

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В АХАНГЕШЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ.

В.И. Французова^{1,2}, К.Б. Данилов¹

¹*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, Россия,
danilov_kostea@mail.ru, vifrancuzova@gmail.com*

²*Сектор сейсмического мониторинга севера Русской плиты
Геофизической службы РАН, Архангельск, Россия, vifrancuzova@gmail.com*

Введение

Известно, что на территории Севера Русской плиты уже к настоящему времени открыто и с успехом разрабатывается большое количество рудных и иных месторождений. Причем перспективность открытия новых значительных по объему месторождений, например, углеводородов и алмазов, в этом районе весьма значительна. Вместе с тем, использование традиционных и довольно дорогих геофизических и сейсморазведочных методов в настоящее время не позволяет получать сведения об их местоположении с хорошим разрешением. Требуется разработка новых методов. В этой связи весьма перспективным представлялось воспользоваться методом низкочастотного микросейсмического зондирования (ММЗ) [2], результативность которого проверена автором при выявлении различных геологических объектов. В течение 2008-2014 гг. проверка эффективности метода проводилась на территории Архангельской области. Исследования проводились как на ряде тестовых объектов, тщательно обследованных геолого-геофизическими методами, в частности, трубок взрыва им. М. В. Ломоносова Золотицкого и С10 Ненокского полей Архангельской алмазоносной провинции (ААП), так и на новых перспективных объектах. Например, исследована структура верхней части земной коры на участках Земли Александры арх. Франца-Иосифа (ЗФИ). Для сейсмологической практики важно использование этого метода для определения места установки сейсмической аппаратуры (при выявлении участков консолидированной геологической среды).

Метод и аппаратура

Метод микросейсмического зондирования (ММЗ) [2,3] основан на использовании естественного микросейсмического поля и реализуется при допущении, что вертикальная компонента микросейсмического поля определяется преимущественно вкладом фундаментальных мод волн Релея. Метод ММЗ является в какой-то мере экспрессным, позволяющим выявлять достаточно детально геологические неоднородности, в частности, трубок взрыва, быстро и с малыми затратами.

Полевые работы по всем объектам производились в период 2008-2013гг. Для определения статистически устойчивого спектра производилось накопление сигнала в течение 1,5 часов в каждом пункте. Шаг между пунктами замеров составлял 50-100 м. Микросейсмический сигнал регистрировался такой аппаратурой, как: UGRA-54 с датчиками CM3-KB и CM3-OC, станцией GSR-24 с датчиками CMG-40T и CMG-3ESP.

Анализ и обсуждение результатов

На вертикальных срезах диаграмм относительной интенсивности микросейсмического поля, замеренного на трубке взрыва им. М.В.Ломоносова (рисунок 1,а,б), выделяются четыре низкоскоростные зоны. Первые три западные зоны имеют наибольшую контрастность, практически, строго вертикальные границы и линейное строение. Четвертая низкоскоростная зона по координатам, располагающаяся на участке, соответствующем реальному расположению исследуемой трубки им. М.В. Ломоносова, обладает конусовидным строением с вершиной, обращенной вниз, что характерно для трубок взрыва [1, 4].

Если предположить, что автолитовые брекчии трубки взрыва характеризуется меньшими скоростями, по причине внедрения их в следующий этап становления диатрем [1] в отличие от туфо- и ксенотуфобрекчий, характеризующихся наиболее ранними образованиями, тогда данные обработки промеров на профиле (рис.1,а,б) согласуются с геологическими данными: на диаграммах видны элементы двух стадийного формирования трубки, причем автолитовые брекчии отмечаются более низкоскоростной линзой.

Автолитовый рудный столб расщепляется на две части – западную и восточную, которые на горизонте -150 м полностью изолированы одна от другой рудным столбом туфо- и ксенотуфобрекчий. Ниже горизонта -550 м эти две разобщенные части рудного столба вновь сливаются воедино, что согласуется с данными отчета [1].

На (рис. 1,а,б) к западу от трубчатого тела наблюдаются три контрастные низкоскоростные зоны, которые, вероятнее всего, являются разрывными нарушениями. Это утверждение согласуется с известными фактами, что трубки взрыва сопровождаются параллельными и радиальными разрывными нарушениями [4]. Кроме того, об этом соответствии свидетельствуют и независимые геофизические данные, полученные при исследовании данной трубки электроразведочным методом [8].

Для оценки соответствия результатов ММЗ геофизическим данным было произведено их сопоставление с физическими моделями [4] (рис.2,а,б), результатами геоэлектрических исследований [8] (рис.3,а,б).

