



Важнейшим преимуществом источника «Енисей ВЭМ-100» перед эталонными водными источниками является возможность его эффективного использования в переходных зонах...

Смирнов Валерий Петрович

Первые результаты опробования импульсного водного источника "Енисей ВЭМ-100" в бассейне и на акваториях Красноярского водохранилища и р. Иртыш

Смирнов В.П., "Геотехноцентр" филиал ОАО "Енисейгеофизика", г. Минусинск

Конструкция лодок катамарана "Енисей ВЭМ-100" подобна санному полозу источника "Енисей СЭМ-100": днище лодки является опорной плитой электромеханического преобразователя, излучателем упругих колебаний непосредственно в грунт (при касании днищем дна водоема) или в грунт через слой воды (в плавающем состоянии).

Для обеспечения плавучести лодок катамарана ВЭМ-100 вес пригрузов в электродвигателях был уменьшен в два раза относительно применяемых в СЭМ-100.

Размеры лодок (450 см × 100 см × 110 см) и катамарана в целом (450 см × 320 см × 110 см) обеспечивают перевозку источника ВЭМ-100 в полуприцепе автомобилями КАМАЗ, УРАЛ.

Испытания макетов (№1; № 2-4) источников "Енисей ВЭМ-100" проводились в самых различных условиях:

а) на производственной базе "Геотехноцентра" филиала ОАО "Енисейгеофизика" в бассейне размерами 1077 см × 483 см × 245 см (245 см - глубина в бассейне при заполнении водой) с замерами ускорений на элементах конструкции источников: с оценкой сейсмической эффективности по скважинным сейсмоприемникам на глубинах 20, 50 метров - в марте - октябре месяцах 2003 г; в июне 2004 г - сравнительные испытания с применением пневмопушки с объемом 2,5 дм³ при возбуждении колебаний в бассейне и в скважине (13 м);

б) в протоке р. Енисей шириной 120 м и глубиной до 2-х метров, вблизи Быстринской антиклинали Южно-Минусинской впадины (дер. Быстрая) с расстановкой (1400 м) сейсмоприемников в пойме р. Енисея с расстоянием между каналами 20 м (71 канал) - 20.03.03 г. - 10.04.03 г;

в) на акватории Красноярского водохранилища в районе бывшей Бузоновской протоки р. Енисей (координаты: X=5998,6 - 5993,4; Y=16407,8 - 16409,4) на глубинах от 0,7 - 0,8 м до 20 - 24 м, при удалении источника от берега до 100 - 200 м; установка приемной линии на суше. Ширина водохранилища в месте испытаний достигает 3 - 4 км, глубина - 40 м - 26.05.04 г - 12.06.04 г;

г) на акватории р. Иртыш, вблизи г. Ханты-Мансийска при установке приемной линии на суше, в воде (вдоль и поперек фарватера) - 10.09.04 г - 10.10.04 г.

Соответственно применялись измерительные средства и регистрирующая аппаратура, эталонные источники упругих колебаний:

а) цифровые осциллографы Tektronix, токоизмерительные шунты 75 ШСМЗООА, акселерометры, скважинные сейсмоприемники, импульсные источники "Енисей СЭМ, КЭМ";

б) сейсмостанция "Серсель SN-388" с рабочей расстановкой на 71 канал (ΔX=20м), система синхронизации и управления источниками - SGS; импульсные источники "Енисей КЭМ-4", донный источник - макет;

в) сейсмостанция INPUT / OUTPUT - TWO с наземной 194-канальной расстановкой сейсмоприемников GS-20DX (12 приборов в точке на пикете приема) с шагом 10 м;

г) пневматические излучатели типа "Пульс-6" с тремя вариантами группирования:

-четыре пневмопушки объемом 3,5 дм³ + 2,5 дм³ + 3,5 дм³ + 2,5 дм³ = 12 дм³;

-две пневмопушки объемом 3,5 дм³ + 2,5 дм³ = 6 дм³;

-один излучатель объемом 2,5 дм³, глубина погружения излучателей - пневмопушек порядка 3,5 м - 4 м при глубинах до дна водохранилища в диапазоне 4 - 20 м, рабочее давление в камерах пневмопушек 130-140 атм;

д) наземный источник сейсмических колебаний "Енисей КЭМ-4" с 4 излучателями на шасси "УРАЛ 4320" со стандартными значениями напряжения на конденсаторной батарее и обмотках электромагнита - 850 В, зазор между якорем и индуктором электромагнита - 5 мм.

