УДК 550.34

Опыт регистрации сейсмических сигналов с использованием широкополосных электрохимических сейсмоприемников

© 2009 г. Д.Г. Левченко¹, И.П. Кузин¹, М.В. Сафонов², В.Н. Сычиков³, И.В. Уломов⁴, Б.В. Холопов¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Шириюва РАН, г. Москва, Россия
² Московский физико-технический институт, г. Москва, Россия
³ ОКБ океанологической техники РАН, г. Москва, Россия
⁴ Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Рассмотрены вопросы разработки и использования широкополосных сейсмоприемников-велосиметров электрохимического типа (хемотронов). Описаны принцип действия и устройство современных электрохимических (молекулярно-электронных) преобразователей сейсмических сигналов для линейного и вращательного движений. Приводятся данные метрологической аттестации и длительных испытаний на стендах таких сейсмоприемников. Их преимущества по сравнения со стационарными широкополосными сейсмоприемниками электродинамического типа состоят в устойчивости к ударам, высокой экономичности питания, работоспособности при больших наклонах и в широком температурном диапазоне. Эти преимущества позволяют с успехом применять их в широкополосных донных и переносных наземных сейсмографах. В заключение приводится сравнительный анализ записей удаленного Сычуаньского землетрясения (Китай, 12 мая 2008 г.), полученных в г. Москве на стенде ИФЗ РАН с помощью электродинамического сейсмоприемника и на стенде ОКБ ОТ РАН с использованием сейсмоприемника электрохимического типа.

Ключевые слова: сейсмический сигнал, электрохимический сейсмоприемник, Сычуаньское землетрясение.

Введение

В мировой сейсмологической сети в настоящее время используются в основном сейсмоприемники электродинамического типа с инерционной массой на упругой подвеске. Высококачественные широкополосные велосиметры такого типа для наземных сейсмических станций выпускают серийно только две фирмы: "G. Streckeisen Messgeratebau" (Швейцария) и "Guralp" (Англия). Приборы этих фирм, имея высокую чувствительность, широкий динамический и частотный диапазоны, вместе с тем отличаются значительным весом, требуют ручной установки, не выдерживают ударов, резких перепадов температуры и влажности, потребляют значительную энергию. По этим последним показателям они не могут применяться в морских донных и мобильных наземных сейсмографах [Usher et al., 1979; Аки, Ричардс, 1983; Wielandt, Steim, 1986; Рыков, 1995; Kasahara, Toshinori, 1997]. На различных этапах развития сейсмометрии были опробованы и другие типы сейсмоприемников: пьезоэлектрические, электрохимические, лазерные, оптоэлектронные, с использованием эффектов Холла, Месбауэра и др. Однако по разным причинам существенного распространения в сейсмологической сети они не получили. Из указанного перечня, по нашему мнению, следует выделить электрохимические (хемотронные) преобразователи сейсмических сигналов.

История создания электрохимических преобразователей (ЭХП) восходит к концу 40-х годов прошлого века. ЭХП начали разрабатываться в СССР и США для замены электронных ламп в малогабаритных приемно-усилительных и вычислительных устройствах. Однако после появления в 1950-х годах транзисторов эти работы были практически свернуты. В СССР (Институт электрохимии АН СССР) работы нашли продолжение при создании малогабаритных датчиков вибраций и ускорений, которые применялись в специальных устройствах. Эти датчики отличались малыми размерами, устойчивостью к перегрузкам и высокой экономичностью. В середине 1980-х годов по инициативе академика С.Л. Соловьева в Институте электрохимии АН СССР и СКТБ твердотельной электроники АН МолдССР на базе электрохимических ячеек были разработаны широкополосные велосиметры. Эти сейсмоприемники были с успехом использованы в широкополосных автономных донных сейсмографах (ШАДС) Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. В ряде экспедиций в 1988-2000 гг. на дне акваторий были получены уникальные записи сигналов микросейсм, местных и удаленных землетрясений, от подводных оползней и др. Параллельные разработки различных типов датчиков движений на основе ЭХП производились в ряде других организаций СССР [Левченко, 2002, 2005]. С начала 1990-х годов в Центре молекулярной электроники Московского физико-технического института (ЦМЭ МФТИ) и в фирме PMD-EenTec (США) были разработаны новые технологии изготовления электрохимических (молекулярноэлектронных) преобразователей. На их основе создается ряд сейсмоприемников, которые находят применение как для сейсмологии, так и для сейсморазведки. В частности, в донных сейсмографах Вудс-Холловского Океанографического института (США), Токийского Института исследования землетрясений (Япония), фирмы Geo-Pro (Германия), Института океанологии РАН, ОКБ океанологической техники РАН (ОКБ ОТ РАН) и др.

Основной элемент таких приборов – молекулярно-электронный (электрохимический) преобразователь (рис. 1). Внутри трубки *I*, выполненной из диэлектрического и химически стойкого материала и заполненной раствором электролита *2*, расположены две пары сетчатых электродов *3* и *4*. Электроды дают возможность свободного протекания жидкости, являющейся инерционной массой, в случае движения корпуса преобразователя. Внешние электроды используются в качестве анодов, внутренние – катодов. К каждой паре электродов прикладывается постоянная разность потенциалов (около 0.5 В), обеспечивающая в отсутствие относительного перемещения электролита протекание фонового тока, вызванного обратимыми окислительно-восстановительных реакциями на аноде и катоде.

Для обеспечения возможности перемещения электролита внутри корпуса концы трубки *1* закрываются упругими мембранами. При движении корпуса вдоль оси трубки электродный узел перемещается относительно электролита, что вызывает движение ионов между анодом и катодом и пропорциональное изменении тока во внешней цепи. Сигнал снимается, как правило, с катодов по разностной схеме. Движение в перпендикулярном оси направлении не вызывает изменения внешнего тока. Если концы трубки *1* замкнуть в тор, целиком заполненный раствором электролита, то получится датчик вращательного движения.

