

Семинар «СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНОМАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИМ НАРУШЕНИЕМ

В.В. Бодин - ИГД УрО РАН, Екатеринбург

Тектонические нарушения, развитые в пределах шахтных полей, существенно осложняют ведение горных работ в связи с повышенной удароопасностью, отмеченной в окрестности разломов. Согласно анализу статистики геодинамических явлений, зарегистрированных на рудниках, до 80 % из них пространственно приурочены к тектоническим нарушениям. Одной из причин возникновения горно-тектонических ударов является превышение суммарного поля напряжений разлома и техногенного поля над пределом прочности горной породы. Актуальным в данной ситуации является контроль напряженно-деформированного состояния породного массива с использованием аномальных сейсмических колебаний, возникающих в окрестности тектонических нарушений.

Ранее было установлено, что при прохождении сейсмической волны малой амплитуды через тектоническое нарушение, на некотором удалении от него, возникает аномальное колебание, длительность которого намного превосходит длительность сейсмического импульса. Пример записи указанного колебания приведен на рис. 1.

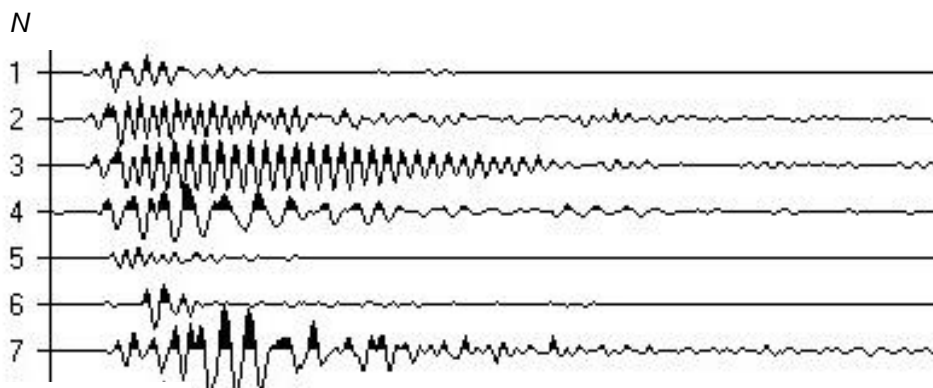


Рис. 1. Пример записи аномального колебания в окрестности тектонического нарушения

Динамические параметры данного колебания также отличаются от параметров проходящей волны. Так, например, его амплитуда превышает амплитуду исходного сигнала от трех до десяти раз, частота амплитудного максимума выше на 10 - 15 %, в некоторых случаях в амплитудно-частотных спектрах аномальных колебаний выделяются кратные гармоники.

Сопоставление частоты аномальных колебаний с уровнем поля напряжений, измеренного в пунктах сейсмических наблюдений, показало их значимую корреляционную связь, что дает основание для разработки методики контроля напряженно-деформированного состояния породного массива, находящегося в зоне влияния тектонического нарушения.

Данная методика предполагает использование аналитического выражения зависимости динамических параметров аномального колебания от уровня концентрации напряжения локального участка породного массива. Для выбора математической модели колебания данного типа, прежде всего, необходимо установить его физическую природу. С этой целью выполнен анализ влияния на динамические параметры колебаний различных условий возбуждения и регистрации. На основании полученных данных делается вывод о природе данного аномального колебания.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ УЧАСТИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕТИ В ГЛОБАЛЬНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Н.В. Ваганова - ИЭПС УрО РАН, Архангельск

Создание Архангельской сейсмической сети началось в 2003 году и было продиктовано объективными причинами: во-первых, территория северо-запада Восточно-Европейской платформы не имеет развитой сети сейсмических наблюдений, за исключением имеющихся станций Пулково, Москва, Обнинск, Апатиты, во-вторых, изучение слабых землетрясений Архангельской области представляет интерес для понимания геодинамических процессов и тектонических движений, а также для изучения наведенной сейсмичности, которая в наш век технического прогресса ощутимо растет и связана с антропогенным воздействием на среду.

В настоящее время Архангельская сейсмическая сеть состоит из шести действующих станций, расположение которых показано на рис. 1. Пять станций укомплектованы короткопериодной аппаратурой, а станция Климовская дополнительно еще и комплектом широкополосной цифровой аппаратуры, предназначенной для проведения региональных и телесеизмических наблюдений. В дальнейшем планируется ввод в эксплуатацию еще двух станций.

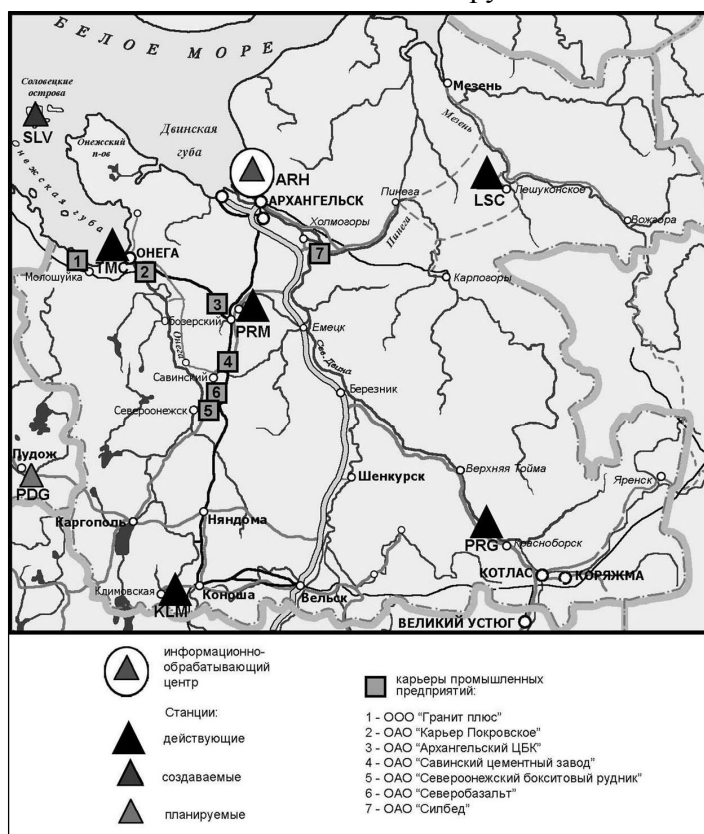


Рис. 1. Карта расположения сейсмических станций Архангельской сети

В Архангельске расположен Информационно-обрабатывающий Центр (АИОЦ), куда стекается вся информация со станций и производится обработка данных на основе программного комплекса WSG [1]. Обработка включает в себя расстановку всех видимых сейсмических фаз, расчет эпицентрального расстояния, определение динамических характеристик землетрясений. В АИОЦ

ведется составление альбома волновых форм, где представлены характерные волновые формы телесеизмических, региональных землетрясений из разных зон земного шара, а также локальных событий, промышленных взрывов и техногенных катастроф.

Архангельская сейсмическая сеть включена в Федеральную Сеть Геофизической Службы (ГС РАН). Качество сейсмических записей и результаты обработки признаны в ГС РАН достаточно высокими, поэтому наша сеть является полноправным участником глобального сейсмического мониторинга, проводимого ГС РАН. Следует отметить, что с каждым годом число зафиксированных и обработанных землетрясений мира увеличивается. В 2004 году станциями Архангельской сети было зарегистрировано 348 событий, в 2005 году – 1237, а в 2006 году – 1638. Это связано с увеличением станций в сети, улучшением качества записи, а также с повышением квалификации и опыта персонала Архангельского Обрабатывающего Центра (АИОЦ).

На рис. 2. представлена карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных станциями Архангельской сейсмической сетью в период с 20 апреля по 1 мая было зарегистрировано 34 события. Волновые формы и положение эпицентра девятибалльного землетрясения, произошедшего на севере полуострова Камчатка представлены на рис. 2.

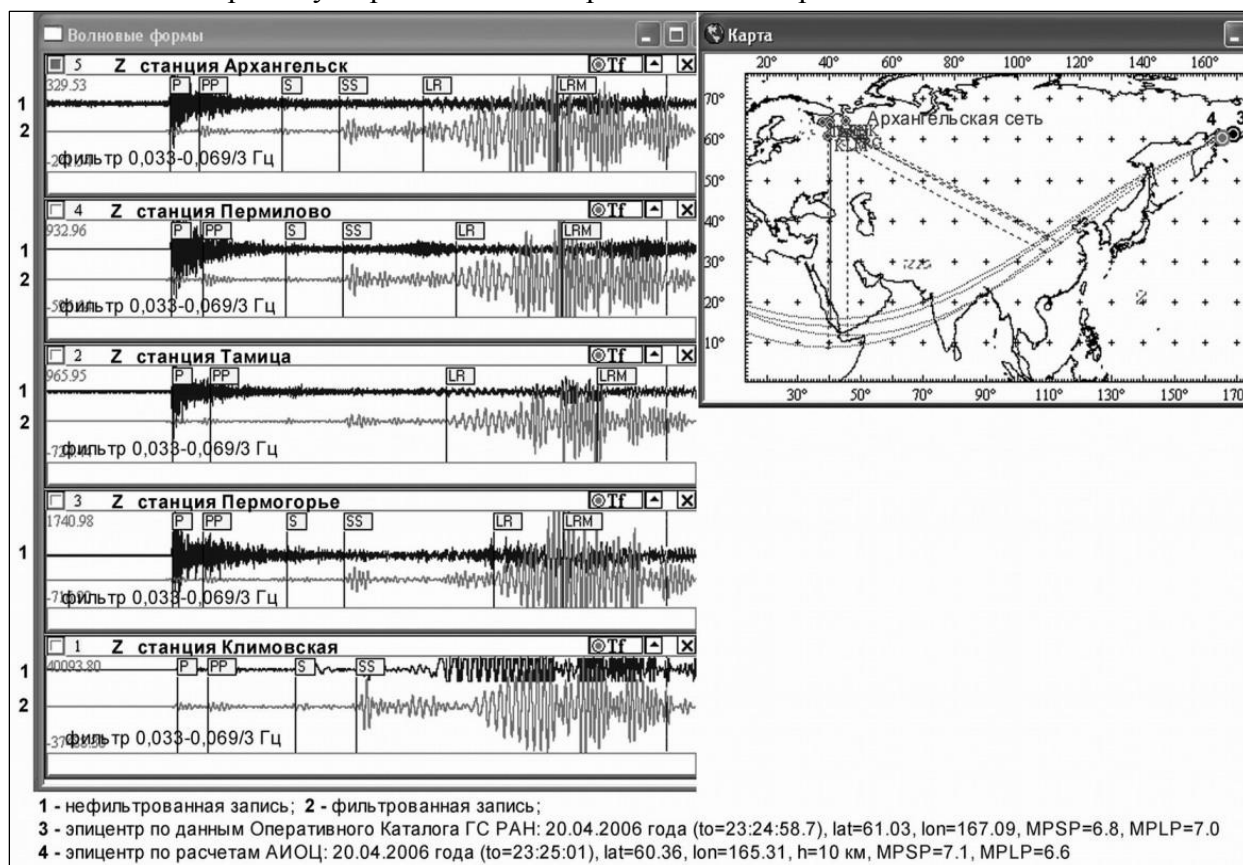


Рис. 2. Волновые формы и положение эпицентра землетрясения в Коряжском АО 20 апреля 2006 года (to=23:24:58.7), 61.03° с.ш., 167.09° в.д., h=10 км, Io=9

В совокупной обработке сильных землетрясений по данным нескольких станций точность определения координат эпицентра повышает выделение вторичных фаз S, SS, а также поверхностных волн Лява и Релея, которые могут быть видны на записях при применении длиннопериодного фильтра третьего порядка 0.033 – 0.069 Гц. Причем поверхностные волны могут быть выделены не только на записях широкополосных каналов, но и на записях короткопериодных каналов. В данном случае разница в определении эпицентра в ГС РАН и АИОЦ по широте составляет 0.67°, что для данного эпицентрального расстояния является допустимым, а по долготе – 1.78°, это можно объяснить тем, что станции Архангельской сети расположены в узком створе по отношению к эпицентру землетрясения.

Естественно, что сейсмические станции на различных эпицентральных расстояниях способны регистрировать события разного энергетического уровня. На рис. 3(а) показано распределение зафиксированных событий в соответствии с эпицентральной расстоянием. В расчет взяты землетрясения, зарегистрированные станцией Климовская в 2004 – 2006 гг. Наибольшее число очагов зафиксированных событий расположены на расстоянии 60-70° от Климовской. В данную зону входят самые сейсмически активные регионы: Япония, Никобарские острова, Тайвань, о. Суматра. А наименьшее число землетрясений зарегистрировано из удаленных зон земного шара: Чили, Аргентины, островов Новой Британии, Новой Гвинеи. На рис. 3(б) показано разложение всех сейсмических событий по магнитудам, то есть гистограмма отражает вклад каждой магнитуды в общую сумму землетрясений.

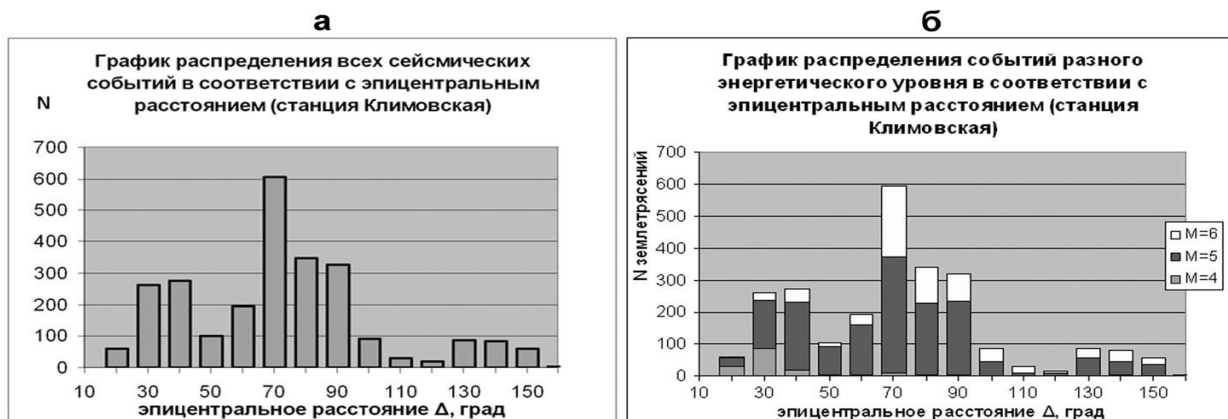


Рис. 3. Распределение зафиксированных сейсмических событий в соответствии с эпицентральным расстоянием: а – все землетрясения; б – разложение землетрясений по магнитудам

Очевидно, что на телесеismicких расстояниях подавляющее число землетрясений имеют магнитуду $M=5$, но если рассматривать региональные расстояния (Δ до 20°), то видна тенденция к увеличению доли землетрясений с $M=4$ [1]. Чем ближе очаги землетрясений с $M=4$ находятся к сейсмической станции, тем увереннее они выделяются на записях.

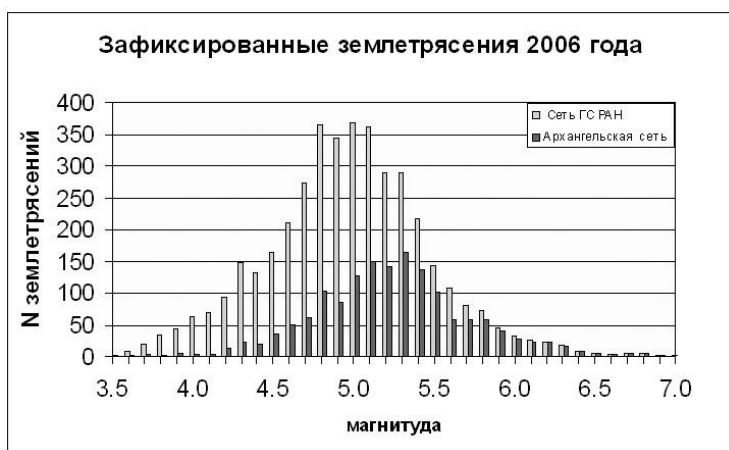


Рис. 4. Сравнение количества зарегистрированных землетрясений сетью ГС РАН и Архангельской сетью

Из рис. 4 при сравнении количества зарегистрированных землетрясений сетью ГС РАН и Архангельской сетью показано, что при регистрации землетрясений с магнитудой до 5.3 Архангельская сеть отстает количественно, что вполне объяснимо, ведь в системе глобального сейсмического мониторинга ГС РАН присутствуют станции, разнесенные по всему Земному шару и по этой причине практически всегда присутствуют станции, хорошо приближенные к эпицентрам землетрясений. Для станций Архангельской сети такая благоприятная возможность исключена, тем и объясняется меньшее количество зарегистрированных землетрясений и максимум чуть сдвинутый в сторону больших магнитуд. Но в регистрации событий с $M>5.5$ результаты существенно не различаются [2].