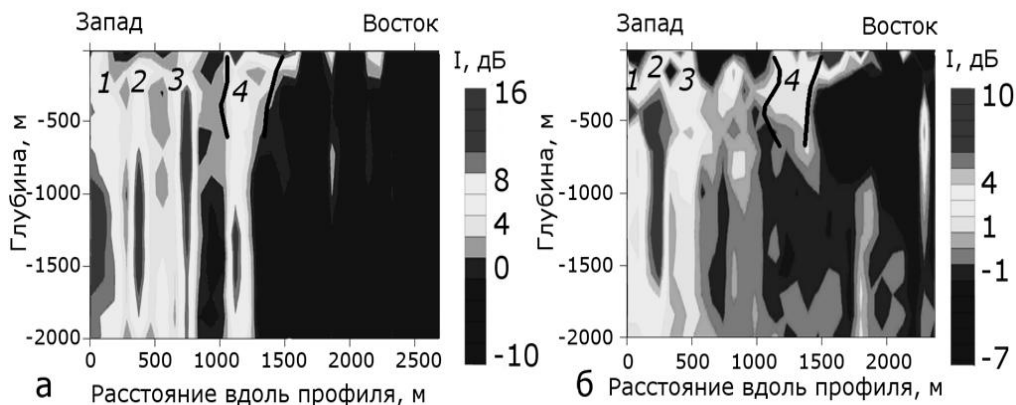


Рис. 1. – Геофизические разрезы вдоль профилей, пересекающих трубку взрыва им. М.В. Ломоносова, с номерами выделенных низкоскоростных неоднородностей: а – первый профиль, б – второй профиль, черными линиями обозначены контуры трубки взрыва по геофизическим данным.

Наибольшая сходимость с данными микросейсмического зондирования наблюдается при сопоставлении с моделью [4] (рис.2,а,б). Наложение геологического разреза на диаграмму распределения интенсивностей микросейсм, представленного на рисунке 2,а, показывает, что выделенная зона в полной мере совпадает с обозначенными в [4] бортами трубки взрыва им. М.В. Ломоносова. Здесь можно выделить все три блока трубки. Верхний слой проявляется на глубинах 100-200 м в виде более низкоскоростного слоя с внедрением высокоскоростной линзы. При этом наиболее низкоскоростная часть трубки выделяется с запада.

Полученные незначительные разногласия объясняются двумя причинами. Во-первых, интенсивность микросейсм не связана напрямую со скоростями продольных волн; во-вторых, метод микросейсмического зондирования характеризуется высокой разрешающей способностью по горизонтали и по этой причине данным методом позволяет получить более детальную информацию, чем имеется в обобщенных геофизических моделях.

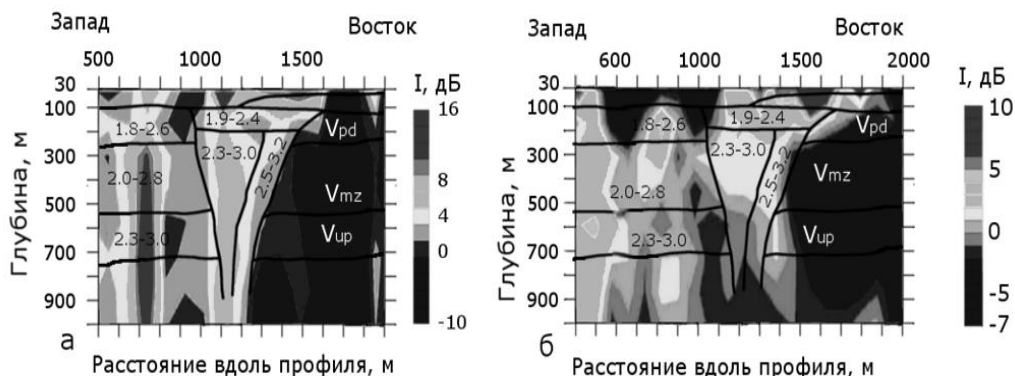


Рис. 2– Глубинные разрезы относительной интенсивности микросейсмического поля вдоль профилей, пересекающих трубку взрыва им. М.В. Ломоносова, с наложением физико-геологической модели трубки взрыва [4]: а – первый профиль, б – второй профиль, Vpd, Vmz, Vup – соответственно падунская, мезенская, усть-пинезжская свиты.