В настоящее время основное развитие в ЦМЭ МФТИ получило направление, связанное с созданием компактных и недорогих молекулярно-электронных сейсмоприемников, по своим техническим характеристикам приближающихся к лучшим моделям электродинамических приборов. Актуальность данного направления связана с необходимостью быстрого развития мировой сейсмической сети, оснащенной современными сейсмографами с широкими частотным и динамическим диапазонами, в том числе на дне акваторий и в труднодоступных районах на суше. Например, трехкомпонентный широкополосный сейсмометр СМЕ 6211 с глубокой силовой обратной связью и уровнем собственных шумов 165 дБ (от уровня 1 м/с²(Γ ц)^{1/2}) может рассматриваться в качестве достаточно универсального прибора, пригодного для размещения как на стационарных, так и на мобильных сейсмостанциях. Шестикомпонентный сейсмоприемник СМЕ-106С включает три линейных и три вращательных сейсмопреобразователя, что дает новые возможности для сейсмических исследований [*Абрамович и др.*, 1994].



Рис. 1. Схема электрохимического сейсмопреобразователя

Рис. 2. Схема конструкции молекулярно-электронного сейсмоприемника СМЕ-4111-3х

1 – преобразователь; *2* – электролит; *3* – корпус датчика; *4* – мембрана; *5* – рамка; *6* – пружина; *7* – внешний корпус

Одной из последних разработок ЦМЭ МФТИ стал трехкомпонентный сейсмоприемник СМЕ-4111-3Х с полосой частот 0.01–20 Гц, коэффициентом преобразования 1000 В·с/м и уровнем собственных шумов –155 дБ (от уровня 1 м/с²(Гц)^{1/2}). Особенностью этой модели является способность работать при любой ориентации осей чувствительности относительно вертикали. Данное обстоятельство имеет важное значение для применения в сейсмических исследованиях на океаническом дне или в скважинах, где сложно обеспечить заданное расположение сейсмоприемника при установке. С помощью специального электронного устройства определяется ориентация сейсмоприемника по азимуту и вертикали и производится пересчет проекций по заданным осям.

Устройство сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х показано на рис. 2. Подвижная рамка 5 служит для увеличения инерционной массы, что повышает чувствительность и снижает уровень собственного шума. Симметричное расположение пружин 6, удерживающих рамку, позволяет наклонять прибор на любой угол. Сейсмоприемник СМЕ-4111-3Х включает три ортогональных сейсмопреобразователя [Захаров и др., 2003; Козлов, Са-фонов, 2003].

Чувствительность электрохимического преобразователя зависит от ряда параметров и определяется эмпирической формулой [Абрамов, Графов, 1978]:

$$S(\psi) \models \frac{K\varphi D}{A\sqrt{R^2 + (\psi L_a - 1\psi C_a)^2}}$$
 (B·c/M),

где K – коэффициент пропорциональности; ρ – плотность электролита; ω – круговая частота; D – эффективная длина преобразователя; A – площадь поверхности катода; R – гидравлическое сопротивление канала; L_a – акустическая индуктивность, характеризующая инерционность электролита; C_a – акустическая емкость, характеризующая жесткость упругого элемента (мембраны или газовых объемов). Из формулы следует, что электрохимический сейсмоприемник представляет собой колебательную систему второго порядка. Изменяя его конструктивные параметры при проектировании и изготовлении, можно изменять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ).

Частотные характеристики ЭХП можно корректировать электронным путем в схемах усилителей или с помощью соответствующих обратных связей, как это делается в маятниковых сейсмоприемниках. Обратные связи можно вводить с помощью наружного электромеханического устройства или электродинамического преобразователя, действующего непосредственно на электролит.

Основные параметры широкополосных сейсмоприемников (велосиметров) некоторых типов приведены в табл. 1. Электрохимические сейсмоприемники: ЭХП-17 и ЭХП-20 (разработка ИЭХ РАН и СКТБ ТЭ АН МолдССР, 1985 г.), молекулярно-электронные: СМЕ-4111 и СМЕ-6211 (ЦМЭ МФТИ), ЕР105ОВЅ (разработка фирмы РМД-ЕепТес, США), маятниковые: СДЕ (ИФЗ РАН), STS-1 (фирма G. Streckeisen Messgeratebau, Швейцария) и СМG3T (фирма Guralp, Англия).

Тип прибора	Частотный диапазон, Гц	Динам. диапа- зон, дБ	Коэффициент преобразова- ния, В·с/м	Мощ- ность пи- тания, Вт	Способ установки	Bec, кг
ЭХП-17	0.003-10	105	3000*	0.1	Автомат.	3
ЭХП-20	0.01–20	115	3000*	0.1	Автомат.	1.5
CME-6211	0.01–30	120	2000	0.5	Автомат.**	5.1
CME-4111-3X	0.01–30	110	1000	0.15	Автомат.	6
EP105OBS	0.017-50	135	2000	0.075	Автомат.**	3
СДЕ	0.001–30	120	1500	10	Ручной	10
STS-1	0.003–5	140	2400	5	Ручной	20
CMG3T	0.003-70	120	1500	3	Ручной	5

Таблица 1. Сравнительные характеристики некоторых широкополосных сейсмоприемников

* На частоте 0.3 Гц. ** Наклон не более 15°.

Данные для ЭХП-17 и ЭХП-20 получены путем аттестации на вибростенде во ВНИ-ИФТРИ Госстандарта (1993 г.) и путем сравнения при длительных испытаниях (1994– 1998 гг.) со стационарными наземными сейсмографами КСЭШ-Р и СДЕ Лаборатории сейсмометрии ИФЗ РАН. Как следует из табл. 1, по основным метрологическим параметрам электрохимические и молекулярно-электронные сейсмоприемники сопоставимы с лучшими стационарными преобразователями STS-1 и СМG-3. Основные преимущества электрохимических сейсмоприемников и сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х – малая чувствительность к ударам (до 30 g), возможность работы как в вертикальном, так и в горизонтальном положении, малые габариты и вес, экономичное питание. Эти достоинства позволяют успешно применять их в широкополосных донных сейсмографах [Жданов и др., 1993; Levchenko et al., 1994, 1996].