Сейсмическая станция Климовская является опорной в сети ГС РАН, поскольку она оснащена комплектом широкополосных датчиков, расположена в благоприятных по микросейсмическим характеристикам условиях и качество записей признано в ГС РАН достаточно высоким. В рутинной обработке по записям расставляются все видимые фазы, вычисляется эпицентральное расстояние, а также определяются динамические характеристики землетрясения: магнитуда по объемным и поверхностным волнам.

Сравнение m_b и $MPSP$ позволяет оценить определение энергии землетрясений и мы видим, что в АИОЦ магнитуда несколько завышена. Большая часть точек лежит выше линии m_b , значит значение $MPSP$ почти всегда больше, чем значение m_b . Это, возможно, происходит из-за различия в длительности интервала определения магнитуд (рис. 5).

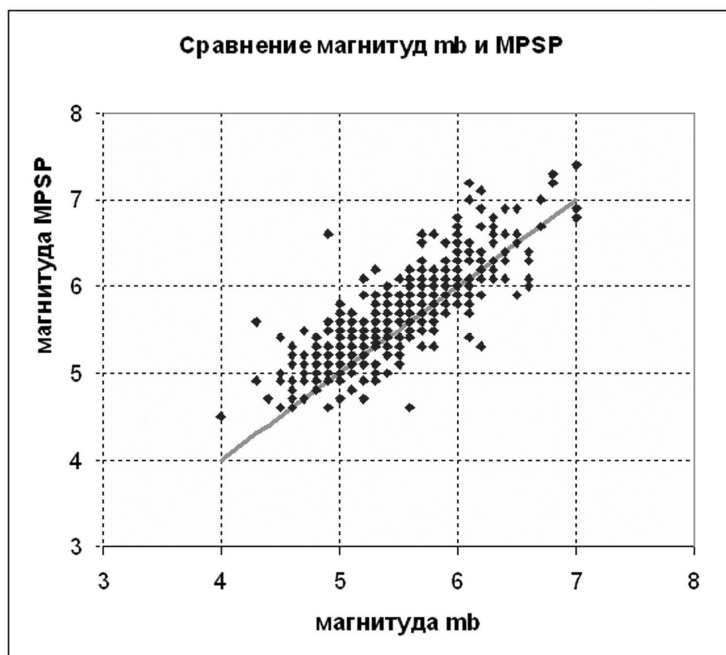


Рис. 5. Сравнение магнитуд mb и MPSP

Таким образом, сеть сейсмических наблюдений на территории Архангельской области позволяет решать широкий круг задач, среди которых:

- участие в сейсмическом мониторинге телесеismicических и региональных землетрясений, проводимых ГС РАН,
- регистрация местных (локальных) землетрясений и проведение макросейсмического обследования их эпицентральных зон,
- мониторинг промышленных взрывов и использование их для изучения строения земной коры и верхней мантии,
- контроль чрезвычайных ситуаций, анализ характера сейсмических записей при удачных и неудачных запусках ракет на космодроме «Плесецк».

Архангельская сейсмическая сеть, равно как и организация сетей Республик Коми и Карелия, позволяет расширить сейсмические наблюдения и, тем самым, обеспечивает надежный сейсмический контроль территории Северо-Запада России на значительных расстояниях от границ сейсмических сетей.

Литература

1. Французова В.И., Ваганова Н.В., Захарова И.В. Результаты регистрации и обработки землетрясений Архангельской сейсмической сетью // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы межд. сейсмологич. школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург», Петергоф. Обнинск, 2006. С. 130 – 134.
2. Рекомендации по определению стандартных магнитуд землетрясений на телесеismicических расстояниях по записям широкополосных цифровых сейсмографов в Геофизической службе РАН. ГС РАН. 2005. 84 с.

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ УРАЛЬСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.Н. Гуляев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Согласно [1, 2] особенностью новейшей и современной тектонической обстановки в центральной части Уральского региона является существование регионального тектонического узла, образованного сближением и пересечением региональных зон нарушения сплошности и, предположительно, возникшего в наиболее ослабленной части Уральского орогена. Зона геодинамического влияния данного узла, охватывающая практически весь Средний Урал, в работе [3] названа областью Центрально-Уральского пережима. Она характеризуется наименьшей на этом участке шириной складчатого Урала в основном за счет уменьшения ширины Центрально-Уральского поднятия и Тагило-Магнитогорского проги-

ба, наименьшей высотой гор и наименьшей амплитудой новейших вертикальных движений [4, 5]. Предполагается, что данная тектоническая обстановка возникла еще в палеозойское время вследствие воздействия (давления) на Урал, в направлении с запада на восток, Уфимского выступа Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и наследуется в новейшее время и на современном этапе. Вследствие воздействия выступа ВЕП, в наиболее ослабленном месте Урала на участке его пересечения трансорогенной Тимано-Кокчетавской тектонической структурой [6] возник пережим, а затем - крупный тектонический узел, образованный сближением и пересечением зон нарушения сплошности земной коры. Направление этих зон соответствует направлениям, возникающим при сжатии [7, 8]. Узел, который можно назвать Билимбаевским, проявлен и в геофизических полях и в морфологии поверхностей разделов литосферы [9].

Образующие узел зоны нарушения сплошности земной коры, согласно [10], имеют характер сдвигов, сдвига-надвигов. По этим структурам предположительно происходит смещение (выдавливание) блоков земной коры относительно Билимбаевского узла в направлении на север и на юг [1, 2]. Эти структуры ограничивают Северо-Уральский и Южно-Уральский новейшие своды, южные части которых, по аналогии со схемой в работе [8], можно рассматривать как зоны субмеридионального сжатия. Направление структур, ограничивающих с юго-запада Северо-Уральский новейший свод - северо-западное, по азимуту от 330-335 до 345°. Направление структур, ограничивающих с северо-запада Южно-Уральский новейший свод - северо-восточное (по азимуту от 30 – 45 до 60°. Согласно [8], возникновение и существование сдвиговых (сколовых) структур таких направлений обусловлено воздействием субширотных сжимающих напряжений по азимуту около 300°. В рассматриваемом районе Урала в настоящее время действуют напряжения главные и наибольшие компоненты которых имеют такое же направление [8, 9, 11].

Согласно [8], сколовые (сдвиговые) зоны нарушения сплошности в условиях пластично-хрупкой деформации образуют угол с направлением главного напряжения порядка 35 - 45°. В условиях пластичной деформации этот угол составляет более 50° и может превышать 60° [8]. Следовательно, сдвиги, ограничивающие с юго-запада Северо-Уральский и - с северо-запада Южно-Уральский новейшие своды, возникли в условиях пластично-хрупкой деформации. А сдвиги, ограничивающие вышеупомянутые новейшие своды с востока и юго-востока, возникли в условиях пластичной деформации, либо могут рассматриваться как разломы сжатия. Субширотные зоны нарушения сплошности земной коры, соответствующие направлению действия основных сжимающих напряжений, могут рассматриваться как трещины отрыва (растяжения), субмеридиональные - как трещины сжатия.

В соответствии с концепцией упругой отдачи [12] большая часть коровых землетрясений является следствием резких сдвиговых смещений блоков земной коры по возникающим или обновляющимся разломам. Поэтому большая часть землетрясений приурочена к зонам сдвигов, всбросо-сдвигов [13, 14]. На Урале так же большая часть наиболее сильных, ощутимых, с магнитудой порядка и более 4,0 землетрясений приурочена к зоне Главного Уральского глубинного разлома [15], являющегося, согласно [10], левым сдвигом (рис. 1).

В ближней зоне геодинамического влияния этого разлома в Билимбаевском узле 17.08.1914 года произошло самое сильное за период инструментальных сейсмологических наблюдений землетрясение, магнитуда которого оценивается как порядка 5.0, а сила сотрясения в эпицентре оценивается как порядка 6-7 баллов по шкале MSK-64 [10]. Данный участок Главного Уральского разлома был назван «Главным северо-западным сдвигом» [5], горизонтальная амплитуда перемещения крыльев по которому за палеозойское время оценивалась в 70 км. Азимут направления этой структуры оценивается в 345° и совпадает с направлением изодинам нормального геомагнитного поля, что позволяет предположить возможность участия геомагнитных аномальных процессов в возникновении данного землетрясения. Она образует угол 45° с одной из осей действия главного сжимающего напряжения, имеющей азимут 300°, которой соответствует предполагаемая зона нарушения сплош-

ности верхней части, соответствующая оси Чусовско-Исетской поперечной (секущей) новейшей структуры по [5]. Кроме эпицентра Билимбаевского землетрясения 1914 г. в пределах этой структуры располагаются эпицентры Сысертского 1892 г., Кунгурского 1958 г. землетрясений и землетрясения 1955 г. в районе Каменска-Уральского [16].

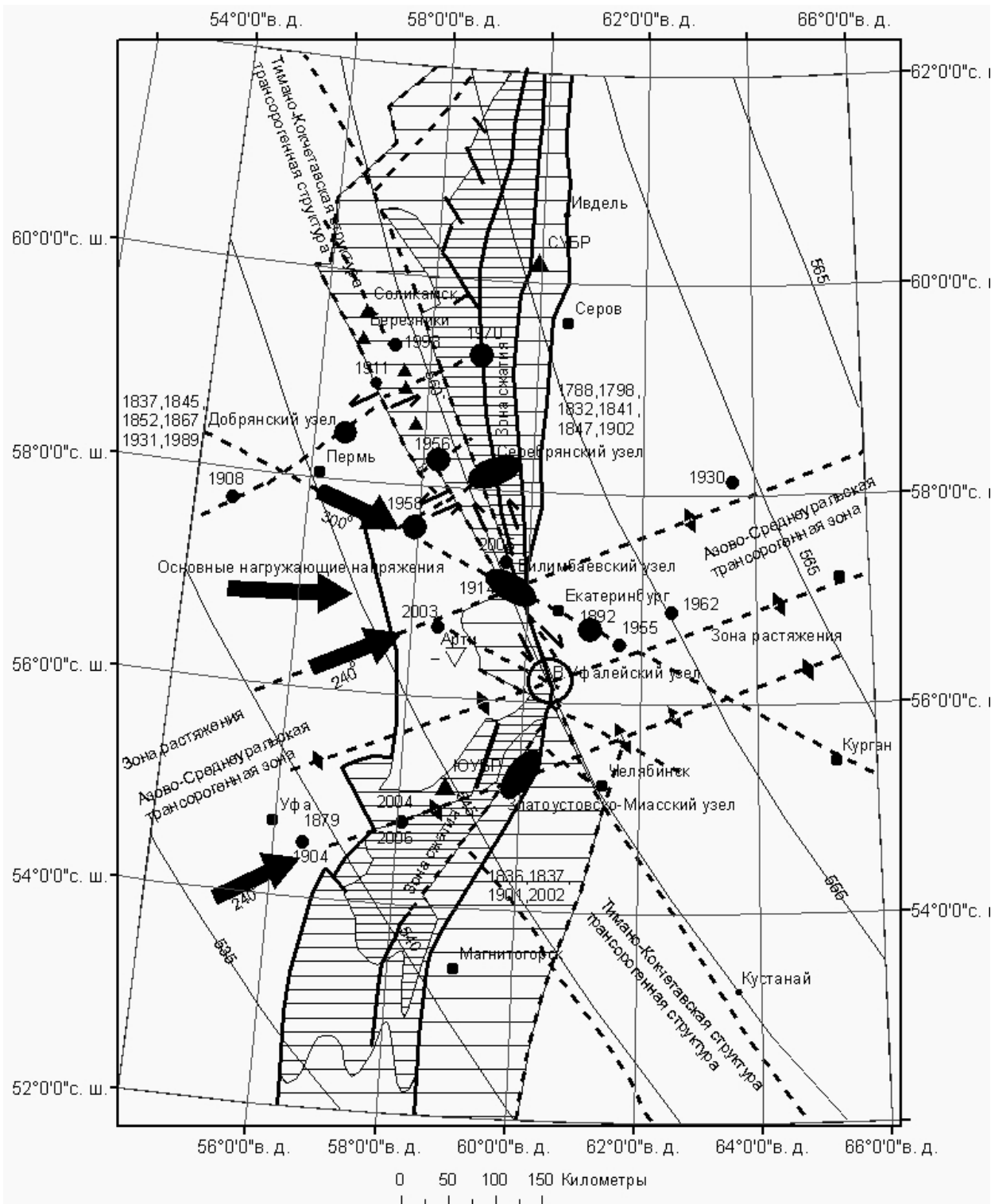


Рис. 1. Геодинамическая схема Среднеуральской зоны повышенной сейсмичности

В соответствии с моделью механизма очагов землетрясений [12], ортогонально плоскости основного сдвига (в данном случае Главного северо-западного сдвига), являющейся

первой нодальной плоскостью, возникает вторая подобная структура. В нашем случае она имеет восток-северо-восточное направление по азимуту 60 градусов. Не исключено, что она имеет характер зоны относительного субгоризонтального растяжения. С этой структурой связана Екатеринбургско-Тавдинская зона повышенной частоты возникновения необычных и особо опасных атмосферных явлений [17].

Согласно макросейсмическому описанию, приведенному в работах [16, 18] можно заключить, что наиболее сильные сейсмические сотрясения во время Билимбаевского землетрясения распространялись в северном и южном направлениях в области предполагаемого субмеридионального сжатия в южной части Северо-Уральского и в северной части Южно-Уральского новейших сводов. Менее сильные сотрясения распространялись в запад-юго-западном и восток - северо - восточном направлениях в области предполагаемого растяжения. С учетом сеймотектонической схемы можно предположить, что излучение сейсмической энергии имело квадрантный характер, при этом в северном и южном направлении распространялись волны сжатия, а в субширотном – волны растяжения.

На южном продолжении Главного Уральского разлома, на расстоянии 100 км от Билимбаевского узла, имеется подобный ему по тектонической позиции, но еще не проявленный, В. Уфалейский потенциально сейсмичный тектонический узел. В пределах него не исключена возможность возникновения очагов землетрясений, подобных Билимбаевскому с магнитудой 5.0. Вдоль его второй предполагаемой нодальной плоскости в восточно-северо-восточном направлении распространился ВУРС [19]. Расположенные южнее и севернее на расстоянии 100-150 км от вышеупомянутых узлов, Златоустовско-Миасско-Кыштымский и Серебрянский сейсмичные узлы приурочены к северной и южной частям Южно-Уральского и Северо-Уральского новейших сводов, отождествляемых с зонами субмеридионального сжатия. При этом они приурочены к участкам пересечения с поперечными зонами нарушения сплошности восточного - северо - восточного направления. Такая структура, пересекающая Златоустовско-Миасско-Кыштымский узел, имеет характер зоны современных погружений [20], что свидетельствует о современной активности узла, подтверждаемой недавним ощутимым землетрясением 18.08.2002 г. [15]. Согласно макросейсмическому описанию, приведенному в работах [16, 18] можно заключить, что эти землетрясения так же имели квадрантный характер излучения энергии и связаны со сдвиговыми и всбросо-сдвиговыми деформациями земной коры.

Литература

1. Гуляев А.Н. Схема сеймотектоники центральной части Уральского региона // Материалы третьих научных чтений Ю.П. Булашевича. Екатеринбург, 2005, с. 17 - 19.
2. Гуляев А.Н. Схема сеймотектоники Среднего и прилегающих частей Северного и Южного Урала // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Материалы международной конференции. Архангельск, 2002, с. 24 – 29.
3. Копп М.Л. Новейшие деформации Южного Урала и Мугоджар и их вероятное происхождение // Геотектоника, 2005. № 5, с. 36 - 61.
4. Новейшая тектоника Урала / Под ред. А.П. Сигова и В.А. Сигова. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. 104 с.
5. Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2. 304 с.
6. Кузьменко Е.Е. Историческая геология и геология СССР. М.: Недра, 1980. 279 с.
7. Заруба К., Мениц В. Инженерная геология. М.: Мир, 1979. 468 с.
8. Тагильцев С. Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов: Учебное пособие по дисциплине «Гидрогеомеханика». Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 88 с.
9. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С.Н. Кашубин, В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев и др. Екатеринбург: УрОРАН, 2001. 124 с.
10. Плюснин К.П. Эволюция кинематики и определение возраста разрывных структур Урала // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск, 1983. С. 12 -23.

11. *Зубков А.В.* Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург, 2001. 333 с.
12. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 414 с.
13. *Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сейсмотектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 226 с.
14. *Арефьев С.С.* Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: ИКЦ Академкнига, 2003. 374 с.
15. О тектонической природе Уральских землетрясений / В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев, С.Н. Кашубин и др. // Геофизика, 2004. № 3. С. 56 - 65.
16. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / В.В. Степанов, А.А. Годзиковская, В.С. Ломакин и др. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
17. *Гуляев А.Н., Дружинин В.С., Шепаренко Г.А., Назарова Т.И.* Современные зоны повышенной геофизической активности на Среднем и прилегающих частях Северного и Южного Урала // Уральский геофизический вестник, 2001. № 2. С. 25-29.
18. *Вейс-Ксенофонтowa З.Г., Попов В.В.* К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104).
19. *Уткин В.И., Чеботина М.Я., Евстигнеев А.В., Любашевский Н.М.* Особенности радиационной обстановки на Урале. Екатеринбург, 2004. 150 с.
20. *Кононенко И.И., Халевин Н.И., Блюмин М.А., Яценко В.Р.* Современная геодинамика Урала. Свердловск, 1990. 93 с.