Для определения координат пунктов возбуждения (ПВ) пневмопушек и рельефа дна по линиям ПВ применялись геофизическое оборудование "Саргин - 12 XL" с точностью привязки ПВ не хуже ±5 м, эхолот "Кристалл" с диапазоном измерений 0,6 - 40 м.

Управление и синхронизация источников и сейсмостанции осуществлялась через систему SGS и блок "Астра" (для пневмопушек).

Выполнялись следующие полевые эксперименты:

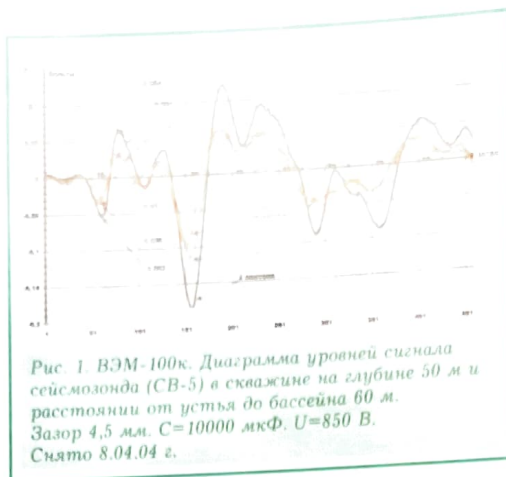
а) сопоставление телеметрических систем X-Zone Marsh Line и SN-388 и импульсных источников "Енисей СЭМ-100" и "Енисей ВЭМ" при установке приемных линий на суше;

б) сопоставление телеметрических систем SN-388 и X-Zone Marsh Line при установке приемных линий соответственно на суше и в воде с регистрацией информации при возбуждении колебаний одним источником "Енисей ВЭМ";

в) прием колебаний на расстановки геофонов и гидрофонов системы Marsh Line, установленных по



ИСПЫТАНИЯ "ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"



фарватеру р. Иртыш

г) возбуждение упругих колебаний с применением двух источников “Енисей ВЭМ” при укладке приемных линий гидрофонов и геофонов системы Marsh Line поперек фарватера р. Иртыш с размещением части каналов в карьере со стоячей водой

д) работы МОГТ по фарватеру р. Иртыш с использованием телеметрической системы X Zone Marsh Line и водных источников “Енисей ВЭМ”.

В производстве работ с водными источниками “Енисей ВЭМ-100” (далее ВЭМ-100), кроме персонала “Геотехноцентра” филиала ОАО “Енисейгеофизика”, принимали участие специалисты:

- Геофизической службы СО РАН;
- ООО “Пульс” (г. Геленджик);
- Богучанской ГЭ;
- Югорской геофизической экспедиции ОАО “Ханты-мансийскгеофизика”;
- Фирмы “Си Технолоджи” (г. Геленджик).

Сопоставление измеренных параметров (ускорений на пригрузе и якорь, днище лодки - опорной плите и т. пр.) источника “Енисей ВЭМ” при испытаниях в бассейне относительно параметров наземных источников “Енисей СЭМ-100, КЭМ-4” показало их подобие, что и ожидалось при проектировании макета ВЭМ-100. Уменьшение веса пригруза в два раза для обеспечения плавучести при заданных размерах лодок компенсировалось возрастанием ускорения на пригрузе почти в 1,5 раза и повышенным градиентом ускорения в