На скорость химических реакций, а следовательно, и на чувствительность электрохимического преобразователя, оказывает влияние температура. Однако путем специальной конструкции и соответствующего подбора состава электролита это влияние можно сделать весьма малым. Как было установлено при аттестации электрохимических сейсмоприемников ЭХП-17 во ВНИИФТРИ Госстандарта (1993 г.) – не более 2% на 1 °C. Если учесть, что работа сейсмометра на дне происходит практически при постоянной температуре и она может быть измерена и учтена, то этой погрешностью можно пренебречь. В новых разработках молекулярно-электронных сейсмоприемников применяется также температурная коррекция в схемах усилителей. Температурная схема коррекции состоит из двух цепочек, одна из которых корректирует частотно-независимые изменения коэффициента преобразования, а другая – изменение формы частотной характеристики. При использовании схем коррекции общий температурный уход частотной характеристики не превышает 10% для всех рабочих частот в температурном диапазоне от -10° до $+50^{\circ}$ С (для СМЕ-4111-3Х).

Существенное значение имеет уровень собственных шумов электрохимических сейсмоприемников, определение которого представляет известные сложности. При аттестации во ВНИИФТРИ было установлено, что спектральная плотность собственных шумов сейсмоприемников ЭХП-17 ниже 10^{-5} м/с²(Гц)^{1/2} на частотах выше 1 Гц. Более точно и на более низких частотах оценить шумы не было возможности из-за высокого уровня сейсмических помех в районе расположения ВНИИФТРИ (пос. Менделеево, Московская обл.).

Оценку уровня шумов in situ удалось получить при обработке результатов регистрации микросейсм на дне Атлантического океана (1991 г.). Визуализация записи 6-секундных микросейсм с учетом чувствительности сейсмоприемника и коэффициента усиления канала регистрации позволила оценить их среднеквадратичное значение, приведенное к входу сейсмографа, оно составило около $3.6 \cdot 10^{-7}$ м/с²(Γ ц)^{1/2}. На графике спектральной плотности эти микросейсмы проявляются в виде максимума на частоте около 0.17 Гц, ниже, на частотах от 0.03 до 0.12 Гц, расположена область минимума спектра на –30 дБ. Таким образом, среднеквадратичное значение плотности шумов в этой области не должно превышать $1.2 \cdot 10^{-8}$ м/с²(Γ ц)^{1/2}. Это оценка суммарного шума: микросейсм, собственных шумов сейсмоприемника и входных каскадов усилителя. Отсюда следует, что уровень плотности собственных шумов сейсмоприемника в этом частотном диапазоне должен быть ниже 10^{-8} м/с²(Γ ц)^{1/2} [*Левченко*, 2002, 2005].

Исследования широкополосных электрохимических сейсмоприемников на стендах

Для определения основных метрологических характеристик электрохимических сейсмоприемников ЭХП-17 в 1993 г. были проведены их исследования в лаборатории геофизики ВНИИФТРИ Госстандарта России. Определялись следующие характеристики: коэффициент преобразования, собственные шумы, коэффициент поперечной чувствительности, влияние температуры на коэффициент преобразования. Всего исследовалось шесть сейсмоприемников, которые ориентировались поочередно как в горизонтальном, так и в вертикальном положении.

Измерения коэффициента преобразования проводились в диапазоне частот 0.01– 30 Гц на стандартном метрологически аттестованном вибростенде ВУ-2. Разброс характеристик для трех экземпляров приборов не превышал 2%. В результате были построены усредненные относительные АХЧ по скорости и ускорению перемещений (K_v и K_a) для электрохимических сейсмоприемников ЭХП-17, приведенные на рис. 3. Из графика следует, что максимум чувствительности по скорости приходится на частоты около 0.6 Гц, на частотах до 30 Гц чувствительность падает на 20 дБ, на частотах до 0.01 Гц чувствительность уменьшается на 50 дБ. Это обстоятельство используется в донных сейсмографах для расширения динамического диапазона, поскольку уровень микросейсм на дне растет на низких частотах примерно во столько же раз.



Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики электрохимического преобразователя: K_v – по скорости смещения, K_a – по ускорению

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ. 2009. Том 45. № 4

При измерении температурной погрешности коэффициента преобразования электрохимических сейсмоприемников они охлаждались от 23° до 3° С. Коэффициент преобразования измерялся на вибростенде на частотах 0.1, 1, 10 и 30 Гц. Установлено, что коэффициент преобразования при этом уменьшался для разных сейсмоприемников в пределах 2–3 дБ, что дает температурную погрешность не более 2% на 1°С во всем частотном диапазоне.

Для проверки и отработки сейсмического комплекса широкополосной цифровой донной станции ИО РАН и ее программного обеспечения в режиме сейсмических записей в лаборатории сейсмометрии Института физики Земли РАН были проведены длительные стендовые испытания с марта по август 1994 г. и с мая 1996 г. по апрель 1998 г.

Была разработана и собрана специальная установка, включающая трехкомпонентный блок сейсмоприемников электрохимического типа с комплектом малошумящих усилителей и ФНЧ с граничной частотой 25 Гц; экономичный блок цифрового регистратора на базе микрокомпьютера V25 фирмы "Терн" со встроенным 11-канальным коммутатором, 12-разрядным АЦП с двумя уровнями регистрации (частота отсчетов 100 Гц на канал) и ОЗУ (0.5 MB); кварцевые часы с термостатированным генератором (погрешность 3.10⁻⁸); персональный компьютер РС IBM 486 с жестким диском объемом 270 MB, оперативной памятью 4 MB и монитором VGA. Питание установки осуществлялось от стабилизированных источников и от батарей.

В качестве образцовых сейсмоприемников использовались стационарные маятниковые широкополосные велосиметры КСЭШ-Р (три компоненты, полоса частот 0.003– 10 Гц) ИФЗ РАН. Параллельная контрольная регистрация сейсмических сигналов производилась на стационарном сейсмографе ИФЗ РАН с сейсмоприемниками типа СДЕ (велосиметр, частотный диапазон от 0.0028 Гц до 2 Гц, динамический диапазон 120 дБ).

Функционирование комплекса обеспечивалось специальными программами: V25_U – программа управления сбором данных по четырем входным каналам на двух уровнях чувствительности каждый; V25_T – тестовая программа для проверки и настройки комплекса; V25_C и V25_PC – программы связи компьютеров V25 и PC IBM при регистрации в непрерывном режиме; V25_CG и PC_CG – программы связи компьютеров V25 и PC IBM при регистрации в ждущем (пороговом) режиме; PC_P – программа быстрого просмотра трех компонент сейсмических записей с возможностью перезаписи на дискеты; V25_R и PC_R – программы рестарта в случае сбоя.