ОЦЕНКА СЕЙСМОПОТЕНЦИАЛА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.Н. Гуляев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Для целей детального сейсмического районирования необходимо иметь представление о сейсмopotенциале - наибольшей возможной магнитуде сейсмических явлений и частоте повторяемости событий такой энергии в пределах изучаемого региона. На сегодняшний день не существует более надежных методик оценок сейсмopotенциала, чем метод аналогий. Поэтому мы оценивали сейсмopotенциал центральной части Уральского региона путем сравнения с сейсмopotенциалом подобного Уралу новейшего эпиплатформенного, эпипалеозойского орогена - Тянь-Шаня. Эти орогены имеют схожую историю развития, схожие черты глубинного строения. Очаги землетрясений в них локализованы в земной коре. Но Урал отличается от Тянь-Шаня гораздо меньшими амплитудами вертикальных новейших движений и высотой гор.

Амплитуда новейших движений характеризует степень деформации земной коры на новейшем этапе (за последние 30 млн лет, соответствующих неоген - четвертичному времени). Согласно [1, 2], она характеризует запасенный сейсмopotенциал, разрядка которого происходит на современном этапе в зонах нарушения сплошности земной коры. На Урале амплитуда вертикальных новейших движений согласно [3, 4], составляет от 250 - 400 до 700 м, на Тянь-Шане, согласно [5, 6], от 3 - 5 до 10 - 15 км. Следовательно, на Урале эта величина от 10 до 30 - 40 раз меньше, чем на Тянь-Шане. Отметим, что величина амплитуды новейших вертикальных движений на Урале соизмерима с амплитудой вертикальных движений на Тянь-Шане за четвертичный период [6].

Высота гор характеризует степень деформации земной коры этих орогенов за мезокайнозойское время. На Урале она составляет от 1000 до 1800 м на Южном, Северном и Приполярном участках и 500 - 700 м на Средне-Уральском участке. На Тянь-Шане высота гор находится в пределах 3000 - 5000 до более 7000 м. Следовательно, в среднем на Тянь-Шане горы в 3 - 4 раза выше, чем на Урале.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что степень деформации земной коры на Урале в мезо-кайнозойское время в 3 - 4 раза, а в новейшее время в 10 - 40 раз ниже, чем на Тянь-Шане. Вследствие этого сейсмическая активность на Урале

значительно ниже, чем на Тянь-Шане. Это выражается в том, что на Урале сейсмические события происходят гораздо реже, чем на Тянь-Шане и их интенсивность и магнитуда так же значительно ниже.

Согласно результатам анализа данных, приведенных в работах [7, 8, 9], средняя многолетняя магнитуда сейсмических событий за период 1788 - 2006 гг. для Урала составляет от 2.7 до 3.0 (рис. 1). На Тянь-Шане и в других высокосейсмичных регионах - от 4.0 до 4.7 [1], то есть на 1.3 – 1.7 (в 30 - 70 раз) выше, чем на Урале. Наблюденная на Урале наибольшая магнитуда сейсмических событий составила 5.0 [9], тогда как на Тянь-Шане она находится в диапазоне 7.5 - 8.4 [1]. Следовательно, на Урале максимальная магнитуда (M_{\max}) в 700 - 1000 раз (на 2.5 - 3.5 порядка) меньше наблюдаемых на Тянь-Шане.

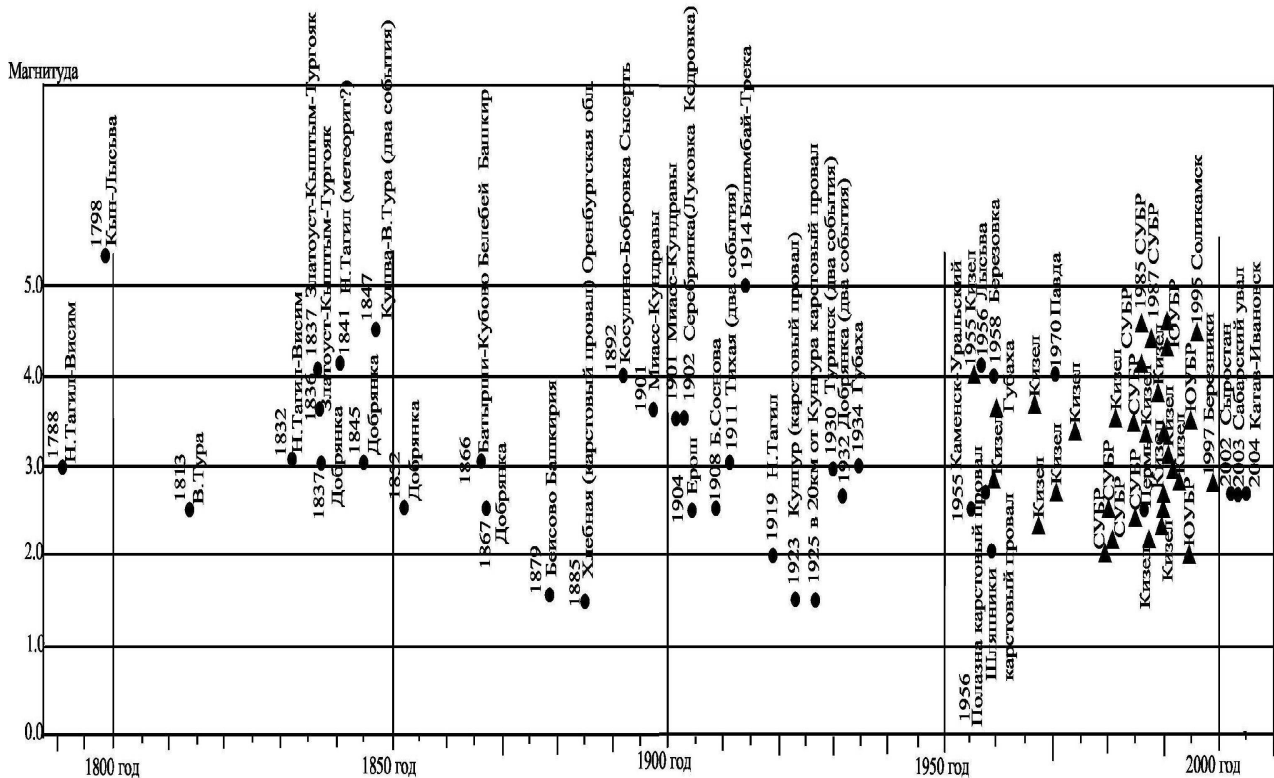


Рис. 1. Распределение во времени сейсмических событий центральной части Уральского региона. Треугольниками отмечены удары и природно-технические землетрясения на горно-рудных предприятиях

Анализ графиков временного хода сейсмичности в сейсмичных районах (по данным, приведенным в работах [1, 10]) и на Урале позволяет заключить, что наблюдаемые значения M_{\max} обычно превышают средние многолетние значения магнитуды на 2.0 - 3.0. В высокосейсмичных районах – на 4.0. То есть, наблюдается зависимость приращения магнитуд ($M_{\max} - M_{\text{ср. многолетняя}}$) от сейсмической активности региона.

Исходя из вышеизложенного, наибольшая возможная магнитуда сейсмических событий в центральной части Уральского региона составляет (с небольшим запасом) 5.5 - 6.0, а сила сотрясения в эпицентре - 6.5 - 7.0 баллов.

Частота (повторяемость) событий с магнитудой порядка 5.0 на Урале в 230 - 250 раз меньше, чем на Южном Тянь-Шане и в 25 - 30 раз меньше, чем на Северном Тянь-Шане. На Урале за последние 250 лет было отмечено всего два таких события - землетрясение 23.05.1798 г. и Билимбаевское землетрясение 17.08.1914 года, тогда как на Южном Тянь-Шане в год происходит по два землетрясения такой силы, а на Северном Тянь-Шане одно такое событие в каждые 25 лет.

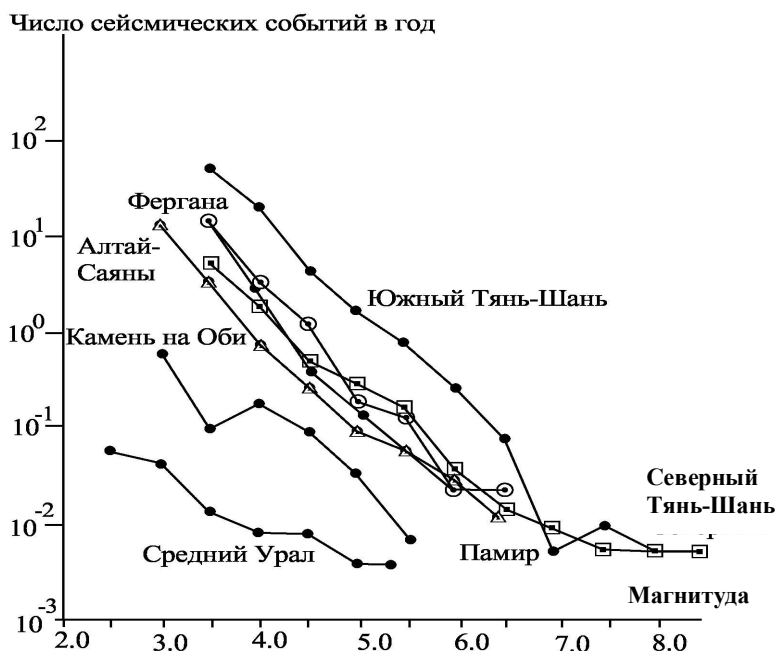


Рис. 2. График повторяемости природных тектонических землетрясений Среднего Урала и других регионов

Следовательно, события с магнитудой порядка 5.0 на Урале происходят один раз в 115 – 116 лет. Приблизительно с такой же периодичностью, согласно графика повторяемости (рис. 2), происходят землетрясения с магнитудой более 8.0 на Тянь-Шане. Следовательно, сейсмические события с магнитудой порядка 5.0 на Урале являются наиболее высокоэнергетическими. Анализ графика повторяемости землетрясений центральной части Уральского региона (рис. 2) позволяет предположить, что события с наибольшей возможной магнитудой порядка 5.5 - 6.0 могут происходить здесь с периодичностью один раз в 1000 лет.

Вышеизложенное позволяет заключить, что по характеру сейсмичности, амплитудам новейших и мезо-кайнозойских вертикальных движений Урал больше схож с Центральным Казахстаном. Невысокие горы Казахского мелкосопочника имеют приблизительно те же высоты и те же рельефные формы, что и горы центральной части Уральского региона. В их геологическом строении, истории развития так же имеется сходство с Уралом. В последнее время, в связи с развитием сейсмологической сети Казахстана, в этом регионе стали фиксироваться несильные (с магнитудой до 3 - 4) относительно редко происходящие события [11].

Для Урала же актуальной является задача изучения выделенных потенциально сейсмичных тектонических узлов, в которых возможно возникновение очагов землетрясений с наибольшими для региона магнитудами порядка 5.0 - 6.0 [12].

Литература

1. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. 306 с.
2. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда почему? Кишинев: «Штиинца», 1985. 193 с.
3. Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2. 304 с.
4. Новейшая тектоника Урала / Под ред. А.П. Сигова и В.А. Сигова. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. 104 с.
5. Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XXV. Кн. 2. Киргизская ССР, геологическое описание. 314 с.
6. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986. 312 с.
7. Вейс-Ксенофонтowa З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104).

8. *Ананьин И.В.* Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 года / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. С. 465 - 470.
9. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / В.В. Степанов, А.А. Годзиковская, В.С. Ломакин и др. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
10. *Арефьев С.С.* Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: ИКЦ Академкнига, 2003. 374 с.
11. *Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н.* О сейсмических событиях в малоактивных и асейсмичных районах Казахстана // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Воронеж, 2001, с. 131 - 133.
12. *Гуляев А.Н., Дружинин В.С.* К уточнению карт ОСР-97 для центральной части Уральско-го региона // Глубинное строение, геодинамика, мониторинг. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: Материалы третьих научных чтений памяти Ю.П. Булашевича. Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2005, с. 17 - 19.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СТРОЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО КОРОМАНТИЙНОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРНОГО УРАЛА В РАЙОНЕ КРАСНОЛЕНИНСКОГО ПРОФИЛЯ ГСЗ

***В.С. Дружинин, В.В. Колмогорова, М.Я. Алиевский, И.В. Ладовский, Н.И. Начапкин,
В.Ю. Осипов*** - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Глубинные сейсмические исследования на Красноленинском профиле ГСЗ выполнены в 1987 - 1989 годах Баженовской Геофизической экспедицией (БГЭ) по методике точечных (дифференциальных) зондирований. Результаты исследований по западной части профиля опубликованы в работе [1], остальные изложены в фондовом отчете БГЭ.

В данном докладе приводится новый вариант скоростного разреза земной коры по Красноленинскому профилю, составленный по результатам частичной переинтерпретации сводного поля времен первых вступлений продольных волн (рис. 1). Разрез в изолиниях равных скоростей построен по программе «Invers». Для исключения искажающего эффекта зоны малых скоростей, которая связана с верхним осадочным слоем, поле времен пересчитано на подошву этой зоны, то есть на поверхность складчатого фундамента. По значениям интервальной скорости определена средняя скорость в консолидированной коре и построен график распределения ее по профилю.

В районе Красноленинского профиля проходят и пересекаются с ним два субмеридиональных профиля Баженовской геофизической экспедиции: Вижай - Н. Тура и Северная Сосьва-Ялуторовск, а также геотраверс Центра ГЕОН «Рубин-2». Для всех этих профилей составлены по фондовым материалам такие же разрезы земной коры, как и для Красноленинского.

Анализ скоростных разрезов позволяет установить ряд особенностей упругой модели земной коры в районе Красноленинского профиля. Наиболее существенная особенность состоит в том, что, на фоне отдельных аномальных скоростных объектов с пониженными и повышенными значениями скорости V_p , выделены две области: Западно-Уральская и Восточно-Уральская, различающиеся по упругим свойствам. Наиболее контрастной является зона сочленения низкоскоростной Западно-Уральской области и высокоскоростного Тагильского прогиба, пограничного между двумя названными областями и более близкого по своим свойствам к Восточно-Уральским структурам. На разрезе в этой зоне наблюдается подъем всех скоростных уровней с амплитудой больше 10 км.

Построить скоростной разрез верхней мантии по материалам Красноленинского профиля не представляется возможным в связи с отсутствием информации на удалениях больше 210 км, на которых регистрируются обычно преломленные волны от подошвы земной коры.

