только в тех случаях, когда объект одновременно обладает заметной избыточной плотностью и повышенной намагниченностью.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукавченко П.И. К вопросу об измерениях силы тяжести в буровых скважинах;
2. Лукавченко П.И., Михайлов И.Н., Н.А. Дмитриев. Возможности гравитационного каротажа при решении вопросов региональной геологии.

## СИЛА ТЯЖЕСТИ ИЛИ УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ?

Зубков М. М.

Научный руководитель Виноградов В. Б., к.г.-м.н., доцент.

Уральский государственный горный университет

Рене Декарт утверждал: «Точно договаривайтесь о понятиях, и вы избавите весь мир от половины заблуждений». В гравиразведке существует две точки зрения на основную измеряемую величину. Успенский Д.Г. «Сила тяжести – есть равнодействующая двух сил: силы притяжения Земли и центробежной силы». Миронов В.С. «Гравитационное поле Земли обычно рассматривают как поле воздействия двух сил: силы притяжения и центробежной силы Земли». В [2] измеряемая величина употребляется как: «Ускорение силы тяжести – есть сумма ускорения центробежной силы и ускорения силы притяжения».

Согласно ГОСТу 2005г. «Гравиразведка»[1] измеряемая гравиметром величина определена как: «сила тяжести – это равнодействующая силы тяготения и центробежной силы вращения Земли вокруг оси, отнесенная к единице массы тела», т.е. удельная сила. Этой точки зрения придерживаются специалисты «ВНИИГеофизика». Наряду с этим многие специалисты(ИФЗ РАН Романюк Т.В.) считают, что правильнее эту величину называть ускорением свободного падения. Это определение, исходя из ГОСТа 2005г., не рекомендуется к употреблению.

В первом определении измеряют силу и расстояние (растяжение пружины) (Рисунок 1а). Однако силу, как физическую величину, определяют через массу, которая, в свою очередь, может быть выражена через расстояние и время. Любая физическая величина может быть записана в виде произведения длины и времени в степени не выше 5 каждая, в том числе масса и сила. Например:

$$m \sim L^3 T^2, F \sim L^4 T^4, E \sim L^5 T^4.$$

Сторонники этой точки зрения ссылаются на то, что кварцевым гравиметром измеряют напряженность поля. Т.е. в гравиразведке изучают векторное силовое поле. Основное уравнение силы тяжести:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{g}, \mathbf{g} = \mathbf{F}/m.$$

Размерность напряженности поля силы тяжести  $m/c^2$ .

Во втором определении измеряют время и расстояние. Сторонники этой точки зрения ссылаются на то, что баллистическим гравиметром замеры проводятся методом измерения положения свободно падающей пробной массы (Рисунок 1б). Основное уравнение:

$$H = V_0 t + g t^2 / 2.$$

Размерность ускорения  $m/c^2$ , такая же как и удельной силы.

Ссылки на способ измерения не убедительны. Баллистический и кварцевый гравиметры при измерениях жестко связаны с Землей, и вместе с ней вращаются вокруг ее оси, на них действует центробежная сила [2].

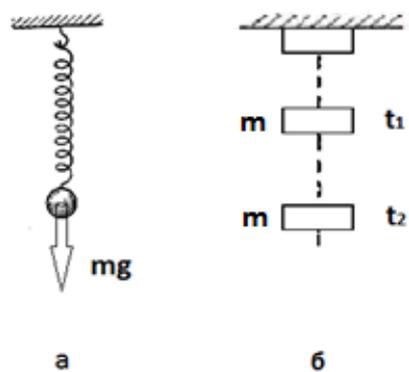


Рисунок 1 - Схемы чувствительных систем кварцевого (а) и баллистического (б) гравиметров;  $m$  – пробная масса;  $t_1$  и  $t_2$  – время измерения высоты пробной массы.

В итоге приходим к выводу, что обе формулировки верны. Обе описывают одно и то же явление с помощью разных дополнительных величин по отношению к длине и времени. Спор бесполезен. Значение в ГОСТе об ускорении свободного падения некорректно. Сила тяжести и ускорение свободного падения - физические величины, введенные в физику для удобства описания. Даже при измерении силы тока и температуры мы, в конечном итоге, измеряем длину и промежутки времени. Обе величины измеряют сравнением с эталоном, т.е. это относительные величины. С нашей точки зрения, корректно употребление исторически сложившегося термина «сила тяжести», которому соответствуют термины, употребляемые в иностранной технической литературе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2005 г. «Гравиразведка»
2. Мудрецова Е.А. «Гравиразведка» 1981г., 397 с.

## ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИСТОЛКОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭМУНЕРЕТСКОГО РАЙОНА

Борисов А. В.

Научный руководитель доцент Виноградов В. Б.  
Уральский государственный горный университет

Целью работы является адаптация методики комплексного истолкования геофизических данных к особенностям геологического строения Эмунеретского района[1], выделение областей распространения различных типов метасоматических образований.

Актуальность темы обусловлена тем, что в настоящее время на 01.06.2016 для воспроизводства минерально-сырьевой базы в твердых полезных ископаемых наиболее перспективно оценивается Дальневосточный федеральный округ – 54.1% всех выделяемых средств на ГРР для благородных металлов[2].

На территории изучаемого участка установлены породы одной свиты, которая имеет отчетливое двучленное строение. Нижняя подсвита представлена игнимбритами, редко туфами: риодацитов, низкощелочны хриодацитов, дацитов, редко риолитов. Верхняя подсвита представлена лавами, туфами и игнимбридамидацитов, риодацитов, низкощелочныхриодацитов, редко субщелочных оливиновых базальтов, андезибазальтов, трахиандезитов, трахириодацитов, субщелочных трахириолитов,

Целевой объект - гидротермально-метасоматические образования участка представлены вторичными кварцитами и аргиллизитами, сульфидизированными породами, кварцевыми, кварц-адуляровыми, карбонат-кварцевыми и карбонатными жилами с которыми связана золотосеребряная минерализация.

Участок площадью 2×3 км характеризуется резко расчленённым рельефом, крутизна склонов достигает 30°. На участке были проведены геофизические работы: магниторазведка (сеть 200×20м), спектрометрия (K,Th,U, сеть 200×20м), электроразведка(частотная дисперсия на частотах 312 и 625, сверхдлинноволновые радиоволны и электроразведывание). Во всех измеренных полях ярко проявлены положительные и отрицательные формы рельефа.

На участок составлены аэромагнитная карта 1:25000 (1990г.), карта рельефа магнитной поверхности глубинных источников по данным магнитной съемки масштаба 1:20000 (2016г.) и карта наземной магнитной съемки (2016г.). На первой и второй картах ярко проявлены крупныетектонические нарушения северо-западного северо-восточного простирания. На третьей карте помиморегиональных нарушений, отражаются локальные имеющие разное направление (рис.1.).

Поэтому для перехода к комплексной интерпретаций проведено однометодное истолкование данных и создание однометодных геофизических моделей с дальнейшим созданием комплексной модели.

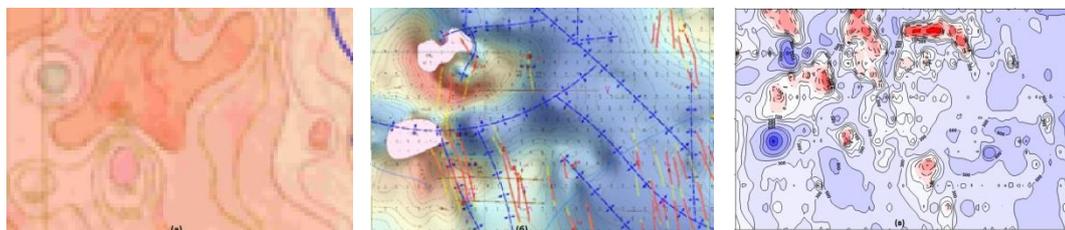


Рисунок 1 - а -аэромагнитная карта; б- карта рельефа магнитной поверхности глубинных источников; в – карта наземной магнитной съемки.

Так как участок представлен лишь одной свитой, поэтому нами была составлена однослойная магнитная модель, представленная в виде 90 вертикальных цилиндров многоугольного сечения, имеющих глубину до верхней кромки 30 м, глубину до нижней кромки 200 м. На основе созданной модели проведена оценка влияния сети наблюдений на картину поля и результаты истолкования. Оптимальная сеть наблюдений для выявления зон метасоматоза - 50×20м.

По измерениям физических свойств была определена ожидаемая интенсивность геофизических полей соответствующая целевому объекту ( $\rho_{об}$ ,  $\Delta T_{об}$ ). Аналогичные модели созданы по другим геофизическим полям.

С помощью идентифицирующих операторов по методике, изложенной в [1] были определены площади распространения метасоматитов (рис.2), на которых в дальнейшем могут быть поставлены детальные работы.