Аппаратура располагалась в подвальном помещении лаборатории сейсмометрии ИФЗ РАН. На специальном постаменте, механически отвязанном от здания, размещались как испытуемые, так и образцовые сейсмоприемники. Испытуемые сейсмоприемники подключались ко входам регистратора либо попарно (для проверки идентичности между ними), либо параллельно образцовым сейсмоприемникам (для проверки регистрации одной и той же компоненты разными приемниками), либо одновременно ко всем входам (для регистрации трех компонент).

При обработке записей сигналов определялись их энергетические спектры и функции когерентности, а также характерные периоды и амплитуды колебаний на записях как региональных, так и удаленных землетрясений. Сравнительный анализ этих записей позволил уточнить амплитудно- и фазочастотные характеристики и уровень собственных шумов испытуемых сейсмоприемников ЭХП-17 и ЭХП -20.



Рис. 4. Записи горизонтальных (а) и вертикальных (б) составляющих местных сейсмических событий. Пояснения см. в тексте

10



Рис. 5. Записи спектральной плотности ночных микросейсм, полученные с помощью электрохимических сейсмоприемников $\Im X\Pi$ -17 (*n*, *z*) и сейсмоприемника КСЭШ-Р (*e*)

На рис. 4, *а* изображены записи сигналов местных сейсмических событий, принятых на два испытуемых электрохимических сейсмоприемника ЭХП-20, расположенных горизонтально, и на горизонтальный сейсмоприемник КСЭШ-Р; на рис. 4, δ – записи с помощью этих же сейсмоприемников ЭХП-20, установленных вертикально, и с вертикального приемника КСЭШ-Р. Как видим, формы сигналов для всех трех каналов практически совпадают, что свидетельствует об идентичности амплитуднофазовых характеристик в данном частотном диапазоне (от 0.5 до 25 Гц).

На рис. 5 приведены записи спектральной плотности вертикальной составляющей ночных микросейсм для сейсмоприемников ЭХП-20 (n, z) и КСЭШ-Р (e). Здесь также наблюдается хорошее совпадение уровней шумов в области высоких частот (выше 0.5 Гц). В области низких частот (ниже 0.1 Гц) чувствительность стационарного сейсмоприемника КСЭШ-Р значительно выше. Следует отметить, что это обстоятельство приводит к существенному уменьшению реального динамического диапазона КСЭШ-Р из-за быстрого роста уровня низкочастотных микросейсм.

Сравнительный анализ полученных записей позволил уточнить частотную характеристику испытуемых сейсмоприемников. На рис. 6 представлены обобщенные АЧХ сейсмоприемников ИФЗ РАН типа СДЕ (кривые *a* и δ), испытуемого сейсмоприемника ЭХП-17 (кривые *в* и *г*) и образцового пьезоэлектрического акселерометра С1014 (ВНИИФТРИ). Кривые а и в получены при электронной коррекции характеристик усилителей соответствующих сейсмоприемников. Для сейсмоприемника ЭХП-20 эта характеристика в режиме велосиметра горизонтальна в частотном диапазоне от 0.5 до 25 Гц, а в диапазоне от 0.01 до 0.5 Гц линейна в режиме акселерометра.

В результате испытаний установлено, что разработанная аппаратура и программы (комплекс широкополосной донной станции) обеспечивают регистрацию сейсмических сигналов региональных и удаленных землетрясений в частотном диапазоне от 0.05 до 25 Гц. На более низких частотах (ниже 0.05 Гц) регистрация сигналов затруднительна из-за высокого уровня внешних помех в районе расположения ИФЗ РАН. Общая мощность потребляемого питания для цифрового регистратора на основе компьютера V25 с трех-компонентным блоком сейсмоприемников ЭХП-20, блоком усилителей и фильтров со-



ставляла 0.8 Вт. За 6 мес непрерывной работы не было отказов и выходов из режима ни регистратора, ни сейсмоприемников.

Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики сейсмоприемника СДЕ (кривые а, б), электрохимического сейсмоприемника ЭХП-17 (кривые в, г) и акселерометра С1014. Характеристики для сейсмоприемников СДЕ и ЭХП-17 приведены с разной электронной коррекцией

В последнее время были разработаны новые широкополосные молекулярно-электронные (разновидность электрохимических) сейсмоприемники EP105OBS в фирме PMD-EenTec (США) и CME-4111-3X и CME-6211 в ЦМЭ МФТИ. Эти сейсмоприемники находят применение в отечественной и зарубежной сейсмологической аппаратуре. В настоящее время сейсмоприемники CME-4111-3X проходят длительную экспериментальную проверку в ОКБ ОТ РАН. Для этой цели оборудован специальный стенд, на котором производится регистрация местных сейсмических шумов и сигналов от региональных и удаленных землетрясений. Особенностью испытаний является создание условий работы сейсмоприемников близких к натурным. В помещении поддерживается температура около +5° С и влажность не менее 80%.

Испытательный стенд находится в бетонном бункере размерами около $6 \times 6 \times 2.5$ м с заглублением пола около 4 м от поверхности грунта. Бункер расположен на территории ОКБ ОТ РАН на расстоянии около 20 м от стены производственного здания, около 500 м от автомагистрали и около 1 км от линии метро. На расстоянии около 20 м от бункера растут высокие деревья, которые могут создавать помехи при ветреной погоде. На дне бункера находится бетонный постамент с размерами $0.6 \times 1 \times 2$ м, на котором размещается испытуемая аппаратура. На рис. 7 изображен вход в бункер и часть прилегающей территории.

Стены бункера и потолок покрыты специальным составом для гидроизоляции и герметизации швов. Вдоль стен сделан сток для сбора конденсатной влаги и вывода ее наружу. Стены и потолок облицованы специальным пластиком с воздушным зазором, использована система влагостойкого электропитания и установлены специальные светильники.