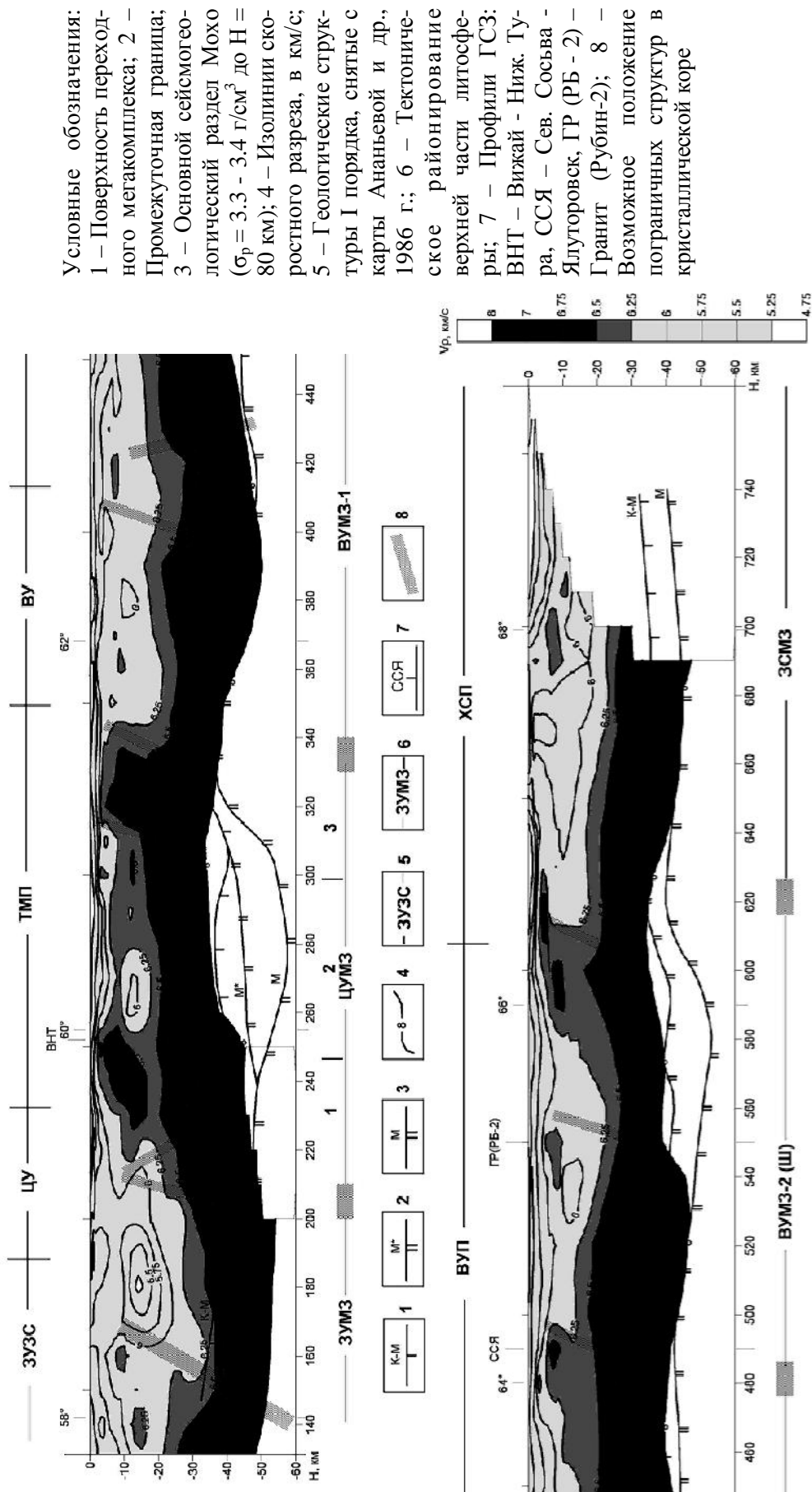


Рис. 1. Сейсмическая модель земной коры и строение коро-мангтйного мегакомплекса Северного Урала (по району Красноленинского профиля ГСЗ)

Поэтому скоростной разрез ограничен уровнем 8.0 км/с. На сейсмогеологических разрезах, построенных по более удлиненным годографам первых вступлений и отраженных волн, этот уровень (8.0 км/с) не всегда соответствует подошве земной коры. Такое несоответствие особенно существенно при наличии мощного переходного коромантийного комплекса с промежуточными физическими характеристиками, наиболее развитого в отрицательных и пограничных структурах литосферы. В модели земной коры по Красноленинскому профилю это касается, прежде всего, центральной структуры Урала-Тагильского прогиба.

Уточнение скоростной модели нижней части земной коры и ее подошвы возможно только с учетом всей информации по ближайшим профилям, а также с помощью плотностного моделирования. Вопросам методики сейсмоплотностного моделирования посвящен другой доклад тех же авторов.

Результаты плотностного моделирования по Красноленинскому профилю частично отражены в скоростном разрезе земной коры. На этот разрез вынесены плотностные границы, соответствующие переходному коромантийному комплексу: его поверхности КМ, промежуточной границе М* и основному сейсмогеологическому разделу между земной корой и мантией М. Границы получены в рамках плотностной модели, рассчитанной до глубины 80 км относительно средневзвешенного значения плотности 3.06 г/см^3 . За раздел М принята плотностная граница, глубже которой плотность $\geq 3.3 \text{ г/см}^3$.

По результатам сопоставления скоростного разреза с указанными плотностными границами можно сделать следующие выводы.

1. На большей части профиля сейсмогеологический раздел М совпадает с изолинией 8.0 (иногда 7.75) км/с. Исключение составляют пограничные структуры в Тагильском прогибе и в восточной части Восточно-Уральского прогиба, на границе с Ханты-Мансийским Срединным поднятием. Обе зоны могут быть отнесены к рифтовым зонам литосферы, но при этом вторая развита в пределах Ханты-Мансийского Срединного блока Западно-Сибирской мегазоны.

2. Мощность земной коры изменяется от 37 до 56 км. Наименьшая мощность установлена на локальном поднятии в пограничной зоне между Центрально-Уральской и Восточно-Уральской мегазонами. Расчетная плотность мантии до глубины 80 км изменяется в пределах от 3.30 до 3.40 г/см^3 . Мощность переходного мегакомплекса меняется от 6 - 10 км на приподнятых структурах до 20 - 22 км в крупных прогибах сейсмогеологического раздела М; расчетная плотность переходного мегакомплекса варьируется от 3.12 до 3.22 г/см^3 .

3. В земной коре, особенно в ее верхней части, выделены аномальные скоростные объекты с пониженными (до 5.75 км/с) и повышенными (до 6.5 - 6.7 км/с) значениями скорости V_p , которые имеют локальное распространение; их преобладающее развитие отмечено соответственно в западной и восточной части рассматриваемого разреза.

4. Установлено районирование верхней части литосферы. Выделены следующие области: Западно-Уральская мегазона (ЗУМЗ), которая характеризуется крайне неоднородным строением, обусловленным сопряжением Уральской и Тиманской структур и южной оконечности Тимано-Печорской плиты; Центрально-Уральская мегазона (ЦУМЗ), которая на западе охватывает половину Центрально-Уральского поднятия, а ее восточная граница смещена на запад относительно контура Тагильского прогиба (по схеме Е.М. Ананьевой); Восточно-Уральская мегазона (ВУМЗ), состоящая из двух зон: относительно стабильной западной и активной восточной структур (вторая, возможно, рифтовой природы); Ханты-Мансийский Срединный блок Западно-Сибирской мегазоны.

Наиболее существенными моментами при уточнении скоростной модели нижней части земной коры и положения ее подошвы авторы считают получение надежной информации по глубинным продольным и поперечным (отраженным и преломленным) волнам на удалениях не меньше 300 км от источника; комплексирование метода ГСЗ с методом глубинного ОГТ; коррекцию скоростных разрезов решением прямых кинематических задач

(применительно к разломно - блоковым моделям); плотностное моделирование с использованием методики, изложенной в другом докладе по этому профилю.

Литература

1. Дружинин В.С., Автонец С.В., Шарманова Л.Н., Турыгин Л.В. Глубинное строение Северного Урала по Красноленинскому профилю ГСЗ // Советская геология, 1990. № 9, с. 77 - 82.

ОТКЛИК ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В УСЛОВИЯХ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

М.А. Ефременко, Л.И. Надежка - Воронежский государственный университет, Воронеж
nadezhka@geophys.vsu.ru

В качестве импульсного воздействия на геологическую среду в эксперименте использованы промышленные взрывы, проводимые при добыче гранитного щебня в карьере Шкурлат (Павловский р-н, Воронежской обл.). Пункты наблюдений размещались вокруг карьера Шкурлат на расстоянии 50 ± 5 км, что обеспечило выполнение условия равенства трассы от источника импульса до точек регистрации (рис. 1). При этом учитывалось геологическое строение земной коры в пунктах наблюдений. Так как мощность и строение осадочного чехла в пунктах наблюдений значительно не отличалось, то основное внимание было уделено особенностям строения докембрийского фундамента.

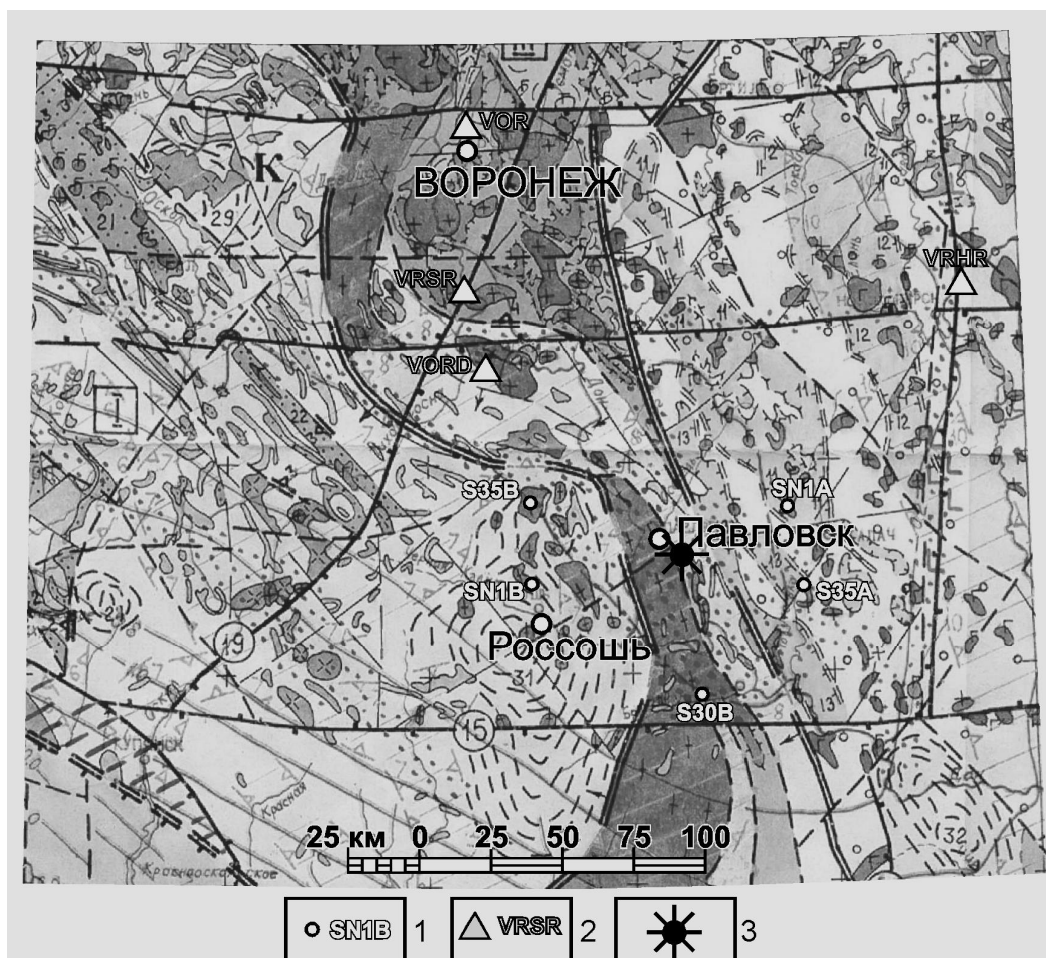


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений при проведении экспериментальных работ по изучению характера волновых процессов: 1 - временные; 2 - стационарные; 3 - пункты взрыва

Основной целью эксперимента было изучение реакции (отклика) различных геологических объектов докембрия на импульсное воздействие. В соответствии с этим одна станция размещена в пределах интрузии кислого состава (S35B), одна станция - в пределах интрузии габброидов мамонского комплекса (SN1A), остальные станции размещены во вмещающих породах различного состава; гнейсы обоянской серии архея (SN1B), мигматиты (S30B) и сланцы воронцовской серии протерозоя (S35A).

Основными оценочными параметрами эксперимента являлись: интенсивность и спектральный состав сейсмического шума до импульсного воздействия (взрыва), в момент взрыва и после импульсного воздействия. С этой целью расстановка сейсмостанций на пунктах регистрации проводилась за несколько суток до взрыва, а снятие их – через несколько суток после взрыва. По этой методике было изучено влияние двух взрывов в к. Шкурлат в шести пунктах наблюдений (по три пункта при каждой расстановке).

Выполнен анализ характера сейсмического эффекта в различных пунктах наблюдений, вызванного двумя массовыми взрывами, суммарное количество ВВ которых составляет 190 и 200 тонн. Сейсмический эффект массовых взрывов имеет свои специфические черты, связанные со сложной пространственной конфигурацией зарядов ВВ, а также системой временных задержек между подрывом групп скважин в блоке. Это определяет крайне неравномерное выделение энергии ВВ во времени и в пространстве, что приводит к сложной структуре сейсмических колебаний. В данном случае мощность двух взрывов близка, однако сейсмический эффект их различен, что хорошо видно по особенностям спектра записи этих взрывов на базовой сейсмостанции «Сторожевое» (VRSR). Первый взрыв вызывает увеличение амплитуд в низкочастотной области диапазона частот 0,5 - 0,6 Гц, второй – в диапазоне частот 0,7 - 0,8 Гц. Далее, существенное увеличение спектральных амплитуд наблюдается на частотах более 10 Гц. Эти особенности взрывов прослеживаются на всех пунктах наблюдений. Вместе с тем, полученные данные позволяют сделать выводы, которые не связаны только с особенностями взрывов.

Так для анализа сейсмических эффектов и объяснения возможных причин их различия нами использованы отношения спектральных амплитуд взрыва и сейсмического шума на соответствующих пунктах наблюдений. Полученные графики отношений (рис. 2) позволяют понять на каких частотах в результате импульсного воздействия происходит резкое увеличение амплитуды колебаний почвы в точках наблюдений. Для всех пунктов наблюдений (расстояние до точки взрыва 50 ± 5 км) от точки взрыва, отмечается резкое увеличение амплитуды колебаний в диапазоне частот 0,5 – 0,8 Гц. Это увеличение составляет от 10 до 40 и более раз и регистрируется на всех каналах (Z, N и E). По абсолютной величине отношения «взрыв - шум» пункты регистрации можно ранжировать в следующей последовательности (по мере уменьшения величины отношения): S35B, SN1B, SN1A, S30B.

Из этого факта можно сделать следующие выводы:

В диапазоне частот 0,5 – 0,8 Гц в момент регистрации взрыва увеличение амплитуды колебаний значительно выше на пунктах, расположенных западнее пункта взрыва, т.е. в Россошанском архейском блоке мегаблока КМА. В пунктах S35A и SN1A, расположенных в Хоперском мегаблоке, они слабее и сопоставимы с амплитудами на стационарном пункте, находящемся на значительно большем удалении (117.1 км от эпицентра взрыва).

Пик максимальных амплитуд на всех каналах достигается в этом диапазоне частот в пункте S35B, находящемся на площади гранитоидной интрузии лискинского комплекса пород нижнего структурного этажа фундамента. Минимальные амплитуды на всех каналах зафиксированы на пункте SN1A, находящемся в пределах площади интрузии основного состава (габброиды мамонского комплекса).

В диапазоне частот от 1,0 до 6,0 Гц для большинства пунктов увеличение амплитуды колебаний в момент взрыва минимально. На всех каналах регистрации в этом диапазоне отношение амплитуд спектров «взрыв - шум» составляет в среднем 2.

В диапазоне высокочастотных колебаний (6 – 20 Гц) резкое увеличение амплитуд (в 10 – 20 раз) наблюдается на пункте S30B. На пунктах SN1A, S35A, S35B амплитуда колебаний увеличивается в момент регистрации взрыва в 4 – 6 раз и только на отдельных частотах превышает величину отношения «взрыв - шум» в 10 раз. Пункты S30B, VRSR находятся в одном мегаблоке – Лосевской шовной зоне, ограниченной глубинными разломами I ранга от мегаблока КМА и Хопёрского мегаблока. Здесь же находился и пункт взрыва.

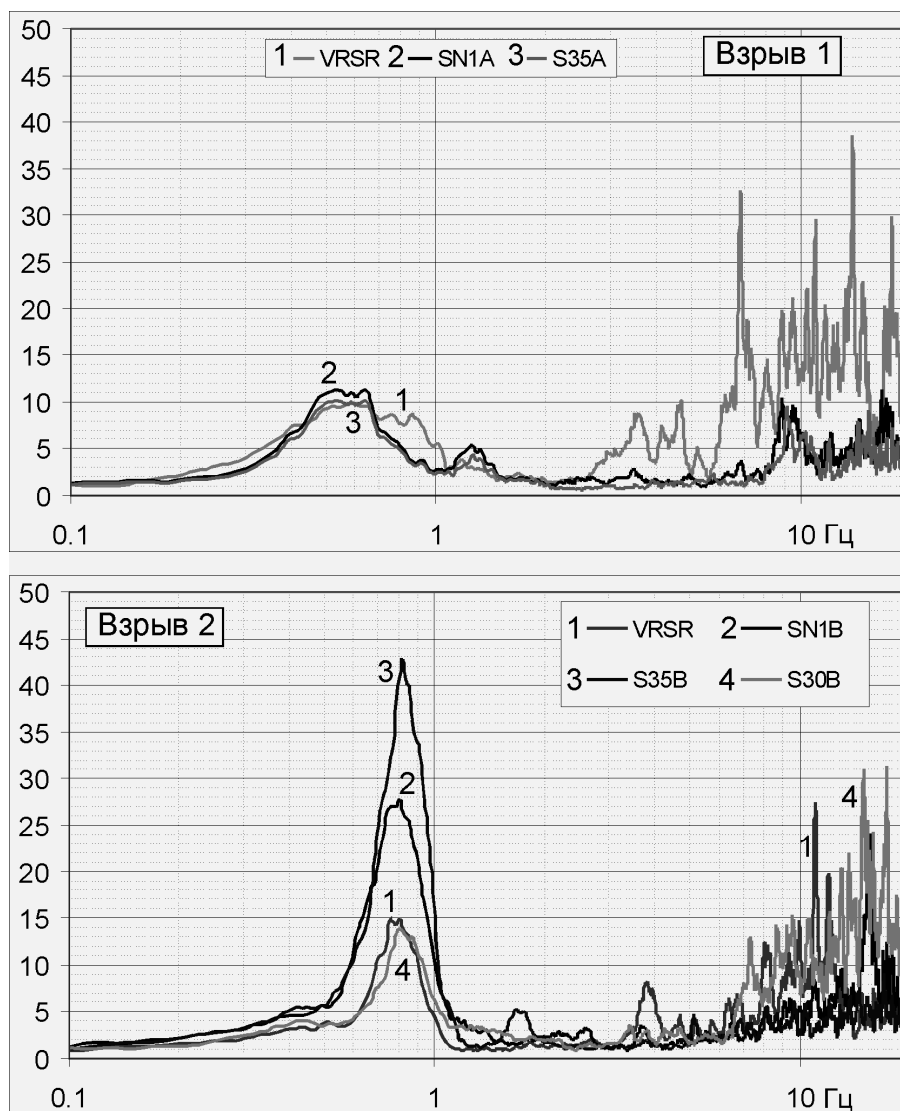


Рис. 2. График отношений спектральных амплитуд взрыва к амплитудам сейсмического шума на пунктах наблюдений

Таким образом, полученные данные, показывают, что различные геологические объекты по-разному реагируют на импульсное воздействие. Наибольшее увеличение спектральных амплитуд отмечается в районе расположения гранитной интрузии. Возможно здесь проявляется резонансный эффект в условиях небольшого по размерам, но отличающегося по физическим свойствам, объекта – интрузии. С подобными эффектами можно встретиться при расположении сейсмических станций для сейсмических исследований, если не учитывать геологические особенности докембрия.