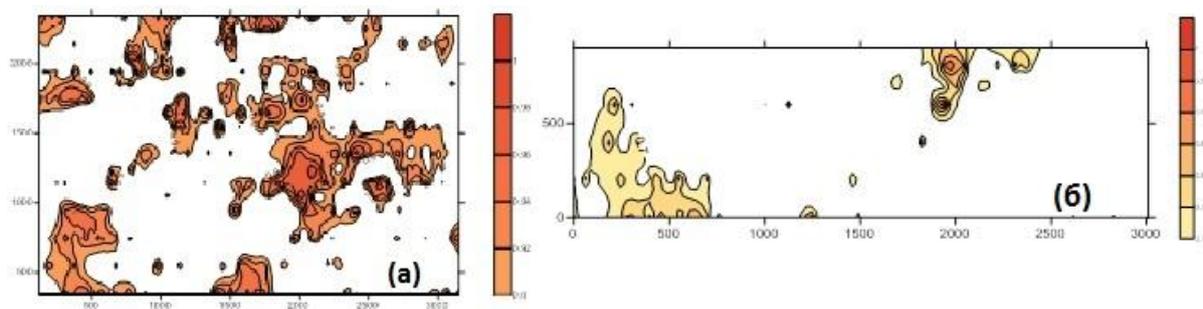


Рисунок 2 - а – по двум методам ( $\rho_k$ ,  $\Delta T$ ); б – по трем методам ( $\rho_k$ ,  $\Delta T$ ,  $K$ )

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов А. В., Варзаков А.П., Виноградов В.Б, Богомолов А.В. статья “Об обработки комплексных геофизических измерений на месторождениях золота” // “Теория и практика разведочной и промышленной геофизики” Пермь 2016 стр. 62-66
2. Журнал “Отечественная геология” №5/2016 стр.11-63

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРНОЕ

Алалыкина Д. И., Петряев В. Е.  
Уральский государственный горный университет

Изучение физических характеристик торфяных залежей, расположенных вблизи крупных населенных пунктов имеет большое значение в связи с торфяными пожарами, резко увеличивающими чрезвычайные ситуации с нанесением ущерба населению. Одним из таких объектов является торфяное месторождение Черное, расположенное вблизи Малышевского городского округа /1/. Месторождение Черное приурочено к верховому болоту, находящемуся в муниципальном образовании Малышевский городской округ, вокруг озера Черное в истоке реки Чернушка (левый приток реки Большой Рефт). Занимает 119 и 132 кварталы Малышевского лесничества Асбестовского лесхоза. Представляет собой ботанический и гидрологический памятник природы. Преимущественно труднопроходимо.

По данным /2/ торфяное месторождение Черное отнесено к категории прогнозных, рекомендуемым к разведке. Качественная характеристика торфяной залежи дается по следующим показателям: степень разложения, зольность, влага, содержание оксидов Са, Fe(III), P(V), обменная кислотность.

Таблица 1- Характеристики месторождения /2/

№ по справочнику изд. 1976 г. Кадастровый номер	Наименование торфяного месторождения. Землепользователь. Ориентиры.	Стадия и год разведки	Площадь, га		Мощность торфяной залежи, м. Макс./сред.	Категория изученности запасов	Ресурсы, тыс. т.	Тип и качественная характеристика торфяной залежи	Примечание
			В нулевой границе	В границе пром. глубины торфяной залежи					
<b>XVI. территория г. Асбест</b>									
799	Черное ГЛФ От г. Асбест на СЗ в 8,0 км жд ст. на СЗ в 12,5 км с. Изумруд на З в 1,0 км	Д-1951-1952	389	277	8,80/ 4,68	С <sub>2</sub>	1387	В, С, П R-21 А-3,9 W- 93,7	Решение Свердл. Облисполкома №286 от 30.06.83

Тип и качественная характеристика основной массы торфяного месторождения представлена залежью верхового, переходного и смешанного типов.

Степень разложения торфа R -21%. Зольность торфа, на абсолютно сухое вещество А - 30 %. По классификации торфов – высокозольные, если А > 20 %. Зольность торфов имеет важное агрономическое значение, так как в составе золы присутствуют зольные элементы питания (Р, К, Са, Mg и др.). В то же время повышенное содержание оксидов железа, водорастворимых солей в составе золы торфа резко снижает его качество. Зольность торфов верховых болотных почв наиболее низкая (2-5%), низинных - составляет от 5-10% у обедненных (переходных) до 30-50% у высокозольных. Естественная влага торфа W – 93,7 %.

Для оценки и изучения физических и химических свойств торфяных залежей в Малышевском городском округе произведен отбор проб.