Рис. 7. Вход в бункер с сейсмологическим испытательным стендом ОКБ ОТ РАН



Рис. 8. Сейсмологический испытательный стенд ОКБ ОТ РАН

Оборудовано входное буферное помещение с двумя дверями для исключения резких перепадов температуры и влажности в рабочей комнате. Сделана принудительная вытяжная вентиляция для регулировки влажности. Установлены регулируемые обогреватели для поддержания заданной температуры. Рабочая комната оборудована измерительными устройствами для контроля температуры, влажности и давления. Из рабочей комнаты выведены сигнальные кабели в производственное помещение ОКБ ОТ РАН для дистанционной регистрации сейсмических сигналов. На рис. 8 изображен постамент испытательного стенда, выполненный из цельного железобетона. Для регистрации сейсмических сигналов используются цифровые 24-разрядные регистраторы: СМ-26 разработки фирмы "Микрокор" (г. Санкт-Петербург), "Экспресс" разработки ОКБ ОТ РАН или собственные регистраторы соответствующей сейсмометрической аппаратуры. Питание сейсмоприемников с предварительными усилителями производится от гелиевых кислотных аккумуляторов АКБ напряжением 12 В и силой 7.2 А.ч. Питание регистраторов СМ-26 осуществляется от кислотного аккумулятора АКБ 12 В 55 А.ч. Регистрация сигналов может производиться одновременно с визуализацией по 4 каналам на экране компьютера в помещении лаборатории ОКБ ОТ РАН.

На рис. 9 приведен внешний вид сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х. Экспериментально определенная АЧХ прибора приведена на рис. 10. Как видно из графика, в целом характеристика имеет неравномерность менее 1 дБ (выпавшие точки на частотах вблизи 8 Гц соответствуют собственному резонансу механической системы калибровочного устройства. Динамический диапазон прибора составляет 110 дБ. Следует отметить, что этот сейсмоприемник не требует юстировки и может работать при любом угле наклона к вертикали.



Рис. 9. Молекулярно-электронный сейсмоприемник СМЕ-4111-3х



Рис. 10. Амплитудно-частотная характеристика сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х. По вертикальной оси – коэффициент преобразования в В·м/с



Рис. 11. Обобщенная характеристика собственных шумов сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х

На рис. 11 приведена характеристика собственных шумов сейсмоприемника CME-4111-3X, приведенных ко входу в сравнении со стандартными усредненными характеристиками естественных микросейсм (по Петерсону). Из графика следует, что на высоких частотах (периоды 0.1–1 с) уровень шумов на 20 дБ превышает по мощности минимальный природный уровень, что соответствует 10 дБ по амплитуде сигнала, т.е. около 3 раз. На средних частотах (периоды 1–10 с) уровень шумов соизмерим или меньше природного минимума. На низких частотах (периоды 10–100 с) шумы сейсмоприемника CME-411-3X выше природного минимума на 40 дБ по мощности (20 дБ по амплитуде) и примерно равны среднему природному уровню.

Следует отметить, что минимум природных микросейсм наблюдается только в некоторых районах Земли и в исключительных случаях (отсутствия естественных и тех-

ногенных помех). Поэтому сейсмоприемники СМЕ-4111-3Х по уровню собственных шумов и динамическому диапазону вполне пригодны для регистрации большинства слабых местных, сильных и средних удаленных землетрясений, а также микросейсм среднего уровня. Это было подтверждено практической регистрацией сейсмических сигналов на испытательном стенде ОКБ ОТ РАН от удаленных землетрясений (Япония, Греция, оз. Байкал и др. с M=7-6.5). В частности, 12 мая 2008 г. было зарегистрировано сильнейшее землетрясение (M=7.6), эпицентр которого находился в провинции Сычуань (Китай). Ниже приводится анализ записей этого землетрясения.

Анализ записей Сычуаньского землетрясения 12 мая 2008 г.

Сычуаньское землетрясение (*M*=7.6) произошло 12 мая 2008 г. в предгорьях Тибета у восточной окраины плато. Оно вызвало многочисленные разрушения и жертвы среди местного населения. Механизм очага относится к типу взбросо-сдвига, протяженность очаговой области составила около 240 км, величина смещений по разрыву достигала 9 м. Оценки сейсмического момента по модели центроида колеблются от 7.6·10¹³ Н·м по данным USGS до 9.43·10²⁰ Н·м согласно данным Гарварда.

Это землетрясение было зарегистрировано всеми сейсмическими станциями мировой сети, в том числе и нестандартной аппаратурой в двух пунктах Москвы: а) сейсмометрической лабораторией Института физики Земли РАН (длиннопериодный электродинамический сейсмоприемник) и б) лабораторией ОКБ океанологической техники РАН (электрохимический сейсмоприемник). На рис. 12 приведены записи вертикальной (*a*) и горизонтальной N-S (δ) компонент этого землетрясения, а на рис. 13 начальная часть его (1000 с), полученные на стенде ИФЗ РАН. На рис. 14 приведены записи трех компонент начальной части этого землетрясения (1200 с), а на рис. 15 его продолжение (1200 с), полученные на стенде ОКБ ОТ РАН с помощью широкополосного электрохимического сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х.

Ниже приводятся результаты интерпретации записей, полученных в обоих пунктах. Интерпретация производилась с целью выявления чувствительности и разрешения электродинамического и электрохимического сейсмоприемников и возможности их использования в аппаратурных комплексах опорных сейсмических станций и в донных сейсмографах.

Методика изучения экспериментальных записей приведена ниже. Интерпретация записей "вслепую", без учета годографа, бесперспективна вследствие достаточно сложной их формы. Кроме того, необходимо ориентироваться на временах прихода определенных групп волн. В своих исследованиях авторы опирались на стандартный в глобальном плане годограф Джеффриса–Буллена [*Jeffreys, Bullen,* 1940]. Первым шагом к его использованию было определение эпицентрального расстояния в градусах дуги большого круга. Переход к расстоянию в километрах осуществлялся умножением числа градусов на величину, соответствующую метрической длине одного градуса.