Наложение границ, выделенных по данным геоэлектрических исследований [8] на диаграмму распределения относительных интенсивностей микросейсм (рис.3,а,б), показывает, что границы трубки, выделенные по данным обоих методов, совпадают. При этом следует отметить совпадение зоны повышенной проводимости внутри трубки с зоной повышенных значений интенсивности микросейсм в западной части трубки. Высокоинтенсивные зоны над трубкой согласуются с опусканием приповерхностного слоя с 25 до 50 м, выделенного электроразведкой. С запада от трубки зона разгрузки минерализованных вод, выделенная электроразведкой, наблюдаемая на участке профиля 400-800 м, характеризуется повышенными значениями относительной интенсивности микросейсм. Последнее, скорее всего, обусловлено раздробленным строением зоны разгрузки минерализованных вод. Непосредственно под зоной разгрузки выпуклая часть нижнего слоя (глубина 100-200м) по данным электроразведки, описывается верхней частью контрастных высокоинтенсивных зон по результатам микросейсмического зондирования. Можно предположить, что выпуклая часть нижнего слоя обусловлена поднятием, сопровождающимся разломными процессами.

Непосредственно под зоной разгрузки минерализованных вод по данным первого профиля наблюдается вертикальные контрастные низкоскоростные зоны, продолжающиеся до глубин более чем 2 км. Вероятно, контрастные зоны обусловлены тектоническими нарушениями, выполняющими роль подводящих каналов для зоны разгрузки минерализованных вод. Таким образом, данные ММЗ не только согласуются с результатами электроразведки, но и дополняют их картированием подводящих каналов трубки взрыва и зон разгрузки минерализованных вод.

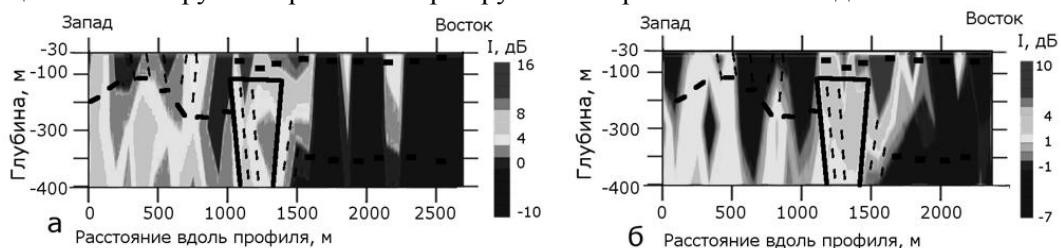


Рис. 3 – Глубинные разрезы относительной интенсивности микросейсмического поля вдоль профилей, пересекающих трубку взрыва им. М.В. Ломоносова глубиной до 400 м, с наложением границ, выделенных по данным электроразведки [8]: а – первый профиль, б – второй профиль.

Анализ данных диаграмм распределения относительных интенсивностей микросейсм по расстоянию и с глубиной (рис.4,а,б) показывает наличие хорошо выраженной трубки С10 в пределах расстояний по профилям в направлении запад-восток от 620 м до 880 м и север-юг от 0 м до 450 м. Так, на рис. 4,а отчетливо выделяется круто падающая зона повышенных скоростей с внедрением линзы еще более плотных пород. Ее размеры увеличиваются при приближении к поверхности с некоторой асимметрией. В пределах этой зоны выделяются, характерные для трубок взрыва, корневая (с глубины 2500 м), диатремовая (выше 1700м), переходная - жерловая (выше 900 м) и кратерная (с глубины 100 м) части с характерными раздувами даек. Представляется, что высокоскоростной характер пород Ненокской трубки определяется своеобразной особенностью брекчий, выраженной наличием в них (как в связующей массе, так и в хондрах) сростков вкрапленников моноклинного пироксена, по оптическим характеристикам их зерна менее железисты по сравнению с одиночными кристаллами [5]. В левой части диаграммы прослеживается низкоскоростная зона вмещающих пород, наиболее выраженная в пределах глубин от 0 м до 900 м, причем к западу на глубинах менее 150 м уже располагаются высокоскоростные породы. Согласно данным [9] низкоскоростная зона является, контролирующей трубку, частью Верховского разлома. Стоит обратить внимание на существенное различие диаграмм трубок им. М.В.Ломоносова и С10 Ненокского поля (рис.1, 4), которые объясняются объективными причинами. В частности, согласно [7] трубка С10 характеризуется набором породообразующих минералов: ортопироксен, клинопироксен, оливин (псевдоморфозы сапонита по оливину?) типичный для трубок Ненокского поля; высоким уровнем сапонитизации, ранее не отмечавшийся для пород Ненокского поля. Изученная порода принадлежит к щелочно-ультраосновным вулканитам натрового типа щелочности и отличается от известных трубок Ненокского поля своим высоким отношением $Na/K=10,9$. Для нее характерна низкий уровень магнезиальности около 12,0 %, высокая степень глиноземистости около 11,5 % и относительно повышенное содержание TiO_2 1,12 %. Основную часть тяжелой фракции концентрата слагают минералы группы пироксена.