Химический состав образцов определен с помощью программы СПЕКТР-W БРА-18 предназначенной для проведения качественного анализа разнообразных материалов на

анализаторе БРА-18 в диапазоне энергий от 1 до 40 кэВ (K-спектры химических элементов в диапазоне Z от 11(Na) до 57(La), L-спектры элементов от Ga(31) до Am(95), а также M-спектры элементов от Eu(63) до Am(95).

Определение наличия тех или иных элементов в образцах достигается при сканировании по длинам волн с записью интенсивности излучения в каждый момент сканирования и с одновременным графическим отображением.

Был определен состав элементов образцов Fe, Ca, Si, K, Cl, Ti, S, V, Al, Cr, Mn (элементы расположены по убывающей).

Был произведен экспресс-анализ влажности образцов термографическим методом. Анализ влажности проб производился посредством влагомера весового MF – 50, диапазон измерения массовой доли влаги 0-100%, при t 105°C.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Алалыкина Д.И. О пожароопасности возгораний торфяных залежей в пределах Малышевского городского округа. Междунар. научн. –практ. конф. «Уральская горная школа – регионам», 20 – 21 апреля 2015 г., - Екатеринбург : Изд. УГГУ, с. 385 – 386.

2. Оценка состояния, перспектив использования и развития сырьевой базы торфа Свердловской области, Геологический отчет ООО «Торфгеология» Министерства природных ресурсов Свердловской области, 2002 г., 65 с.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ АЗИМУТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ВЧР И СКОРОСТИ СУММИРОВАНИЯ

Горелик Г. Д.

Научный руководитель Сысоев А. П., д-р техн. наук, профессор  
Санкт-Петербургский горный университет

Современные обрабатывающие системы основываются на гиперболическом описании годографов отраженных волн, полученных для однородной модели среды в предположении, что наблюдения выполнены на плоской горизонтальной поверхности. Поскольку реальная земная поверхность только в исключительных случаях может быть описана горизонтальной плоскостью, в регистрируемое волновое поле вводят задержки — статические поправки, рассчитываемые для каждого источника и приемника упругих колебаний, которые позволяют учесть геометрию рельефа дневной поверхности и скоростные неоднородности верхней части разреза (ВЧР).

Наблюденный годограф отраженной волны описывается двумя составляющими — нормальным годографом ОГТ (общей глубинной точки), описываемым вертикальным временем  $t_0$ , удалением  $l$  и эффективной скоростью  $v_0$ , определенными от линии приведения, и суммарной (за источник и приемник) статической поправкой  $\tau$ :

$$t = \sqrt{t_0^2 + l^2/v_0^2} + \tau.$$

Ввод статических поправок основан на допущении вертикальности траектории распространения сейсмического луча в зоне неоднородности, что соответствует нулевому значению скорости в области пересчета [4]. При пересчете высокоскоростных неоднородностей данное условие не выполняется для удалений, сопоставимых с глубиной исследования, что приводит к искажениям эффективных скоростей, определяемых после пересчета поля [1,2,3].

Рассмотрим модель среды, представленную однородным слоем, залегающим на полупространстве (рис.1). Неоднородность рельефа дневной поверхности представлена возвышением треугольной формы с перепадом высот 100 м. Скорость распространения сейсмических волн в слое постоянна и равна 2500 м/с. Глубина отражающей границы от нулевой отметки рельефа, совпадающей с поверхностью приведения — 750 м. Выполним моделирование волнового поля по двум профилям длиной 15 км каждый, один из которых проходит вкrest простирания неоднородности рельефа (профиль А), а второй — по ее вершине с альтитудой 100 метров (профиль В).

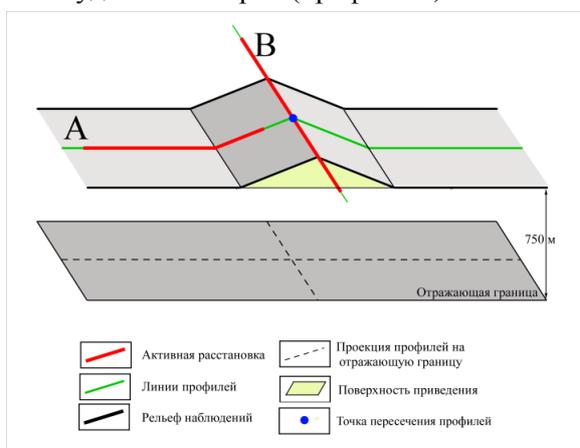


Рис.1. Модель среды

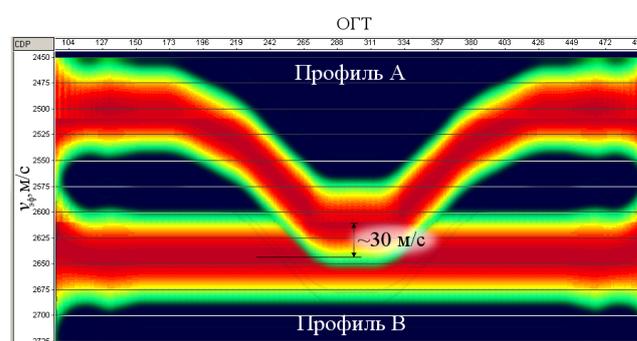


Рис.2. Спектры скоростей для профилей А и В после пересчета поля статическими поправками