Изложенные результаты являются только началом исследований по разработке способа картирования докембрийского фундамента перекрытого осадочным чехлом.

ВРЕМЕННОЙ ФАКТОР В СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ

А.Д. Завьялов - Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, zavyalov@ifz.ru

Общеизвестно, что существующие современные карты общего сейсмического районирования (ОСР), являющиеся основой соответствующих СНиП-ов при проектировании зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, определяют вероятность превышения (или не превышения) заданного уровня сейсмических сотрясений на поверхности земли на период в десятки и сотни лет. По сложившейся практике карты ОСР пересматриваются раз в 15 - 20 и более лет, когда накапливается достаточное количество новых экспериментальных и теоретических данных об отклонениях (как правило, в большую сторону) наблюдаемой балльности от балльности, указанной на действующей карте ОСР. Следовательно, с практической точки зрения карты ОСР являются статическими и не учитывают изменений сейсмической активности во времени. С другой стороны, карты ОСР не оказывают практического влияния на сейсмическую устойчивость большого числа зданий и сооружений, построенных десятки лет назад. Эти объекты подвергались в процессе своей эксплуатации воздействию сильных землетрясений и, вследствие этого, утратили запас прочности, заложенный при их проектировании. Состояние их сейсмостойкости требует периодического контроля со стороны администрации сейсмоактивных регионов, что, в свою очередь, требует выделения существенных дополнительных финансовых и материальных ресурсов.

Однако большие объемы необходимых для усиления сейсмической устойчивости средств требуют выработки системы приоритетов, в соответствии с которой наибольший приоритет в получении необходимых средств придавался бы территориям (городам, населенным пунктам, объектам), наиболее опасным в сейсмическом отношении на ближайшие годы. Отсюда следует необходимость дополнения существующих карт ОСР введением в рассмотрение среднесрочного (первые годы) временного фактора. Такую возможность может дать алгоритм среднесрочного прогноза сильных землетрясений «Карта ожидаемых землетрясений (КОЗ)», разработанный в ИФЗ РАН в середине 80-ых годов прошлого века и прошедший тестирование в различных по своему геолого-геофизическому режиму сейсмоактивных регионах мира (Кавказ, Камчатка, Туркмения, Киргизия, Южная Калифорния, северо-восточный и юго-западный Китай, Греция, западная Турция, Курильская островная дуга).

К ВОПРОСУ О КОМПЛЕКСИРОВАНИИ МЕТОДОВ ГИС И АКТИВНОЙ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ПОИСКАХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Г.В. Иголкина, В.В. Дрягин, З.С. Мезенина, А.В. Яцун, Д.Б. Иванов -
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

В настоящее время следует считать новыми и перспективными способы поиска и детализации обнаружения углеводородов при разработке месторождений методами нелинейной геофизики, основанными на изменении свойств насыщенной пористой среды под действием физических полей [1, 2]. Повышение эффективности решения такого комплекса может быть достигнуто за счет исследования изменения петрофизических свойств пород разрезов нефтегазовых скважин при искусственном воздействии на нефтяную залежь, разработки новых технологий определения параметрических и энерго-информационных критериев механизмов переизлучения залежи.

Поставленная задача может быть достигнута за счет совершенствования методики измерений и интерпретации естественной и вызванной сейсмоакустической эмиссии (КСАЭ) в нефтегазовых скважинах, а также сопоставления результатов с петрофизическими свойствами пород месторождений [3, 4, 5]. Это необходимо для построения геолого-геофизической модели нефтегазовых залежей и для совершенствования корреляционных связей изучаемых параметров.

Задачи литологического расчленения, выделение коллекторов и оценка эффективных толщин решаются по материалам ГИС практически без непосредственного привлечения керновых данных. Петрофизические оценки граничных значений ФЕС представляют интерес при уточнении выделенных эффективных толщин в случаях неоднозначности прямых косвенных признаков коллекторов, это касается как участков разрезов, представленных низкопоровыми коллекторами, так и интервалов слоистых пачек.

Роль петрофизического обеспечения наиболее значима при определении коэффициентов пористости, коэффициентов проницаемости и газонасыщения коллекторов. Достоверность определения этих параметров, как по данным ГИС, так и по керну зависит от состояния охарактеризованности объектов отбором керна, а также – результатами петрофизических исследований. Существенным недостатком петрофизического обеспечения рассматриваемых работ является отсутствие исследований фазовой проницаемости коллекторов и обоснования коэффициентов нефтевытеснения.

На Кальчинской площади залежи нефти структурно-литологического типа, развитые повсеместно, в основном характерны для пачек ачимовской толщи Ач1-2, Ач1-3, Ач2(1-1) и Ач2(1-2); для пачек Ач2-2 и Ач3, с более опесчаненным разрезом, залежи нефти в которых отмечены на всей Кальчинской площади, залежи относятся в основном к пластово-сводовому типу. На Кальчинском месторождении базисными объектами разработки являются пласты ачимовской толщи Ач1, Ач2, Ач3; вторыми по значимости являются продуктивными пласты тюменской свиты – Ю₃ и Ю₄.

В ачимовской толще, имеющей общую мощность порядка 160 м, выделено шесть залежей нефти, приуроченных к пластам Ач3, Ач2-2, Ач2(1-2), Ач2(1-1), Ач1-3, Ач1-2, представленным песчано-алеврито-глинистыми породами. Песчаные прослои иногда достигают 11-13 метровой мощности, нередко четко выражены, чередуются с мощными глинистыми покрывками. Однако, чаще всего, выделенные пласты состоят из многочисленных прослоев песчаников, различных по мощности, разделенных плотными породами.

В скважинах, пробуренных на Кальчинском месторождении, своевременно проводится комплекс геофизических исследований (ГИС) и прострелочно-взрывных работ (ПВР) в разведочных и эксплуатационных скважинах с целью:

- литологического расчленения разрезов скважин;
- определения глубин залегания пластов;
- выделения проницаемых интервалов;
- оценки характера насыщения пластов-коллекторов;
- определения количественных параметров нефтенасыщенных пластов для подсчета запасов;
- контроля технического состояния ствола скважин;
- вскрытия продуктивных пластов путем перфорации обсадной колонны скважин с использованием кумулятивных перфораторов.

Метод и аппаратура акустического воздействия [1, 6] предназначены для восстановления производительности эксплуатационных скважин и определения характера насыщенности коллекторов. Первичным результатом метода является восстановление проницаемости насыщенного порового пространства, причем как в ближней зоне, так и в удаленной зоне пласта. По результатам гидродинамических исследований, после акустического воздействия по всей толще работающих пропластков происходит увеличение проницаемости призабойной зоны на 80-130 %, а удаленной зоны на 40-160 % и по этим данным можно судить о глубине акустического воздействия. Тот факт, что наибольший вклад в изменения САЭ вносят именно свойства жидкости, которая находится в данный момент в поровом пространстве пласта коллектора, подтверждается другими методами геофизических исследований скважин.

Определение характера насыщенности коллекторов Кальчинского месторождения было сделано по каротажу сейсмоакустической эмиссии (КСАЭ) в цикле каротаж – акустическое

воздействие - каротаж по трем скважинам. Вначале идет запись фона САЭ, затем проводится акустическое воздействие 2 минуты на точку с шагом 1 метр и делается запись САЭ после акустического воздействия. А затем, делается выделение нефтенасыщенности по приросту энергии сигнала САЭ в сравнении с фоновой записью. Повторное акустическое воздействие по 2 минуты на точку с шагом 1 метр.

Интерпретация записанных данных основана на выделении отклика пористой насыщенной среды на активное акустическое воздействие. Кривая сигналов САЭ, записанная после воздействия сравнивается с фоновой, выделяются интервалы прироста (в случае нефтенасыщенного коллектора) или падения энергии (в случае водонасыщенного коллектора), превышающие погрешность измерения. Потом, рассчитывается кривая прироста энергии САЭ относительно фоновых значений и отсекается уровень погрешности, при этом получается кривая, выделяющая интервалы нефтенасыщенности или водонасыщенности.

Далее материалы КСАЭ коррелируются с данными ПС, ГК, КС и ИК. Коллектор на диаграммах ГК и ПС отбивается пониженными значениями параметров естественного гамма-излучения и спонтанной поляризации. Нефтенасыщенные пласты на диаграммах КС выделяются положительными аномалиями, а на диаграммах ИК отрицательными.

В результате выполненной корреляции и сопоставления с методами ГИС, мы получаем точные интервалы отклика среды и приблизительную оценку достоверности полученных результатов по определению нефтенасыщенности. Оценка достоверности можно хорошо сделать по коэффициенту корреляции между КСАЭ и индукционным каротажем, ГК, НГК, ПС, БК и КС, при этом его значение должно превышать 0,5.

Сопоставление с петрофизическими данными позволяет прогнозировать наличие или отсутствие притока, так же возможность подтягивания воды с подошвы пласта. Отличным примером этого служат результаты сопоставления по коэффициенту корреляции метода КСАЭ с кривыми Кпр, Кн и Кп, по скважине № 329 Кальчинского месторождения. Интервал 2741 - 2744 м отмечается положительным коэффициентом корреляции между динамикой фоновая запись сигналов САЭ и Кпр, равный 0,1405. Кроме того, отмечается положительным коэффициентом корреляции запись сигналов САЭ после первого и второго воздействия и Кпр, равный 0,8463, что свидетельствует о наличии углеводородов В интервале 2754,5 - 2759,2 м отмечается положительным коэффициентом корреляции между динамикой фоновая запись сигналов САЭ и Кпр, равный 0,4380, но после первого и второго воздействия сигналов САЭ коэффициент корреляции становится отрицательным, равным 0,5692, что характерно для водонасыщенного пласта.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод, что нефтенасыщенный пласт после обводнения пресной водой стал водонасыщенным (коэффициенты корреляции меняют свой знак после акустического воздействия). По этой методике расчета коэффициента корреляции между КСАЭ и ГИС были построены зависимости между естественной и вызванной сейсмоакустической эмиссией и каротажем ИК в интервалах 2742-2744 и 2754.5-2759.2 м. Показано, что по методу КСАЭ могут быть не только четко выделены нефтенасыщенные и водонасыщенные коллектора, но, при наличии эталона или модели, может быть дана абсолютная количественная оценка нефтенасыщенности [7].

Литература

1. Дрягин В.В., Кузнецов О.Л. Технология обнаружения и извлечения углеводородов на основе их реакции на волновое воздействие // Технологии ТЭК: Научно-технический журнал, 2003. № 5 (12). С. 35-38.
2. Кузнецов О.Л. Нелинейная геофизика // Вопросы нелинейной геофизики. Сб. науч. трудов. М.: ВНИИЯГГ, 1981.
3. Дрягин В.В. Иголкина Г.В. Применение метода акустического воздействия для изучения коллекторов // Уральский геофизический сборник, Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2004. № 6. С. 43-48.

4. Дрягин В.В., Иголкина Г. В. Применение метода акустического воздействия в скважинах для восстановления проницаемости оценки насыщенности коллекторов // Техноэкогеофизика - новые технологии извлечения минерально-сырьевых ресурсов в XXI веке: Материалы 1 Всеросс. геофиз. конфер.-ярмарки. Ухта, 1-5 октября 2002 г. Ухта: УГТУ, 2002. С. 57-61.
5. Дрягин В.В., Иголкина Г.В., Стародубцев А.А. Решение геолого-промысловых задач при разработке месторождений методом каротажа вызванной сейсмоакустической эмиссии (КСАЭ) // Фундаментальные проблемы разработки нефтегазовых месторождений, добычи и транспортировки углеводородного сырья: Международная конференция, Москва: ИПНГ, 2004, с. 256.
6. Дрягин В.В. Способ определения характера насыщенности коллектора. Патент РФ № 2187636 от 21.02.2001 г.
7. Дрягин В.В., Кузнецов О.Л., Стародубцев А.А., Рок В.Е. Поиск углеводородов методом вызванной сейсмоакустической эмиссии в скважинах // Акустический журнал, 2005. Т. 51, приложение, с. 66-73.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ МОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО МЕТОДА

В.А Кочнев¹, П.А.Звягин² -

¹ИВМ СО РАН, Красноярск

²СибГАУ им. ак. М.Ф. Решетнева, Красноярск

Для получения временных и глубинных разрезов, адекватно отображающих строение изучаемых объектов, необходимо с большой точностью знать скоростные параметры как глубинной, так и верхней части модели среды. Если параметры глубинной части модели, как правило, изменяются плавно, то в верхней части они могут изменяться значительно, в пределах от 400 м/с в сухих песках до 3000 – 4000 м/с в мерзлых породах. При производственной обработке данных многократных перекрытий 2D и 3D для определения глубинных скоростных параметров $v = f(x, t)$ используются процедуры скоростного анализа. При неоднородной верхней части разреза результаты скоростного анализа оказываются сильно искаженными. Для исключения этого влияния определяются задержки волн в верхней части разреза (ВЧР). Эти задержки принято называть статическими поправками.

Для двумерного случая математическая модель времени прихода волн к поверхности будет иметь вид

$$t_{ij} = \sqrt{t_{0k}^2 + \frac{l_{ij}^2}{v_k^2}} + \tau_{Pi} + \tau_{Pj} + \tau_{Bi} + \Delta\tau_{ij} \quad (1)$$

где t_{ij} - время прихода волны от i -й точки к j -й точке на линии наблюдения;

$k = (i + j) / 2$ - индекс средней точки между точками i и j , под которой лежит общая глубинная точка;

t_{0k} - время пробега отраженной волны при $l_{ij} = 0$ от k - й глубинной точки;

l_{ij} - расстояние между точками i и j , т.е. между точкой источника и точкой приемника;

v_k - скорость пробега волны от линии приведения до отражающего горизонта, соответствующая k - й точке. Данную скорость принято называть эффективной, т.к. она отражает свойства многослойной среды, расположенной между линией приведения и поверхностью отражения. По величине она находится в интервале между средней и лучевой скоростью, т.е. $v_{k(ср)} \leq v_k \leq v_{k(луч)}$;

τ_{Pi} , τ_{Pj} - статические поправки (задержки волны) на пунктах i и j ;

τ_{Bi} - поправка на пункте взрыва;

$\Delta\tau_{ij}$ - кинематическая составляющая статической поправки. При малых величинах статических поправок и малых значениях скоростей в ВЧР она стремится к 0. Более детально этот вопрос рассматривается в [1].

В работе [2] задача коррекции поправок была сформулирована как общая задача оценки t_0 , v и статических поправок по годографам отраженных волн. Для этого составлялась система уравнений типа (1) и итерационным алгоритмом определялись сначала нулевые времена, затем поправки и скорости.

Автоматизированная технология прослеживания волн, получения годографов и оценки параметров модели среды и поправок на основе разработанного адаптивного метода решения систем алгебраических уравнений была создана и детально описана в работе [1]. Технология позволяла получать более точные результаты в сложных поверхностных условиях (неоднородная мерзлота). Однако в силу ряда причин технология была утрачена.

В данном докладе будут представлены и проанализированы результаты решения обратной кинематической задачи на модельных и реальных примерах.

Модельный пример

Первоначально по заданной модели, имеющей переменную скорость и задержки волн в ВЧР, решим прямую кинематическую задачу и получим годографы (рис. 1).