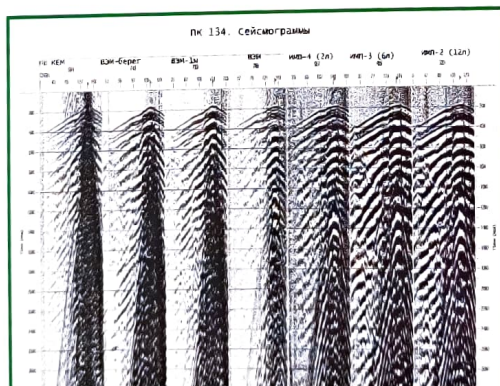
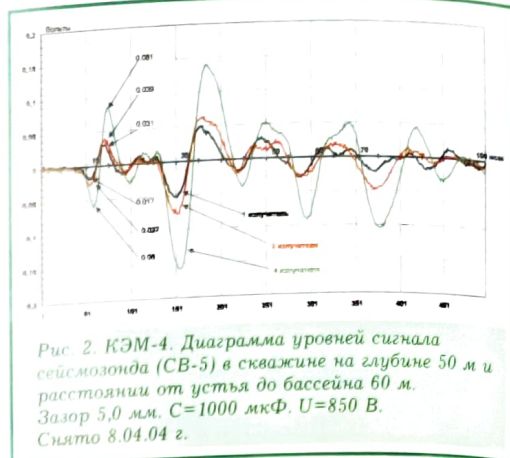


Рис. 3. Сопоставление сейсмозаписей при возбуждении упругих колебаний электромагнитными и пневматическими источниками различных конфигураций в окрестностях ПВ 134. Примечание: уровень микросейсм с применением пневмопушек (ИВП-2, ИВП-3 и ИВП-4) обусловлен: работой двигателей судна, компрессора; волнами в прибрежной зоне, вдоль которой лежат геофоны расстановки.



разной части (до 4 мс) интервала движения пригруза.

По сейсмической эффективности, по показаниям скважинных сейсмоприемников на глубинах 20, 50 м, водный электромагнитный излучатель ВЭМ-100 близок наземным источникам СЭМ-100, КЭМ-4, соотношений амплитуд одноименных экстремумов сейсмической записи составляет около 0,8.

На рис. 1-2 приведены сейсмические записи от источников ВЭМ-100 и КЭМ-4 при положении сейсмоприемника на глубине 50 м и расстоянии (по горизонтали) от ПВ равном 60 м. Так как коренные отложения с пластовой скоростью 4000 м/с перекрываются рыхлыми отложениями с пластовой скоростью около 800 м/с мощностью 3-4 м, первой на сейсмической записи прослеживается проходящая волна, связанная с преломленной, распространяющейся по кровле коренных отложений ($T \approx 12-13$ мс, амплитуда - 0,064 В), далее - прямая волна ($T \approx 15-16$ мс, амплитуда - 0,143 В). Некоторые отклонения во времена вступлений, в амплитудах экстремумов сейсмической записи ВЭМ-100 относительно записи от КЭМ-4 могут быть связаны с различием условий возбуждения:

-излучатели ВЭМ-100 с объемом воды находятся в железобетонной коробке бассейна;

-излучатели КЭМ-4 на поверхности грунта, в непосредственной близости от коробки бассейна.

Амплитуда экстремумов сейсмической записи скважинными сейсмоприемниками от пневмопушки “Пульс-6” с объемом 2,5 дм³, действующей в бассейне, в два раза превышает амплитуды аналогичных экстремумов от действия КЭМ-4, установленного в непосредственной близости у стенки бассейна. Фактическое соотношение энергетических характеристик пневматического и электромагнитного источников может быть еще больше. Энергия импульса возбуждения пневмоизлучателя достаточна для встряхивания бассейна с объемом воды около 125 м³ и общим весом не менее 200 тонн.

Воздействие данной пневмопушки в скважине глубиной 13 м, в плотных песчанниках, с водной укупоркой имеет низкую сейсмическую эффективность, в четыре раза меньше, чем при одиночном воздействии источника КЭМ-4.

Возбуждение колебаний ВЭМ-100 в протоке р. Енисей производилось при положении ПВ на расстояниях 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 м от берега. Глубина протоки составляла соответственно 70, 94, 144, 154, 164, 174 см. Для сравнения отметим, глубина бассейна составляет 245 см, при глубине протоки 70 см опорные полозья днища излучателя касались дна.