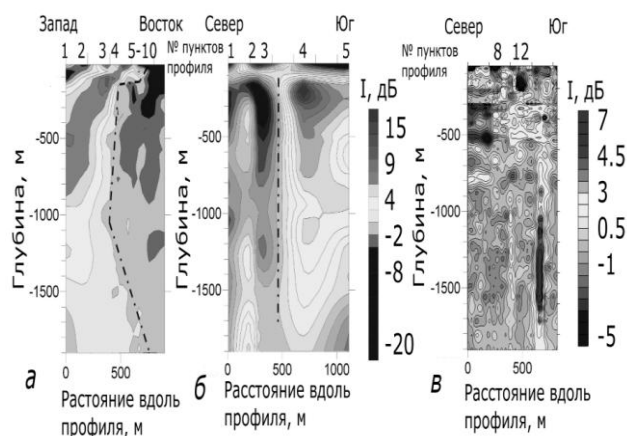


Рис. 4 – Геофизические разрезы вдоль профилей, пересекающих трубку взрыва С10 и ложной геофизической аномалии G23: а, б - профили трубки С10, в - профиль ложной геофизической аномалии.

В верхней части разреза ложной аномалии G23 (рис.4,в) прослеживается низкоскоростная зона в пп.9-12 до глубин 300 м с внедрением более высокоскоростного фрагмента в пределах глубин 150-300 м. Начиная с глубины 120 м, при приближении к поверхности, зона становится еще более низкоскоростной. С южной стороны этот участок зоны оконтуривается примерно на тех же глубинах(пп.6-8) более высокоскоростным участком, за которым в южном же направлении следует довольно размытый участок низкоскоростных пород, на глубинах 200-250 м, оконтуренный, в свою очередь, более высокоскоростными породами. Ниже, начиная с глубины 300 м и до 600 м в пределах расстояний (пп.1-8) располагается участок высокоскоростных пород, продолжающийся ниже перемежающимися участками высокоскоростных и низкоскоростных пород. К северу от этих участков располагается (пп.8-20), широко развитая с боковыми раздувами, структура низкоскоростных пород, уходящая узким хвостовым окончанием на глубину более 1000 м. Отметим, что структура геофизической аномалии существенно отличается от структур рассмотренных трубок взрыва, что лишний раз подтверждает адекватность, получаемых методом ММЗ, характеристик геологических объектов.

Анализ диаграмм данных промера фоновых микросейсм в пункте мыс Нагурского о. Александры (рис. 5,а,б) показывает, прежде всего, что осадочный чехол о. Земля Александры в районе мыса Нагурского гетерогенен. В частности, на диаграммах профилей № 1 и № 2 наблюдаются протяженные низкоскоростные и высокоскоростные зоны, свидетельствующие о том, что зоны, вероятно, представляют структуры растяжения, обусловленные всплывающим суперплюмом, как указывается в работе [10]. Растяжение структур земной коры сопровождается проникновением через ослабленные зоны тел долеритов и другого магматического вещества.

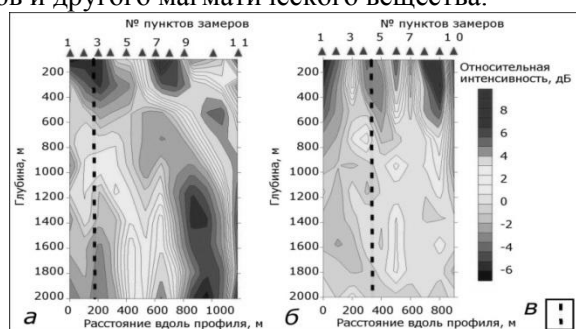


Рис. 5 -Диаграмма распределения относительной интенсивности микросейсм вдоль профилей: а – первый профиль; б – второй профиль; в – линия пересечения профилей № 1, 2.