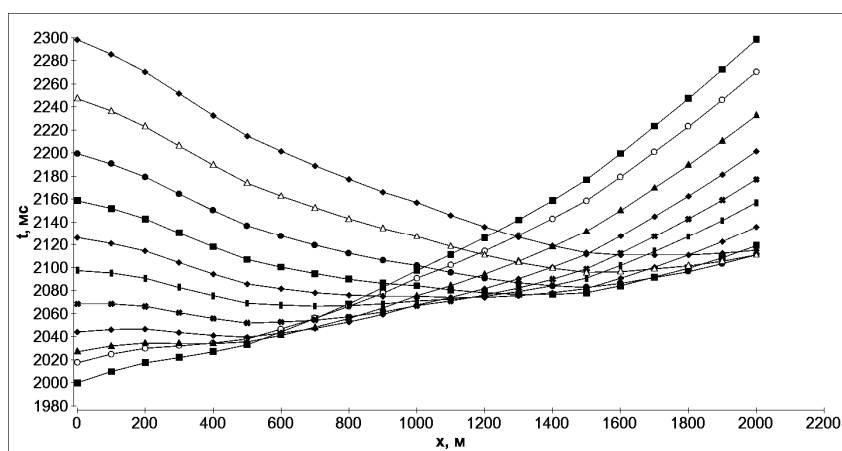


Рис. 1. Модельные (в дальнейшем исходные) годографы отраженных волн

Решаемая в данном примере система нелинейных уравнений включает в себя 231 уравнение и 114 неизвестных. Для создания моделей, решения обратных задач адаптивным методом и визуализации результатов создана исследовательская программа. Используя ее в процессе решения задачи, получим средние квадратические невязки (рис. 2), уменьшающиеся от 4.17 мс после одной итерации до 0.92 мс после десяти итераций.

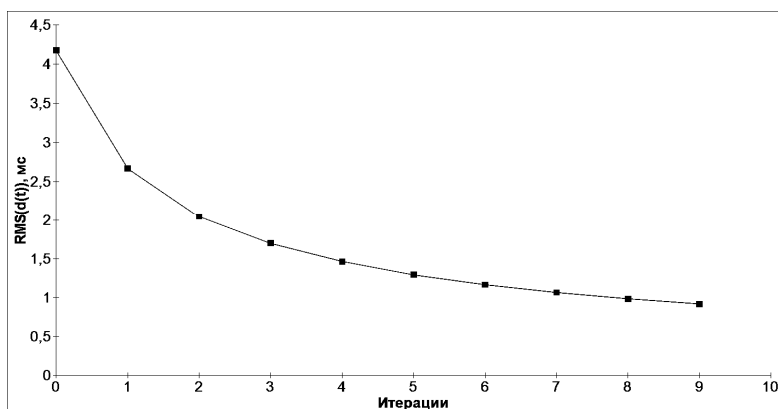


Рис. 2. Средние квадратические невязки в зависимости от номера итерации

Априорные, уточненные и модельные поправки на пунктах приема показаны на рис. 3. Наибольшее отклонение после 10 итераций не превышает 3 мс.

Априорные, уточненные и модельные нулевые времена показаны на рис. 4. Их отклонения не превышают 5 мс.

Наиболее интересным является результат уточнения скоростей (рис. 5). Априорная скорость была задана равной 1961 м/с. Такой она и осталась на концах профиля. В средней час-

ти она совпадает или близка к модельной, однако видна значительная ундуляция и отклонения достигают 50 м/с.

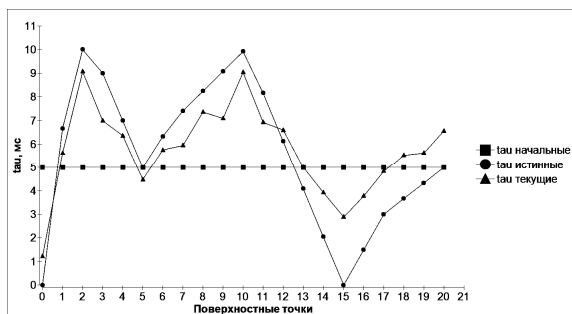


Рис. 3. Априорные, уточненные и модельные статические поправки

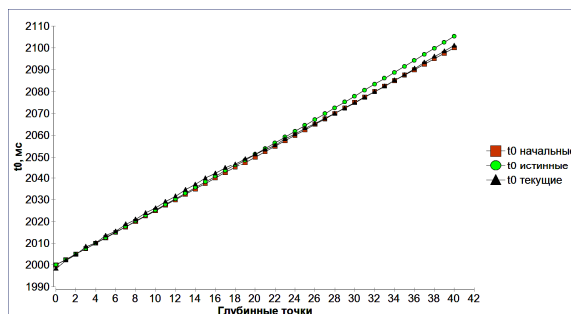


Рис. 4. Нулевые времена: априорные, уточненные и модельные

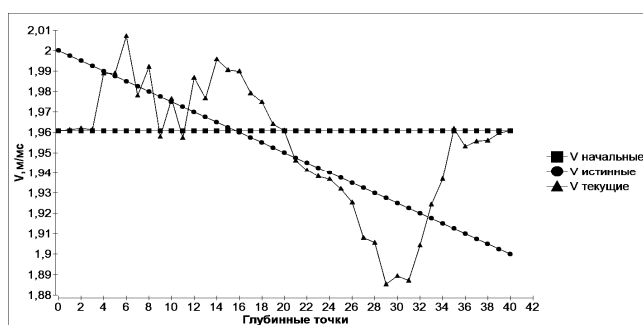


Рис. 5. Эффективные скорости: априорные, уточненные и модельные

Полученные результаты указывают на необходимость введения следующих усовершенствований в технологию, которые были ранее [1]:

1) Ввести два этапа уточнения. На первом этапе уточняются нулевые времена и поправки. Для этого уточнение параметров ведется по точкам, близким к ПВ (например, по ближайшим 5 или 6 точкам). На втором этапе в процесс решения включаются все точки и уточняются все параметры.

2) После каждой итерации ввести локальную аппроксимацию скоростей и других параметров с учетом их гладкости и погрешности.

В целом первый шаг создания технологии сделан в правильном направлении. Наличие графики позволяет анализировать полученные результаты.

Литература

1. Кочнев В.А. Адаптивные методы интерпретации сейсмических данных. Н.: Наука, 1988. 152 с.
2. Wiggins R., Lerner K., Wisecup R. Residual Statics Estimation as a General Linear Inverse Problem // Geophysics. 1976. Vol. 41. № 5. P. 922 - 938.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГНОЗУ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Нусинов Ергали -

Институт сейсмологии МОН РК, Алматы, Республика Казахстан

Безопасность и защита населения и промышленных объектов от разрушительных землетрясений для Казахстана является не только важнейшей экологической проблемой, но социально-политической и экономической, так как свыше 30 процентов его территории считаются сейсмически активными. В этих регионах проживает около шести миллионов человек,

сосредоточено свыше 40 процентов промышленного потенциала страны, расположено более 400 городов и крупных населенных пунктов. Эти данные свидетельствуют о необходимости международного сотрудничества при прогнозировании землетрясений и оценке сейсмического риска в Республике Казахстан.

За последние сто лет в Казахстане произошло более десяти сильнейших землетрясений. Один только Алматы за эти годы испытал несколько сейсмических катастроф (Верненское землетрясение в 1887 году; Чиликское - в 1889-м и Кеминское - в 1911 году). Все большую обеспокоенность в настоящее время вызывает Восточный Казахстан, где проводится большой объем горных работ, а также изучается возможность техногенных землетрясений в зоне Каспия, где разрабатываются нефтяные месторождения.

Совместно с сейсмологами и геофизиками из России проводится с проект по изучению геодинамики Северного Тянь-Шаня - основного региона, подверженного разрушительным землетрясениям. Основной задачей этих исследований является возможность изучения развития и локализации очагов будущих землетрясений. Эти работы позволят скорректировать направления дальнейших научных исследований при оценках сейсмической опасности территорий и населенных пунктов, а также в области разработки методов прогноза землетрясения.

Прогноз землетрясений - это крупная научно-техническая проблема, разрешаемая лишь усилиями ученых нескольких сопредельных стран. К примеру, в прошлом году на территории российского Алтая произошло крупное землетрясение, которое сейсмологи России не смогли предсказать.

Сегодня ученые Казахстана научились делать среднесрочный прогноз (под ним понимается опережающий прогноз места и силы ожидаемого события сроком от одного месяца до года), достаточно обоснованный и оправданный. Все шире в последнее время при развитии методов среднесрочного прогноза сейсмологи Института сейсмологии НАН РК используют и дистанционные методы изучения - космические. В настоящее время планируется создание специальной сети приема сигналов со спутников (дистанционное зондирование), разрабатываются методы обработки данных зондирования. Широко используются методы спутникового позиционирования – GPS для изучения современных движений земной коры на территории Северного Тянь-Шаня. Изучаются закономерности изменения тепловых полей в этом регионе по космическим снимкам. Все данные обрабатываются совместно учеными Казахстана, России и Кыргызстана.

Итогом данных работ являются прогнозные карты землетрясений с опережением на год, и с корректировкой в течение месяцев до предполагаемого события. Показано, что на юге Казахстана, в окрестностях крупнейшей агломерации - города Алматы, расположенного в наиболее сейсмоопасном регионе, сильного землетрясения ожидать не следует.

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СВЯЗИ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА С ПОНИЖЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ

А.В. Овчаренко, В.А. Щапов - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

В последние годы накоплена обширная инструментальная информация о слабой сейсмичности Южного и Среднего Урала [1, 2], а также выполнена картографическая сводка многолетних наблюдений теплового потока в скважинах [3, 4]. Совместный визуальный анализ этой информации средствами GIS - технологий показывает (рис. 1), что подавляющее большинство слабых сейсмических событий на Южном и Среднем Урале происходит в областях с пониженным (менее 40 мВт/м²) тепловым потоком.

Поскольку традиционно считается, что сейсмическая активность повышена в областях с активным выносом тепла, например, в рифтовых и спрединговых зонах, то необходимо найти объяснение данной парадоксальной ситуации. При анализе влияния теплового потока на рассеянную слабую сейсмичность необходимо рассмотреть изменение физико-

маханических свойств среды в зависимости от химического состава и РТ-условий. В работе [5] установлено, что кислые, основные и ультраосновные породы существенно по-разному изменяют свою упругую (хрупкую) и пластическую прочность в зависимости от температуры и давления (глубины очагов).

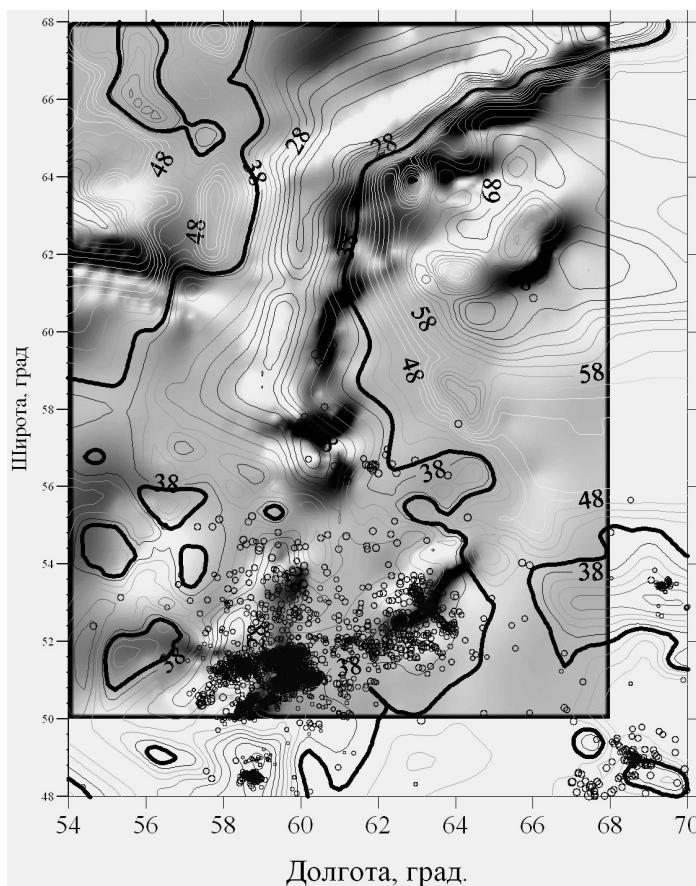


Рис. 1. Сопоставление слабых сейсмических событий $M=1-3$ периода 2002 - 2007 гг. [1] с аномалиями теплового потока [3, 4]. Полутоновая подложка – карта основности земной коры [2]

Лабораторные изучения критических деформаций на образцах [5] доказали, что переход от хрупкости к пластичности зависит от температуры и минерального состава и происходит при температуре $(300 \pm 50)^\circ\text{C}$ для пород с доминированием кварца, а для пород, состоящих в основном из полевого шпата, при $(400 - 650)^\circ\text{C}$.

Далее авторы [5] рассчитали возрастание температуры с увеличением глубины на основе измерений теплового потока, удельной теплогенерации и коэффициентов теплопроводности, применив уравнение одномерного стационарного кондуктивного переноса. Используя обширную сейсмологическую базу, авторы показали, что в диапазон температуры от $450^\circ \pm 50^\circ$ до $275^\circ \pm 25^\circ\text{C}$ укладываются 99 % всех эпицентров землетрясений в Калифорнии (рис. 2).

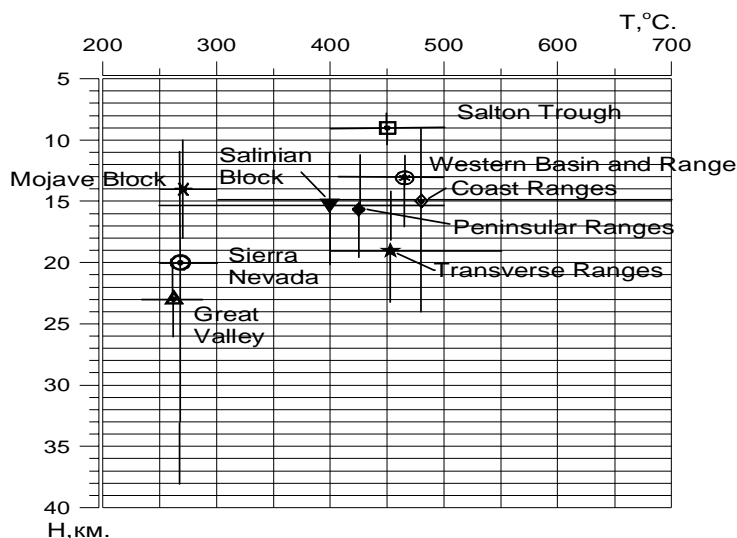


Рис. 2. Зависимость глубины землетрясений от РТ-условий и вещественного состава (по: Bonner, Blackwell, 1998)

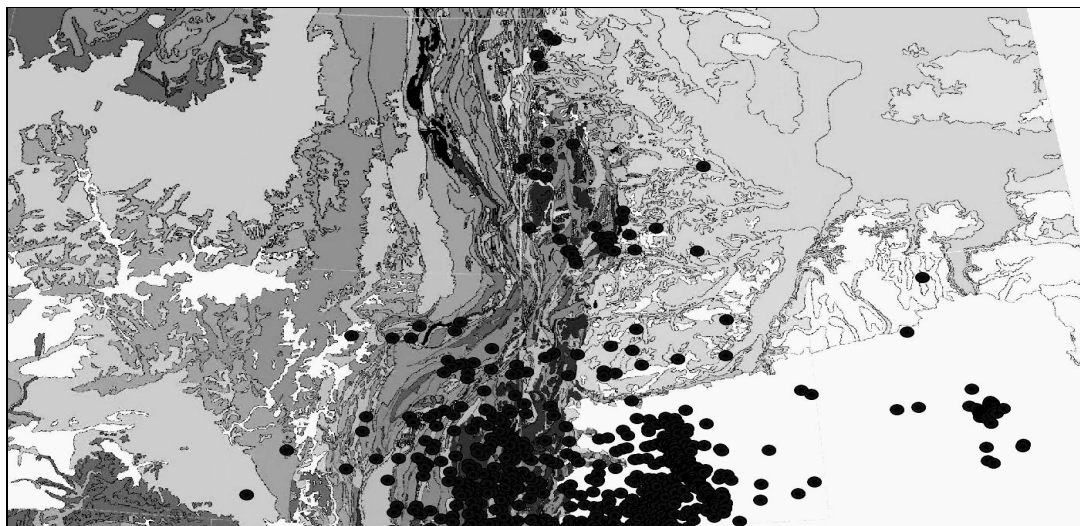


Рис. 3. Сопоставление геологической карты с гипоцентрами слабых сейсмических сигналов

Таким образом, следует ожидать, в области пониженного теплового потока Среднего и Южного Урала кислые породы являются более пластичными, чем средние, основные и ультраосновные. Рассматриваемые сейсмические события приурочены в основном к областям распространения основных эффузивных толщ девона-карбона, которые несут существенно меньшие по сравнению с кислыми породами, содержания урана, тория и калия – основных источников радиогенного тепла (рис. 3). Вероятно, следует считать, что уровень хрупких напряжений для областей развития кислых пород на Южном и Среднем Урале сдвинут в область несколько больших критических нагрузок, чем для областей развития пород с повышенной основностью. Одновременно с этим следует ожидать, что для областей развития именно кислых пород будут характерны сейсмические события повышенных энергетических классов. На рис. 3 дается сопоставление геологической карты поверхности с гипоцентрами слабых сейсмических событий.