Эпицентральное расстояние в градусах определялось соотношением [*Саваренский, Кирнос,* 1949]: $\cos\Delta = \sin\varphi_3 \sin\varphi_0 + \cos\varphi_3 \cos\varphi_0 \cos(\lambda_3 - \lambda_0) (\varphi_3, \lambda_3 - координаты эпицентра землетрясения, <math>\varphi_0, \lambda_0$ – координаты регистрирующей сейсмостанции). Координаты Сычуаньского землетрясения $\varphi_3 = 31^{\circ}05'$ с.ш., $\lambda_3 = 103^{\circ}16'$ в.д., для пунктов регистрации приняты координаты: ИФЗ РАН $\varphi_0 = 55^{\circ}44'$ с.ш., $\lambda_0 = 37^{\circ}37'$ в.д. (сейсмостанция "Москва"); ОКБ ОТ РАН $\varphi_0 = 55^{\circ}41'$ с.ш., $\lambda_0 = 37^{\circ}45'$ в.д. В результате получены следующие величины: $\Delta = 51^{\circ}31'$, или 5724 км (для ИФЗ РАН) и $\Delta = 51^{\circ}25'$, или 5713 км (ОКБ ОТ РАН).



Рис. 12. Сейсмограмма Сычуаньского землетрясения 2008 г., полученная на стенде ИФЗ РАН *а* – вертикальная *Z*, *б* –горизонтальная *X*(N-S) составляющие



Рис. 13. Начальный участок (1000 с) сейсмограммы Сычуаньского землетрясения 2008 г., записанный на стенде ИФЗ РАН и отфильтрованный в полосе 0.01–0.1 Гц *а* – вертикальная *Z*, *б* –горизонтальная *X* (N-S) составляющие

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ. 2009. Том 45. № 4



Рис. 14. Начальный участок (1100 с) сейсмограммы Сычуаньского землетрясения 2008 г., записанный на стенде ОКБ ОТ РАН (*a* – вертикальная *Z* и *б*, *в* – горизонтальные *X*, *Y* составляющие) с помощью сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х



Рис. 15. Средний участок (1200 с) сейсмограммы Сычуаньского землетрясения 2008 г., записанный на стенде ОКБ ОТ РАН (*a* – вертикальная *Z* и *б*, *в* – горизонтальные *X*, *Y* составляющие) с помощью сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х. *L* и *R* – волны Лява и Рэлея соответственно

Основываясь на таблицах годографа Джеффриса–Буллена, определяли времена вступлений основных типов объемных волн P и S, а также дополнительных фаз: PcP, PP, PPP, PS, SS и SSS. Намечая на записях примерное положение упомянутых фаз, определяли по их особенностям: амплитуда, частота) возможные реальные времена их вступлений.

Рассмотрим отмеченные особенности и времена на сейсмограммах ИФЗ РАН и ОКБ ОТ РАН. Сейсмограмма лаборатории сейсмометрии и сильных землетрясений ИФЗ РАН представлена на рис. 12 и 13. На записях хорошо просматриваются все основные фазы объемных волн, а также поверхностные волны Лява и Рэлея. Времена вступлений объемных волн были определены в сравнении с вступлениями, рассчитанными согласно годографу Джеффриса–Буллена. Расхождение во времени между ними проанализированы в специальной таблице совместно с данными сейсмограммы ОКБ ОТ РАН.

Сейсмограмма ОКБ ОТ РАН приведена в нескольких вариантах: без фильтрации (рис. 14, 15); с высокочастотным фильтром 0.1–1.0 Гц (рис. 16); с фильтром 0.1–0.01 Гц (рис. 17).

Запись без фильтрации в широкополосном диапазоне (рис. 14) мало отличается по интенсивности от записи лаборатории ИФЗ РАН (рис. 13). Здесь прописаны все фазы объемных волн в промежутке между P и S и даже после вступления S-волны. Недостаток записи – интенсивные высокочастотные осложнения, маскирующие вступления промежуточных фаз. На рис. 15 отчетливо видны времена вступлений поверхностных волн Лява (L) и Рэлея (R).

Далее даются краткие комментарии по результатам фильтрации исходной записи в разных диапазонах частот. В результате высокочастотной фильтрация в диапазоне частот 0.1–1.0 Гц выделяются все группы объемных волн, однако они осложнены высокочастотными между *P*- и *S*-волнами (рис. 16).



Рис. 16. Начальный участок (1100 с) сейсмограммы Сычуаньского землетрясения 2008 г., записанный на стенде ОКБ ОТ РАН с помощью широкополосного сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х и отфильтрованный в полосе 0.1–1.0 Гц (Z – вертикальная, X, Y – горизонтальные составляющие). Запись этого же участка сейсмограммы с помощью узкополосного сейсмоприемника СМЕ-1003 ($Z_{h/f}$)



Рис. 17. Начальный участок (1400 с) сейсмограммы Сычуаньского землетрясения 2008 г., записанный на стенде ОКБ ОТ РАН (Z – вертикальная, X, Y – горизонтальные составляющие) с помощью сейсмоприемника СМЕ-4111-3Х и отфильтрованный в полосе 0.01–0.1 Гц. Обозначены фазы вступлений ряда объемных волн

На рис. 16 приведена также запись этого же землетрясения с помощью высокочастотного (0.1–50 Гц) электрохимического сейсмоприемника СМЕ-1003 ($Z_{h/f}$). Эта запись мало выразительна и осложнена высокочастотными составляющими. На ней выделяются только основные фазы (P и S) объемных волн и вступление волны Рэлея. Сейсмоприемники СМЕ-1003 в основном предназначены для сейсморазведки и регистрации местных и региональных землетрясений.

Наиболее приемлемой представляется фильтрация в полосе 0.01–0.1 Гц, после которой вид записи приближается к виду типичной сейсмограммы для региональных сейсмостанций. На рис. 17 показаны все фазы с временами запаздывания по отношению к моменту вступления *P*-волны. К недостаткам записи относится низкочастотный характер колебаний для всех фаз объемных волн (периоды от 9 до 13 с). По-видимому, целесообразно использовать промежуточный диапазон фильтрации 0.03–1 Гц.

В заключение рассмотрим расхождение во временах вступления основных фаз группы объемных волн по отношению к временам согласно годографу Джеффриса–Буллена (табл. 2).