При этом низкоскоростные зоны в пределах осадочного слоя, скорее всего, являются отражением процесса битумонакопления, открытого во время экспедиционных работ в этом районе [6]. Например, низкоскоростная зона, представленная двумя участками на глубинах от 2000 м до 1300-1500 м (профиль № 1) похожа по конфигурации “на ловушки” вещества с малой плотностью. А аномальная зона на рис.5, выраженная широкой полосой высокоскоростного участка на этом профиле, протягивающаяся с глубин 2000 м и до самой поверхности осадочного чехла, возможно, обусловлена наличием интрузий дайкового типа и других вулканических пород, возникших, по всей вероятности, в результате активности самого молодого этапа магматизма. Возможно их проявление и

на больших глубинах. На диаграмме профиля №1, кроме того, видна в пределах расстояний от 500м до 1100м, скошенная и пронизывающая весь осадочный чехол (от поверхности до 2000м), резко выраженная низкоскоростная зона, представляющая по всей вероятности, либо разлом, либо нарушение. Это предположительно может быть подтверждено результатами бурения скважины «Нагурская», при котором было выявлен ряд преломляющих границ в осадочном чехле. В пределах профиля также отмечаются преимущественно близповерхностные перемежающиеся высоко и низкоскоростные зоны, что лишний раз подтверждает процесс растрескивания земной коры в результате всплывания суперплюма.

Выводы

По результатам исследования определены основные параметры трубок взрыва:

- отличие скоростных свойств пород трубки взрыва от вмещающих пород;
- изменение структуры строения среды;
- геометрические признаки трубок взрыва, выраженные формой выделяемого объекта.

Сопоставление результатов микросейсмического зондирования трубки взрыва с геофизическими данными, показывают, что распределения относительной интенсивности микросейсмического поля вдоль профилей, пересекающих трубки взрыва, отражают близкие к реальным, структуры трубки взрыва и вмещающей среды.

Полученные результаты свидетельствуют о возможностях метода микросейсмического зондирования получать информацию о трубках взрыва и вмещающей среды с большими, относительно других применяемых геофизических методов, чувствительностью и разрешением по горизонтали.

Метод позволяет получить дополнительную информацию о картировании подводящих каналов к трубке взрыва и зон разгрузки минерализованных вод.

Комплексное рассмотрение геолого-геофизических и новых сейсмических данных позволило сделать ряд дополнений в имеющуюся информацию о структуре трубок взрыва и вмещающей среды, имеющих отношение к их глубинному строению.

В целом, полученные результаты свидетельствует о возможности выявления аномалий геофизической среды на больших площадях. При дальнейшем, более широком фронте экспедиционных работ появится возможность проводить сейсмическое картирование любых территорий, необходимое для поиска полезных ископаемых, в том числе, и Арктического региона.

Список литературы

1. Вержак В.В., Медведев В.А., Веричев Е.М. и др. Отчет о результатах разведки кимберлитовых трубок месторождения им. М. В. Ломоносова в 1983-1987 гг. // Архангельск: ПГО «Архангельскгеология» Беломорская геологоразведочная экспедиция, 1987. - 2534 с.
2. Горбатилов А.В. Пат. РФ № 2271554: Бюл. изобр. – 2006 - № 7.
3. Горбатилов, Цуканов, Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования // Физика Земли, 2011, № 4, С. 96-112.
4. Губайдуллин М.Г. Региональные геолого-геофизические модели литосферы // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы // Отв. ред. Юдахин Ф.Н. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 48-56.
5. Каминский Ф.В. Щелочно-базальтовые брекчии Онежского полуострова // Изв. АН. СССР, Сев. Геол. 1976. №7. С. 50-59.
6. Клубов Б.А., Острой А.С. О первых находках природных битумов на Земле Франца-Иосифа. // Докл. РАН. 1995. Т.342, №6. С. 785-788.
7. Лешуков С.И., Белов А.В., Прусакова Н.А., и др. Поисковые работы на алмазы на Онежской площади (Архангельская область). Отчет по объекту 1-75/07. Гос.контракт №1.Лицензия АРХ 01210 КП.// ЗАО Архангельские Алмазы, 2010, с. 1864.
8. Стогний Вас. В., Коротков Ю.В. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. Новосибирск: Издательство «Малотиражная типография 2Д», 2010. 2008. 121 с.
9. Станковский А.Ф., Данилов М.А., Гриб В.П., Синицин А.В. Трубки взрыва Онежского полуострова // Сов. Геология 1973. № 8-С 69-78.
10. Шипилов Э.В., Карякин Ю.В., Матишов Г.Г. Баренцевско-Амеразийский юрско-меловый суперплюм и инициальный этап геодинамической эволюции Арктического океана // Докл. РАН, 2009. Т.426, №3. С.1-4.