Литература

1. Михайлова Н.Н. Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений // Вестник НЯЦ РК. Курчатов, 2005. Вып. 2 (22), с. 142 - 146.
2. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург / С.Н. Кашубин, В.С. Дружинин, В.И. Уткин и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 124 с.
3. Щанов В.А. Геотермические исследования Урала: Дис. ... док. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2006. 216 с.
4. Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала: Автореф. дисс. ... док. физ.-мат. наук. ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта, РАН. М., 2003. 48 с.
5. Bonner J.L., Blackwell D.D. The Earth's Thermal Field and related research methods // Proc. Int. conf. "The Earth's thermal field and related research methods". М., 1998, pp. 41 - 46.

СТРОЕНИЕ ВЕНД - РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И ФУНДАМЕНТА НА ВОСТОКЕ ВОСТОЧНО - ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

А.Н. Светлакова - Институт геологии УНЦ РАН, Уфа

Настоящая статья является результатом анализа временного разреза по одному из региональных сейсмических профилей, отработанных в ОАО Башнефтегеофизика. Сейсмический материал получен нами из геологических фондов, дана альтернативная интерпретация, несколько отличающаяся от оригинальной интерпретации авторов (Ардашева и др., 2004).

Поскольку на временных разрезах, даже при самой высокотехнологической обработке, существует некоторая неоднозначность, особенно при выделении разломов, альтернативный вариант необходим для выбора более достоверной и точной модели разреза. Мы изначально исходим из геологических представлений, изложенных в работах В.Н. Пучкова (Пучков, 2000), по вопросам строения Урала и восточной окраины Восточно-Европейской платформы. В этой модели строение всего Приуралья тесно связано со строением и геодинамикой складчатого Урала.

В начале 80-х годов В.Н. Николаевский (Николаевский, 1987), изучая проблему разрушения горных пород, установил следующее. В лабораторных условиях разрушение достигалось за счет больших тангенциальных напряжений (порядка 0,2 ГПа), которые равны полуразности вертикальной и горизонтальной составляющих давления. Горизонтальная составляющая давления нарастает с глубиной быстрее вертикальной, об этом свидетельствуют реальные замеры в скважинах и в шахтах. Поэтому в областях тектонического сжатия ось максимального сжатия с глубиной постепенно переходит от вертикального положения в горизонтальное: разломы становятся более пологими с увеличением глубины (рис. 1).

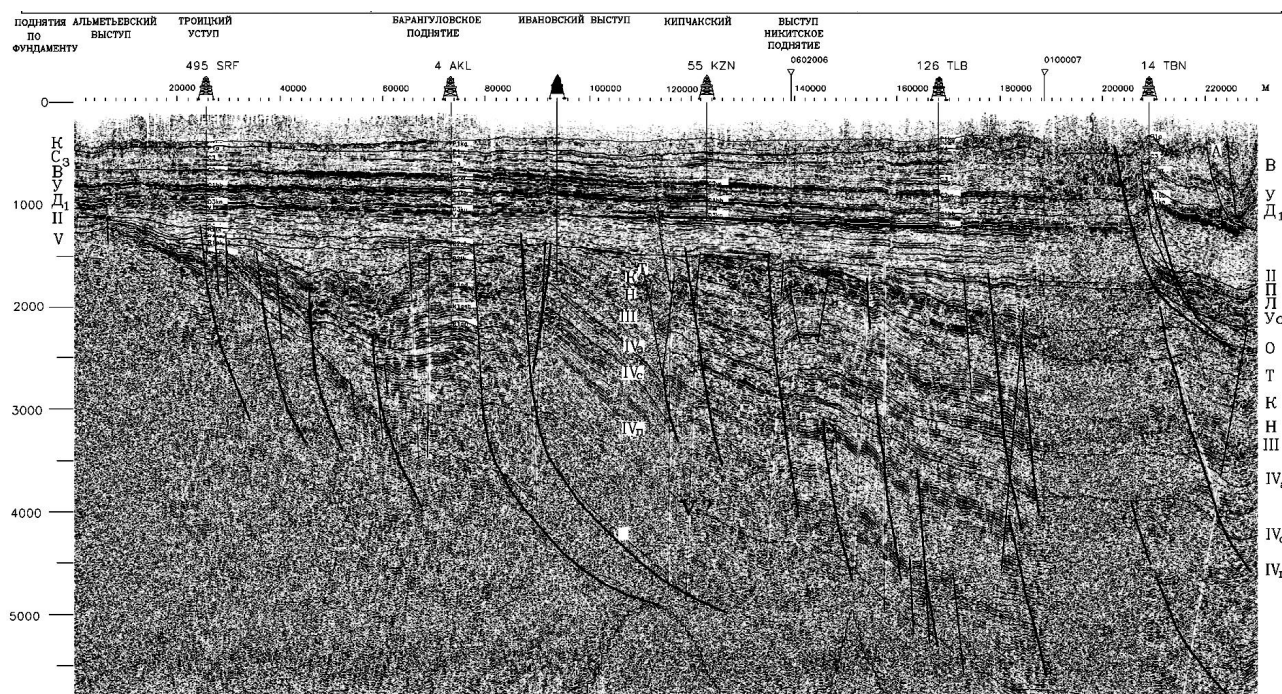


Рис. 1. Временные разрезы профиля №3. Условные обозначения к рисунку: Отражающие горизонты: Ш – кровля шиханской карбонатной свиты верхнего рифея; П – кровля приутовской терригенно-карбонатной свиты; Л – кровля леонидовской терригенной свиты; Ус- кровля усинской терригенной свиты среднего рифея; О- кровля ольховской карбонатно - терригенной свиты среднего рифея; Т- кровля тукаевской терригенной свиты среднего рифея; К – кровля кабаковской терригенной свиты нижнего рифея; Н – кровля надеждынской терригенной свиты нижнего рифея; Ш – кровля верхней карбонатной толщи калтасинской свиты нижнего рифея (ашитская подсвита); IVa - кровля средней карбонатно-терригенной толщи калтасинской свиты (арланская подсвита); IVc – кровля нижней карбонатной толщи калтасинской свиты (саузовская подсвита); IVn – кровля прикамской подсерии нижнего рифея; V – кровля дорифейского фундамента.

Подобные разломы впервые были описаны Э. Зюссом в 1909 году и названы листрическими (от греческого *listron* – совок, лопата) (Suess, 1909).

Еще в 1972 году И.Г. Бинкин и О.А. Шалаевская (Бинкин и др., 1972) показали, что дифрагированные волны при работах МОГТ также суммируются, как и обычные отраженные волны, и образуют систему коротких осей синфазности, начальные точки которых фиксируют плоскость разлома.

Профиль № 3 (рис. 1.) пересекает в широтном направлении юго-восточный склон Южно-Татарского свода, Благовещенскую впадину и Бельскую депрессию - часть Предуральского краевого прогиба.

Разрез осадочного чехла расчленяется на две крупные структурно-формационные системы: нижнюю - авлакогеновую, и верхнюю - плитную. Граница между ними проходит по отражающему горизонту П – основная межсистемная поверхность несогласия типа «кровельного среза» (Ардашева и др., 2004). На временных разрезах видно, как эта граница срезает и пенепленизирует сложно построенную, с поднятиями и впадинами, осадочную толщу рифейско-вендских отложений. Выше этой границы наблюдается спокойное залегание палеозойских осадочных образований, моноклинально погружающихся на восток. Но при всем кажущемся спокойствии все разломы, выделенные в авлакогеновой системе, передаются в плитную систему (например, пикет 11200 - Давлекановское месторождение).

Стратиграфическая привязка опорных отражающих горизонтов плитной системы выполнена с учетом ГИС, имеющихся здесь глубоких скважин. Профиль проходит вблизи параметрических скважин: 191 УРТ (Урустамакская), 1 МОР (Морозовская), 495 СРФ (Серафимовская), 547 ТРЦ (Троицкая), 4 АКЛ (Аслыкульская) (Ардашева и др., 2004).

Мы считаем, что все вертикальные от поверхности разломы с глубиной выполаживаются, и это согласуется с теорией. На временных разрезах профиля № 3 четко видны системы коротких осей синфазности, выстраивающихся кулисообразно-ступенчато в рифейско-вендских отложениях. При этом все эти разломы начинаются в палеозойских отложениях как субвертикальные (см. рис. 1).

Таким образом, с запада на восток мы выделяем Троицкий листрический разлом с выполаживанием на восток. Разлом ограничивает с запада Троицкий выступ фундамента, в своде которого пробурена скважина 495 Серафимовская с отметкой кровли фундамента минус 2672 м. Выступ наблюдается и по рифей-вендским отложениям. С востока он ограничен несколькими наклоненными сбросами. Далее на восток по рифей-вендским отложениям наблюдается Барангуловско-Ивановский двухкупольный выступ, отделенный от Троицкого впадиной до 4 км глубиной. По фундаменту впадина не отмечается, наблюдается сначала резкое моноклинальное его погружение, затем в пределах Барангуловско-Ивановского выступа отмечается терраса по фундаменту.

Отражение от фундамента хорошо прослеживается только на крутых склонах, по видимому, в результате фокусировки энергии отраженной волны. В других случаях прослеживание отражения от фундамента очень затруднено чисто по физическим причинам: в кровле фундамента залегают рыхлые эродированные породы, обладающие сравнительно невысокими скоростями (от 5.6 до 6.0 км/с). Они экранируются более высокоскоростными породами нижнего рифея, которые претерпели уплотнение и метаморфизацию. Барангуловско-Ивановский выступ, а также каждый купол выступа ограничены с запада и с востока листрическими разломами с таким же выполаживанием.

Далее на восток отмечается резкое погружение фундамента и рифейских отложений, которое обрывается Кипчакским выступом по рифей-вендским отложениям, и он также имеет двухкупольное строение. По фундаменту отмечается терраса. Кипчакский выступ, особенно его западный купол, имеют четко выраженный взбросовый характер. Кипчакский выступ и оба его купола также ограничены листрическими разломами, которые осложнены обратными оперяющими разломами.

Ещё далее на восток рифейские отложения моноклинально погружаются на восток в Предуральский прогиб с постепенным наращиванием мощности. В районе скважины 14 ТВН палеозойские, вендские и верхнерифейские отложения по пологим листрическим разломам надвинуты (вброшены) на запад. При этом отмечается несколько (до трех) плоскостей сбрасывателя, охватывающих от одного до нескольких сеймостратиграфических комплексов.

Литература

Ардашева Т.С., Беляева Т.В., Валеев Г.З. Региональные геофизические исследования Башкортостана // Первые Титмергазинские чтения. Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана: Материалы конференции, Уфа. 20 - 21 ноября 2003 г. Уфа: Тау, 2004, с. 148 - 161.

Бинкин И.Г., Шалаевская О.А. Суммирование дифрагированных волн в методе ОГТ // Разведочная геофизика, 1972. Вып. 54, с. 15 - 21.

Николаевский В.Н. Волноводы земной коры // Природа, 1987. № 7, с. 54 - 60.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.

Suess E. THE FACE OF THE EARTH. Oxford, 1909 - 1914. V. 1У

ГЕОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ЗА РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.К. Троянов, Ю.Г. Астраханцев, Н.И. Начапкин -
Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Применительно к задачам исследований скважин на месторождениях углеводородов физический смысл использования того или иного информативного параметра данного метода и последующая интерпретация результатов измерений на качественном уровне сводятся к следующему.

1. Наличие амплитудных аномалий в диапазоне частот 100-500 Гц (параметры Н1 и Z1) характеризует движение флюида в вертикальном или горизонтальном направлениях, а также динамическую активность осадочной толщи пород.

2. Превышение величины отношения $Nh = N2/N1$ ($Nz = Z2/Z1$) уровня 0.8 указывает на наличие нефти за обсадной колонной с газовым фактором от 15 до 50 м³/т и более.

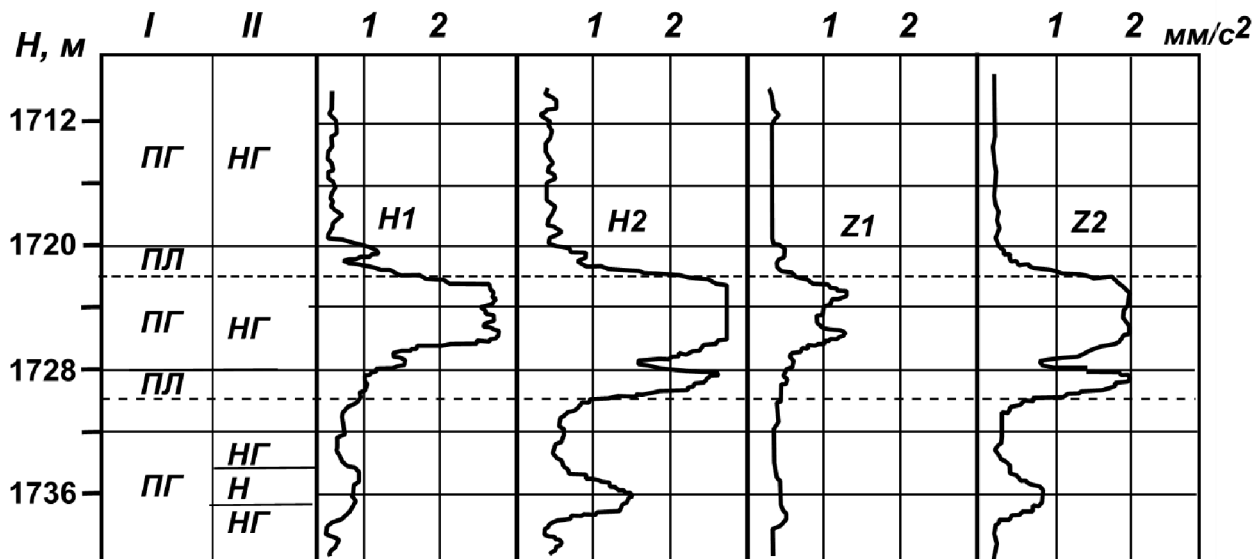


Рис. 1. Диаграммы распределения измеренных параметров геоакустических сигналов. I – литологическая характеристика: ПГ - песчаник глинистый, ПЛ – плотные породы; II - характер насыщенности пластов: НГ - нефтегазонасыщенный, Н - нефтенасыщенный

В качестве примера приведем результаты исследования в интервале продуктивного пласта ПК19-20 на Барсуковском нефтяном месторождении скв. 3110, куст 43-А. На рис. 1 приведены литологическая характеристика исследуемого интервала (колонка I) и характер насыщенности пластов-коллекторов, определенный по стандартному комплексу ГИС 03.08.90. года. Фактически нефтегазонасыщенный интервал выделяется интенсивными аномалия-

ми параметров акустических сигналов. Этот интервал ограничен кровлей и подошвой плотных пород, представлен глинистым песчаником и по параметрам метода соответствует движению нефти с газовым фактором.

Возможности метода по выделению газонасыщенных пластов - коллекторов в интервале 700-900 м и нефтенасыщенного - в интервале 2000-2650 м показаны на рис. 2.