Из рассмотрения табл. 2 следует, что в первом приближении широкополосные записи для пунктов регистрации ИФЗ РАН и ОКБ ОТ РАН отражают "расклад" сейсмических фаз при Сычуанском землетрясении 2008 г. В целом качество записи обоих приборов сопоставимо. При этом отфильтрованная запись ОКБ ОТ РАН показывает несколько лучший результат для фаз *S*, *PcP*, *PPP* и *ScS*, однако для фаз *ScP*, *PS*, *PPS* и *SS* то же верно для записи ИФЗ РАН. Это объясняется большей интенсивностью и четкой прописанностью групп колебаний на записях. Наблюдаемые отклонения вступлений разных фаз от годографа Джеффриса–Буллена при интерпретации, – вероятно, следствие высокой сжатости записи.

	Фаза	Записи ИФЗ РАН			Записи ОКБ ОТ РАН		
JN <u>9</u> 11/11		T_1	T_2	$T_1 - T_2$	T_3	T_4	$T_3 - T_4$
1	P	09 ^m 06.9 ^s	09 ^m 06.9 ^s	-	09 ^m 06.2 ^s	09 ^m 06.2 ^s	_
2		N-S 16 ^m 26.7 ^s		N-S -2.6 ^s	X16 ^m 23.7 ^s		X -0.1s
	S	E-W 16 ^m 32.0 ^s	16 ^m 29.3 ^s	E-W +2.7 ^s	Y16 ^m 22.1 ^s	16 ^m 23.8 ^s	Y −1.7 ^s
3	PcP	10 ^m 21.6 ^s	10 ^m 23.8 ^s	-2.2 ^s	10 ^m 23.4 ^s	10 ^m 23.5 ^s	-0.1 ^s
4	PP	11 ^m 07.3 ^s	11 ^m 07.5 ^s	-0.2 ^s	11 ^m 06.3 ^s	11 ^m 06.7 ^s	-0.4 ^s
5	PPP	12 ^m 09.8 ^s	12 ^m 08.5 ^s	+1.3 ^s	12 ^m 07.2 ^s	12 ^m 07.0 ^s	+0.2 ^s
6					X14 ^m 20.9		X +2.1s
	ScP	14 ^m 20.9 ^s	14 ^m 20.2 ^s	$+0.7^{s}$	Y14 ^m 19.8 ^s	14 ^m 18.8 ^s	Y +1.0 ^s
7					X16 ^m 36.2 ^s		X +0.5 ^s
	PS	N-S 16 ^m 38.1 ^s	16 ^m 37.5 ^s	$+ 0.6^{s}$	Y16 ^m 32.9 ^s	16 ^m 35.7 ^s	Y -2.8 ^s
8		N-S 16 ^m 44.9 ^s		N-S +0.4 ^s	X16 ^m 41.1 ^s		X -1.6 ^s
	PPS	E-W16 ^m 44.2 ^s	16 ^m 44.5 ^s	E-W -0.3 ^s	Y16 ^m 44.9 ^s	16 ^m 42.7 ^s	Y +2.2 ^s
9		N-S 18 ^m 55.3 ^s		N-S -2.7 ^s	X18 ^m 56.4 ^s		X -1.0 ^s
	ScS	E-W 18 ^m 56.9 ^s	18 ^m 58.0 ^s	E-W -1.1 ^s	Y18 ^m 58.6 ^s	18 ^m 57.4 ^s	Y +1.2 ^s
10		N-S 20 ^m 0.85 ^s		N-S -4.5 ^s	X20 ^m 02.2 ^s		X +0.6 ^s
	SS	E-W 20 ^m 17.6 ^s	20 ^m 13.0 ^s	E-W+4.6 ^s	Y20 ^m 05.4 ^s	20 ^m 01.6 ^s	Y +3.3 ^s
11		N-S 21 ^m 45.2 ^s		N-S +5.2 ^s	X21 ^m 43.8 ^s		X +5.6 ^s
	SSS	E-W 21 ^m 46.0 ^s	21 ^m 40.0 ^s	E-W+6.0 ^s	Y21 ^m 35.7 ^s	21 ^m 38.2 ^s	Y -2.5 ^s

Таблица 2. Времена вступлений разных фаз Сычуаньского землетрясения 12 мая 2008 г. (*t*₀=06^h28^m00^s) на записях ИФЗ РАН и ОКБ ОТ РАН

Примечание. *T*₁, *T*₂, *T*₃, *T*₄ – времена вступлений разных фаз по записям ИФЗ РАН (*T*₁), годографа Джеффриса–Буллена (*T*₂, *T*₄) и ОКБ ОТ РАН (*T*₃).

Заключение

Для регистрации широкополосных сейсмических сигналов в настоящее время используются в основном сейсмоприемники с инерционной массой на упругой подвеске. Приборы этого типа, имея высокую чувствительность, широкий динамический и частотный диапазоны, вместе с тем отличаются значительным весом, требуют ручной установки, не выдерживают ударов, резких перепадов температуры и влажности, потребляют значительную энергию питания. По этим последним показателям они не могут применяться в морских донных и мобильных наземных сейсмографах.

Значительные перспективы в этом направлении имеют электрохимические сейсмоприемники. Как показали длительные стендовые испытания по основным метрологическим показателям (частотному и динамическому диапазонам, уровню собственных шумов) они приближаются к лучшим образцам электродинамических сейсмоприемников (STS-2, CMG3T), вместе с тем устойчивы в ударам (до 30 g), изменениям влажности и температуры, работают при разных углах наклона к вертикали, экономичны по питанию. В Институте океанологии РАН и ОКБ ОТ РАН электрохимические сейсмоприемники используются в широкополосных автономных донных сейсмографах более 20 лет. С их помощью на дне акваторий были получены уникальные записи сигналов микросейсм, местных и удаленных землетрясений, сотрясений от подводных оползней и др.

В настоящее время в ЦМЭ МФТИ и компании "Р-сенсорс" (Россия), а также в фирме PMD-EenTec (США) по новой технологии разработаны и серийно выпускаются электрохимические (молекулярно-электронные) сейсмоприемники разных типов. Эти сейсмоприемники находят применение в сейсмологической аппаратуре ряда стран: США, России, Японии, Германии, Китая, Колумбии и др. Сейсмоприемник типа СМЕ-4111-3Х разработки ЦМЭ МФТИ в настоящее время проходит длительные испы-

тания (больше года) на специальном стенде ОКБ ОТ РАН (г. Москва, Люблино) в условиях, близких к натурным (высокая влажность, низкая температура). За время испытаний были зарегистрированы сигналы местных шумов, региональных и удаленных землетрясений (Греция, Япония, Китай, Россия – оз. Байкал).