По материалам моделирования решалась задача горизонтального скоростного анализа после компенсации неоднородности ВЧР статическими поправками. Результат представлен горизонтальными спектрами эффективных скоростей  $v_{эф}$  на рис.2.

Мы ожидаем, что в точке пересечения профилей эффективные скорости, определяемые после пересчета волнового поля статическими поправками на каждом из профилей, будут равны между собой. Однако, как видно из анализа полученных спектров, это не так. Скорость, определенная в точке пересечения на профиле *A*, равна ~2615 м/с, а скорость, определенная вдоль профиля *B*, ввиду отсутствия изменений рельефа постоянна и равна ~2645 м/с, что на 30 м/с отличается от значения, полученного на профиле *A* в точке их пересечения.

В случаях линейного изменения альтитуд рельефа дневной поверхности (в пределах базы наблюдений) для всех трасс, принадлежащих выборке ОГТ, суммарная статическая поправка равна поправке, определенной в координате ОГТ [3]. Когда размер неоднородности рельефа сопоставим с длиной годографа, поправка пересчета волнового поля зависит от удаления, что приводит к изменению скоростей суммирования. Полученный результат определяет азимутальную анизотропию эффективных скоростей, обусловленную неоднородностью рельефа дневной поверхности, и требует учета при выполнении анализа азимутального распределения скоростей в процессе обработки 3D данных.

Одним из решений проблемы является применение параметрического способа компенсации неоднородности ВЧР, который инвариантен к положению линии приведения и исключает влияние неоднородностей ВЧР на эффективные скорости отраженных волн, определяемых после пересчета [3,5]. На рис.3 представлен горизонтальный спектр эффективных скоростей, полученных после компенсации неоднородностей параметрическим способом. Независимо от направления, спектр характеризуется постоянным значением скорости, точно соответствующим параметру модели.

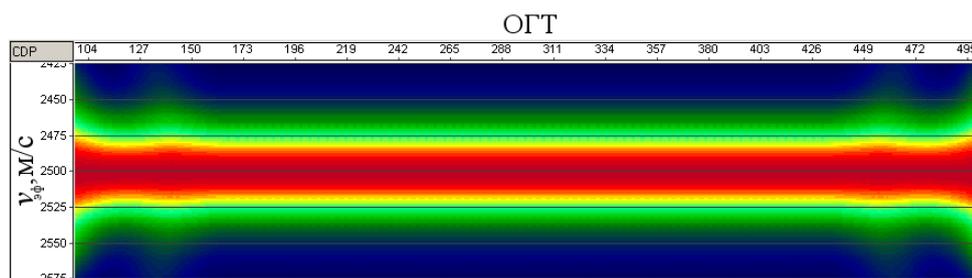


Рис.3. Совмещенные спектры эффективных скоростей для профилей *A* и *B* после пересчета поля параметрическим способом

Автор выражает искреннюю благодарность профессору кафедры ГФХМР Санкт-Петербургского горного университета Анатолию Петровичу Сысоеву за постановку задачи, ценные консультации и поддержку в процессе ее решения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сысоев А. П., Янивец Р. Б. Влияние рельефа на оценки кинематических параметров отраженных волн // Геофизический вестник. 2004. № 12. с. 10–15.
2. Сысоев А. П. Коррекция кинематики отраженных волн с целью компенсации влияния переменного рельефа поверхности наблюдений // Технологии сейсморазведки, № 1, 2008, с. 39-45.
3. Сысоев А. П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2011, 90 с.
4. Горелик Г. Д., Сысоев А. П. Применение двухслойной модели среды для коррекции кинематики отражённых волн в задаче учёта поверхностных неоднородностей // Технологии сейсморазведки. 2015, № 3, с.75-79.
5. Горелик Г. Д. Компенсация влияния структурных неоднородностей верхней части разреза при обработке данных МОГТ // Сборник материалов XVI Уральской горнопромышленной декады, 2016 с.117-118.