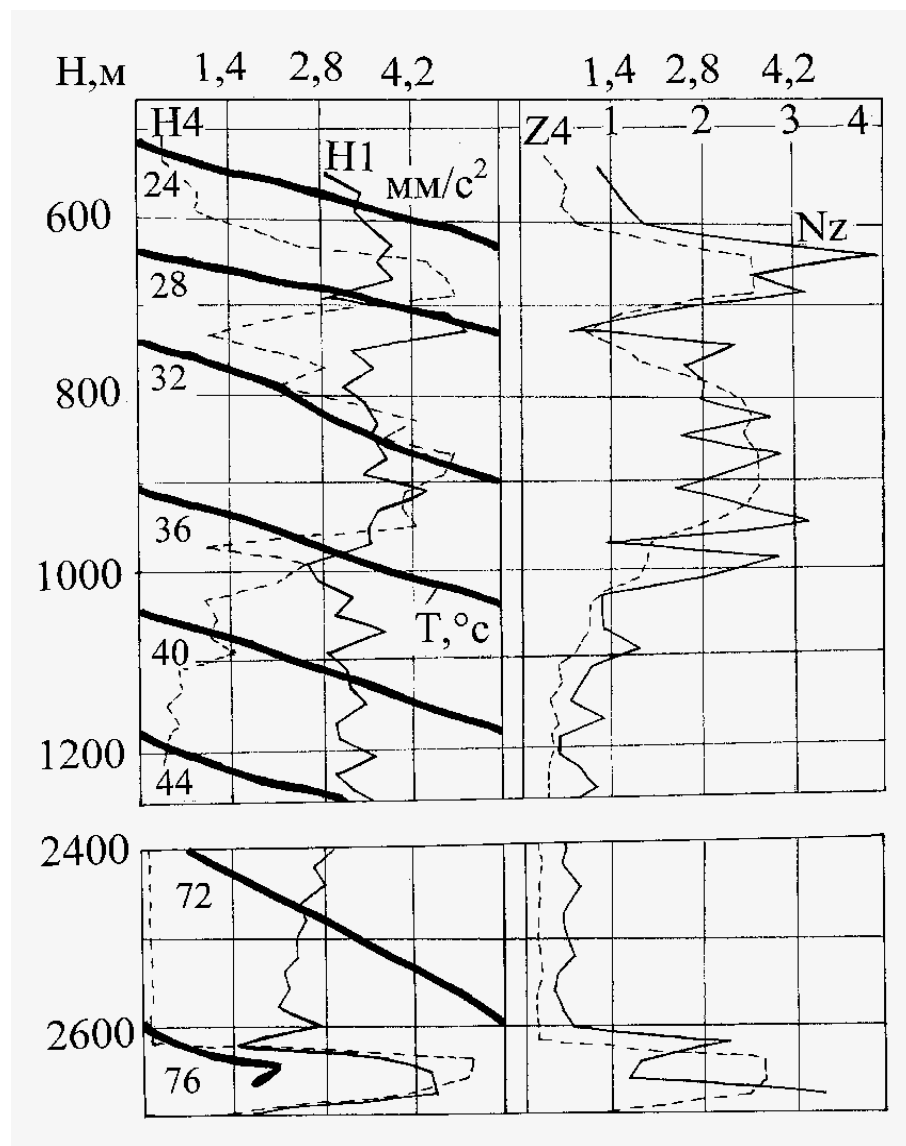


Рис. 2. Пример выделения газонасыщенного и нефтенасыщенного пластов-коллекторов по параметрам геоакустических сигналов (Барсуковское нефтяное месторождение, ЯНАО). Термограмма- данные НГДУ Барсуков-нефть

Исследование геоакустических сигналов в Ен-Яхинской скважине СГ-7 выполнялись в интервалах глубин 300-6040 м при спуске скважинного прибора с шагом 20 м. С учетом высоких давлений и температур для измерений изготовлен специальный скважинный прибор для аппаратуры BN4008. Датчики с электронной схемой были помещены в сосуд Дюара, что позволило осуществить запись акустических сигналов при температуре до 156 °С. Охранный кожух скважинного прибора был изготовлен из прочного титанового сплава. Распределение амплитудного уровня акустических сигналов в исследованном интервале с горизонтальных (параметры H1 и H2) датчиков-акселерометров показано на рис. 3.

Как видно, параметры сигналов в разной степени дифференцированы и характеризуются аномалиями, в 3-5 раз превышающими их минимальный уровень. Выделенные интервалы детальных исследований (а и б на рис. 3) представляют динамически пассивные породы с отсутствием движения газа и газожидкостной смеси в верхней части разреза и динамически активные зоны коллекторов в нижней части исследованного разреза.

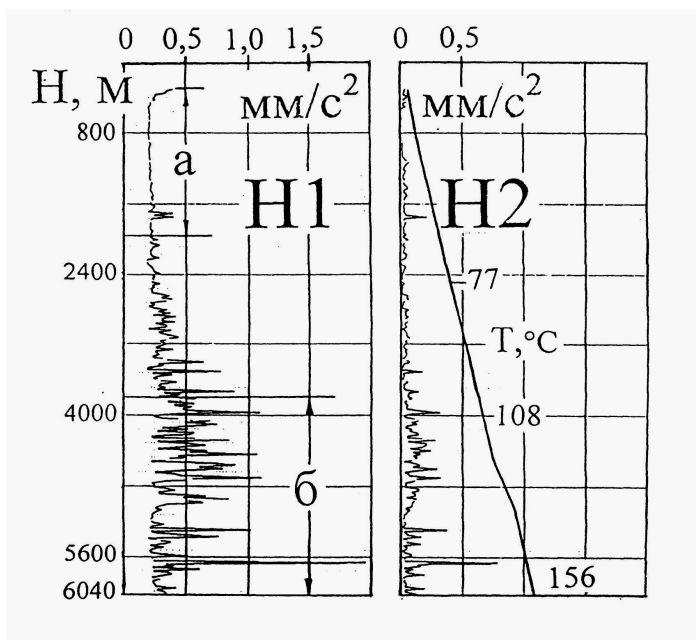


Рис. 3. Диаграммы результирующих геоакустических сигналов Н1, Н2 с горизонтальных датчиков в полосах частот 0.1-0.5 кГц и 0.5-5.0 кГц, соответственно. Измерения температуры выполнены ФГУП «Недра»

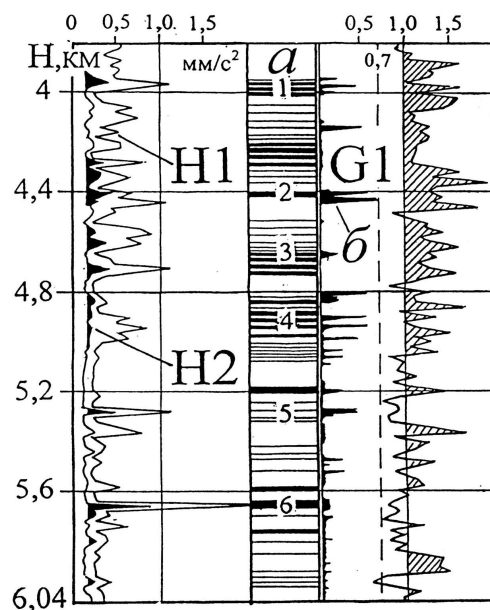


Рис. 4. Зоны активных процессов флюидогазодинамики по данным ГАШ. Н1, Н2 – диаграммы сигналов с горизонтальных датчиков, G1 – расчетный параметр ГАШ, равный отношению $Z1/N1$ в полосе частот 0.-0.5 кГц. а - интервалы коллекторов 1-6, б – аномальные проявления суммарного газа – данные Тюменской ГРЭ СГБ ФГУП «Недра»

Рассмотрим более детально результаты исследований сигналов в интервале коллекторов (рис. 4). Для удобства анализа данных выделим в интервале коллекторов 6 пачек, которые в разной степени выделяются по параметрам Н1 и Н2, и характеризуются аномальным проявлением суммарного газа (рис. 4, колонка б). Пачки коллекторов выделяются аномальными значениями параметров Н1 (100-500 Гц) и Н2 (500-5000 Гц), что указывает на состав (газожидкостная смесь) и наличие движения флюида (газа) по пластам. Внутри пачки наблюдаются вертикальные межпластовые (заколонные) перетоки. Здесь величина параметра $G1 = Z1/N1$ превышает единицу и достигает значения 1.5, то есть сигналы с вертикального датчика больше, чем с горизонтальных.

Исследования позволили сделать следующие выводы:

- в нижней части исследованного разреза (6040-5000 м) отмечается очень слабое заколонное движение газа и газожидкостной смеси;
- в интервале глубин 5000-2000 м наблюдается интенсивный заколонный переток газа и газожидкостной смеси;
- в верхней части разреза (2000-300 м) заколонный переток газа и газожидкостной смеси уменьшается и в интервале 1300-500 м отсутствует полностью, что свидетельствует о высоком качестве выполненных работ по предотвращению заколонных перетоков газа.

Созданный и используемый в настоящее время аппаратно-программный комплекс с методическим обеспечением исследований позволяет включить трехкомпонентный геоакустический каротаж в состав стандартных методов ГИС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-05-65177.

**ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ
КОРЫ РАЙОНА ПОЛУОСТРОВОВ СРЕДНИЙ - РЫБАЧИЙ НА ОСНОВЕ
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОГТ, ГСЗ, МРС**

Н.В. Шаров¹, Э.В. Исанина², Н.А. Крупнова², В.И. Пожиленко³, В.М. Ступак⁴ -

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

² ФГУГП «Урангео» СЗФ «Невскгеология», Санкт - Петербург

³ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

⁴ ПСМО «Спецгеофизика», Санкт - Петербург

Единой технологии непрерывного изучения геологического разреза литосферы с заданной точностью и достоверностью каким-либо одним сейсмическим методом в настоящее время не существует не только в России, но и за рубежом. Попытки «углубить» наиболее элитарные методики типа МОГТ в силу технических, а главное экономических причин не представляются реальными в широком масштабе, по крайней мере, в ближайшие годы. В сложившейся обстановке необходимо все-таки определить некий оптимум между технологическими, экономическими и геологическими показателями, позволяющий преодолеть ограничения экстремальных подходов. Наиболее целесообразным представляется совмещение технологий ОГТ - МРС - ГСЗ. Следует подчеркнуть, что физическая основа ГСЗ, МРС и ОГТ одна и та же, поэтому рассуждения о принципиальных различиях методов - неуместны.

Основная идея статьи состоит в совместной интерпретации сейсмических данных, полученных тремя методами: ОГТ, ГСЗ и МРС. Каждый из этих методов имеет как свои преимущества, так и недостатки, основанные на природе, физических характеристиках используемых типов волн.

ОГТ наиболее распространенный метод сейсмических исследований, основанный на определении отражающих характеристик среды и использующий, соответственно, отраженные волны. Самый распространенный сейсмический метод, безусловно доказавший свою состоятельность, особенно эффективен при восстановлении структур с явно выраженными квази-горизонтальными границами, в первую очередь в осадочном чехле. ОГТ позволяет получить высокоразрешенный как по горизонтали, так и по вертикали разрез до кровли фундамента. В средах, не содержащих контрастных отражающих горизонтов и имеющих крутые углы наклонов границ или тектонических нарушений, возможности метода значительно снижаются. Например, при исследовании кристаллического фундамента Балтийского щита ОГТ в лучшем случае позволяет выделить только кровлю и подошву фундамента, местами - границу Мохо и, возможно, границу между верхней и нижней корой.

ГСЗ оперирует, главным образом, с преломленными и закритическими отраженными волнами, и одним из его главных плюсов является возможность восстановления не только протяженных, ярко выраженных преломляющих границ, но и неоднородностей с плавными изменениями скоростных параметров. Другое важное преимущество ГСЗ - глубинность исследований, значительно превышающая возможности ОГТ. Суммарно ГСЗ позволяет получить достаточно дифференцированный разрез земной коры и верхней мантии. В тоже время необходимо отметить, что разрешенность метода, особенно для верхней части разреза (осадочного слоя), резко уступает работам ОГТ.

МРС базируется на использовании волн от разноудаленных сейсмических источников (землетрясений, взрывов) с целью построения разреза среды под точками приема от землетрясений и все типы волн (отраженные, преломленные, обменные, продольные и поперечные) от взрывов. МРС в основном регистрирует преломленные продольные и обменные волны и позволяет восстановить характеристики обменоспособности среды - свойства среды конвертировать продольные волны в поперечные. Данный параметр практически не изу-

чается в ОГТ, ГСЗ и представляет собой дополнительную информацию для геологических и геодинамических построений. МРС также характеризуется максимальной глубиной исследований среди всех трех методов и, соответственно, разрешенностью, зависящей от типа источников.

Как видно из данного обзора, вышеперечисленные методы не противоречат, а удачно дополняют друг друга. Идея их совместной интерпретации состоит в том, что недостатки одного метода могут быть частично устранены за счет преимуществ другого, что в конечном итоге позволит получить более достоверную геологическую модель исследуемого региона. Реализация данного подхода должна состоять в итерационном построении непротиворечивой модели по данным всех методов в направлении от менее разрешенных построений к более разрешенным или от менее глубинных к более глубинным. Трехкомпонентная регистрация смещения почвы на профилях (ГСЗ - МРС - ОГТ) позволяет проводить комплексную интерпретацию преломлено-рефрагированных, отраженных продольных, поперечных и обменных волн и на основе согласованных скоростных законов выполнять построение глубинных разрезов, уточненных с помощью решения прямой задачи. Новый этап интерпретации материалов связан также с переходом к трехмерному изучению среды методом сейсмической томографии.

В 1988 - 1997 гг. СЗФ «Невскгеология» выполнены исследования МОВЗ - МРС (метод обменных волн от землетрясений - метод разведочной сейсмологии) на территории Печенгского района Мурманской области (рис. 1). Проведены профильно-площадные исследования масштабов от 1:50000 до 1:500000. При работах этим методом помимо регистрации сейсмических волн от землетрясений регистрируются сигналы искусственных сейсмических источников возбуждения (взрывы в скважинах, шахтах и карьерах, сигналы пневмоизлучателя из акватории). В 1995 г. одновременно с проведением работ МРС на профиле III (Приречный-Лиинахамари) выполнялась регистрация сигналов пневмоизлучателей из акватории Баренцева моря (профиль AP - 1).

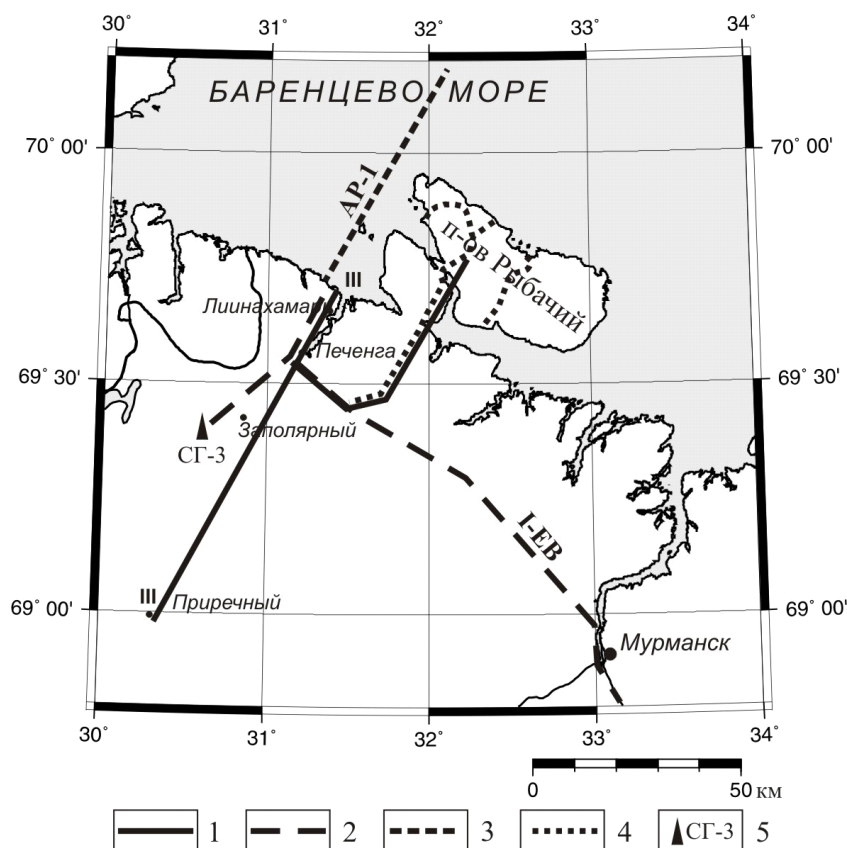


Рис. 1. Изученность северо-запада Кольского полуострова сейсмическими методами: 1 - профили МОВЗ, выполненные СЗФ «Невскгеология»; 2 - северный участок геотраверса 1 - ЕВ; 3 - опорный профиль AP - 1; 4 - профили ОГТ на п-ове Рыбачий; 5 - положение скважины СГ-3

Выполненные работы ФГУГНПП Спецгеофизика методом ОГТ (рис. 1) на полуостровах Средний и Рыбачий позволили получить представление о весьма сложной структуре верхней части земной коры. В результате были построены сейсмогеологические разрезы до глубин 14 - 16 км. Геологическая интерпретация МОГТ вряд ли могла быть однозначной в связи с неоднозначностью трактовки стратиграфической последовательности свит и серий терригенных пород рифея, выделенных на полуостровах Средний и Рыбачий, между собой, а также с образованиями сопредельных рифейских структур.

Предположения о значительной мощности раннерифейских отложений на полуострове Средний (5 - 6 км) не оправдались. Скважина, пробуренная на полуострове Средний (Пограничная), вскрыла на глубине 1200 м кристаллические породы фундамента. Такое существенное несоответствие объясняется, скорее всего, ошибкой в определении скоростных параметров и геологической интерпретации разреза. Конечно, в столь сложнопостроенной среде, каковой является участок земной коры полуостровов Средний-Рыбачий, осуществлять закладку параметрической глубокой скважины по профилю, выполненному единственным геофизическим методом ОГТ, было весьма опрометчиво.

При сопоставлении северной части разреза МОВЗ по профилю Печенга - Рыбачий, где хорошо прослежена в обменных волнах граница с глубиной 2.2 - 2.7 км, с разрезом по профилю «суша - море» можно предположить, что на юге полуострова Рыбачий мощность рифейских отложений (кровля кристаллического фундамента) находится на глубине 2.2 - 2.7 км.

Для корреляции геолого-структурных построений необходимо выполнить детальные сейсмические работы МРС на полуостровах Средний и Рыбачий с целью построения объемной сейсмотомографической модели региона.

Работа выполнена по проекту РФФИ 05-08-01340.