Сравнительный анализ записи удаленного (5700 км) Сычуанского землетрясения (Китай, 12 мая 2008 г., *М*=7.6) показал, что записи сильных землетрясений электрохимическим датчиком на стенде ОКБ ОТ РАН после соответствующей фильтрации не отличаются от типичных записей наземными региональными станциями и их можно использовать наряду с последними при обработке текущей сейсмологической информации.

Литература

- Абрамов О.К., Графов Б.М. Электрохимические приемники механических колебаний и возможность их использования в сейсмометрии // Сейсм. приборы. М.: Наука, 1978. Вып. 11. С.203–208.
- Абрамович И.А., Козлов В.А. и др. Сейсмоприемники крутильных колебаний и их роль в оценке сейсмического поля ближней и дальней зоны источника землетрясения // Физические основы жидкостных и твердотельных измерительных систем и устройств обработки информации. М.: МФТИ, 1994. С.65–69.
- Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Т.1, 2. М.: Мир, 1983. 815 с.
- Жданов М.А., Левченко Д.Г., Соловьев С.Л. Об измерении донных сейсмических шумов в диапазоне 0.01–10 Гц (Северо-Эгейский трог) // Океанология. 1993. № 2. С.299-303.
- Захаров И.С., Козлов В.А., Сафонов М.В. Особенности амплитудно-частотной характеристики базовой модели молекулярно-электронного акселерометра // Изв. вузов. Электроника. 2003. № 2. С.40–45.
- Козлов В.А., Сафонов М.В. Собственные шумы молекулярно-электронных преобразователей // ЖТФ. 2003. Т. 73, № 12. С.81–84.
- Левченко Д.Г. Результаты регистрации широкополосных (0.003–10 Гц) сейсмических сигналов на морском дне // Океанология. 2002. Т. 42, № 4. С. 620–631.
- *Левченко Д.Г.* Регистрация широкополосных сейсмических сигналов и возможных предвестников сильных землетрясений на морском дне. М.: Науч. мир, 2005. 240 с.
- Рыков А.В. Моделирование сейсмометра. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 87 с.
- *Саваренский Е.Ф., Кирнос Д.П.* Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М.; Л.: ГИТТЛ, 1949. 343 с.
- Jeffreys H., Bullen R.T. Seismological Tables. L.: Burlington House, 1940. 92 p.
- *Lee W.H.K., Igel H., Trifunac M.D.* Recent Advances in Rotational Seismology // Seismol. Res. Lett. 2009. V. 80, N 3. P.479–490.
- Kasahara J., Toshinori S. Broadband seismic observation in VENUS project // Intern. Workshop Scient. Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P.126–130.
- Levchenko D.G., Soloviev S.L., Son'kin A.V., Voronina E.V. Recording of ocean-bottom seismic noise and of a strong earthquake in the Himalayas by broadband digital OBS installed on the Mid-Atlantic Ridge // Phys. Earth Planet. Inter. 1994. V. 84. P.305–320.
- Levchenko D.G., Timoshuk E.P., Grafov B.M., Sirotinskiy Yu.V., Rykov A.V., Ulomov I.V. Marchenkov A.Yu. The comparative analysis various seismic sensors in structure digital broadband seismic station // Proceeding of the 4th International Workshop on Electrochemical Flow Measurements - Fundamentals and Applications. Lanstein, Germany. 1996. V. 17. P.1–10.
- Usher M.J., Burch R.F., Guralp C. Wide-band feedback seismometers // Phys. Earth Planet. Inter. 1979. V.18. P.38-50.
- Wielandt E., Steim I.M. A digital very-broad band seismograph // Ann. Geophys. 1986. V. 4. P.227-232.

Сведения об авторах

ЛЕВЧЕНКО Дмитрий Герасимович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, 117951, г. Москва, Нахимовский пр., д. 36. Тел.: (499) 124-87-01, (495) 427-73-85. Е-mail: levch35@mail.ru

26

КУЗИН Иван Петрович – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, 117951, г. Москва, Нахимовский пр., д. 36. Тел.: (499) 124-87-01. E-mail: grinda@ocean.ru

САФОНОВ Максим Владимирович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Московский физико-технический институт, Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9. Тел.: (477) 361-80-42. Е-mail: safonov@rbcmail.ru

СЫЧИКОВ Владимир Николаевич – ведущий инженер, ОКБ океанологической техники РАН, Россия, 109387, г. Москва, ул. Летняя, д. 1. Тел.: (495) 350-26-12

УЛОМОВ Игорь Валентинович – старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (495) 254-24-20. E-mail: ulomov@rambler.ru

ХОЛОПОВ Борис Викторович – ведущий инженер, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, 117951, г. Москва, Нахимовский пр., д. 36. Тел.: (499) 124-85-47. Е-mail: kholopov38@mail.ru

Experience of seismic signals registration with use broadband electrochemical seismic sensors

D.G. Levchenko¹, I.P. Kuzin¹, M.V. Safonov², V.N. Sychikov³, I.V. Ulomov⁴, B.V. Holopov¹

¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia
²Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia
³Design Bureau of Oceanological Equipment RAS, Moscow, Russia
⁴Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Development and use of broadband seismic sensors-velocimeters of electrochemical type (chemotrons) are considered. The principle of operation and design of modern electrochemical (molecular-electronic) converters of seismic signals for linear and rotary movements are described. Cited the data of metrological certification and long tests at stands such seismic sensors. Their advantages on comparisons with stationary broadband seismic sensors electrodynamic type consisted in stability to impacts, high profitability of a consumption, serviceability at the big inclinations and in a wide temperature range. These advantages allow to apply with success them in broadband bottom and portable land seismographs. The comparative analysis of records of the Sichuan Earthquake (China, on May, 12, 2008) is in summary resulted, both received in Moscow at stand of Institute of Physics of the Earth RAS with the help electrodynamic seismic sensors and at stand of Design Bureau of Oceanological Equipment RAS with use seismic sensors electrochemical type.

Keywords: a seismic signal, electrochemical seismic sensor, Sichuan earthquake.