При касании днища излучателя грунта и при толщине водного слоя между дном протоки и днищем излучателя в 1 м произведены замеры ускорений на пригрузе и днище излучателя, замеры на расстановку сейсмоприемников при переборе

напряжений на конденсаторной батарее и обмотках электромагнита от 200 до 800 В.

Для сопоставления структуры и интенсивности волнового поля зарегистрированы серии одиночных воздействий и накоплений от "Енисей КЭМ-4" (с 2-мя и 4-мя излучателями) и от макета донного источника. Погружной донный излучатель изготовлен по конструкции излучателя "Енисей КЭМ-2", размещенного в водонепроницаемом корпусе и питаемого от силового блока КЭМ-2.

В наблюдаемой структуре волнового поля для 140-метровой расстановки с удаления 140 м от ПВ по устойчивости прослеживания и динамической параллельности в первых вступлениях доминирует преломленная волна с кажущейся скоростью 6000 - 6200 м/с.

Полученные материалы показали строгое подобие структур волновых полей для всех 3-х типов излучателей ("Енисей ВЭМ" - водного, "Енисей КЭМ-4" - наземного в вариантах с 2-мя и 4-мя излучателями, макета донного источника), возможность совместного применения источников "Енисей ВЭМ" и "Енисей КЭМ" на объектах исследований, расположенных в пределах суши и водоемов, с получением однородных по качеству сейсмических материалов.

Размещение силовых блоков "Енисей ВЭМ" в корпусах лодок катамарана обеспечивает возможность автономного применения излучателя-лодки на водоемах изобилующих отмелями, узкими протоками, быстрыми течениями.

При испытаниях водного источника (макет 2 экз. № 1-2) на акватории Красноярского водохранилища получены сравнительные материалы для оценки сейсмической эффективности ВЭМ-100 относительно пневмопушек в ряде точек с расчлененным рельефом дна, в условиях различного уровня помех (микросейсмы от волнения на береговой линии) при использовании различного числа накоплений (от 1 до 32). Для оценки влияния

на сейсмическую эффективность ВЭМ-100 положения излучателя (днища) относительно дна водоема данные в этих точках получены на глубинах 70 - 80 см (днище касается дна), 170 - 180 см (толщина водного слоя между днищем и дном водоема - 1 м), 4 - 20 м (в точках, где колебания возбуждались пневмопушками).

Для сравнительной оценки эффективности различных источников при изучении отражающих границ были получены и затем обработаны в системе ProMax до получения временных разрезов данные 7 профилей (рис. 1,2):

- ИМП-2 - группа 4-х пневмопушек (12 л);
- ИМП-3 - группа 2-х пневмопушек (6 л);
- ИМП-4 - одна пневмопушка (2,5 л);
- ВЭМ - один источник ВЭМ-100 с накоплением $\Sigma 8$ при глубинах водоема 4 - 20 м;
- ВЭМ-1м - то же при глубинах 170 - 180 см (толщина водного слоя между днищем и дном водоема - 1м);
- ВЭМ-берег - то же при глубинах 70 - 80 см (днище касается дна);
- КЭМ - один источник КЭМ-4 с накоплением $\Sigma 8$, ПВ расположены на линии ПП.

Сравнение сейсмограмм ОПВ, полученных от различных источников (рис. 3-5), свидетельствует о том, что:

♦ одиночный пневмоизлучатель на глубинах от 4 до 20 м возбуждает колебания на 12-18 дБ мощнее, чем одиночный источник "Енисей ВЭМ-100" с накоплением $\Sigma 8$ воздействий (по интенсивности первых вступлений и пульсациям волн-помех);

♦ структура сейсмозаписи преломленных и отраженных волн в зоне первых вступлений и последующей записи при возбуждении колебаний "Енисей ВЭМ-100" выглядит более разрешенной относительно данных от пневмоизлучателей, благодаря несколько повышенной доле высокочастотных компонент спектра возбуждаемого импульса;



ИСПЫТАНИЯ "ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"

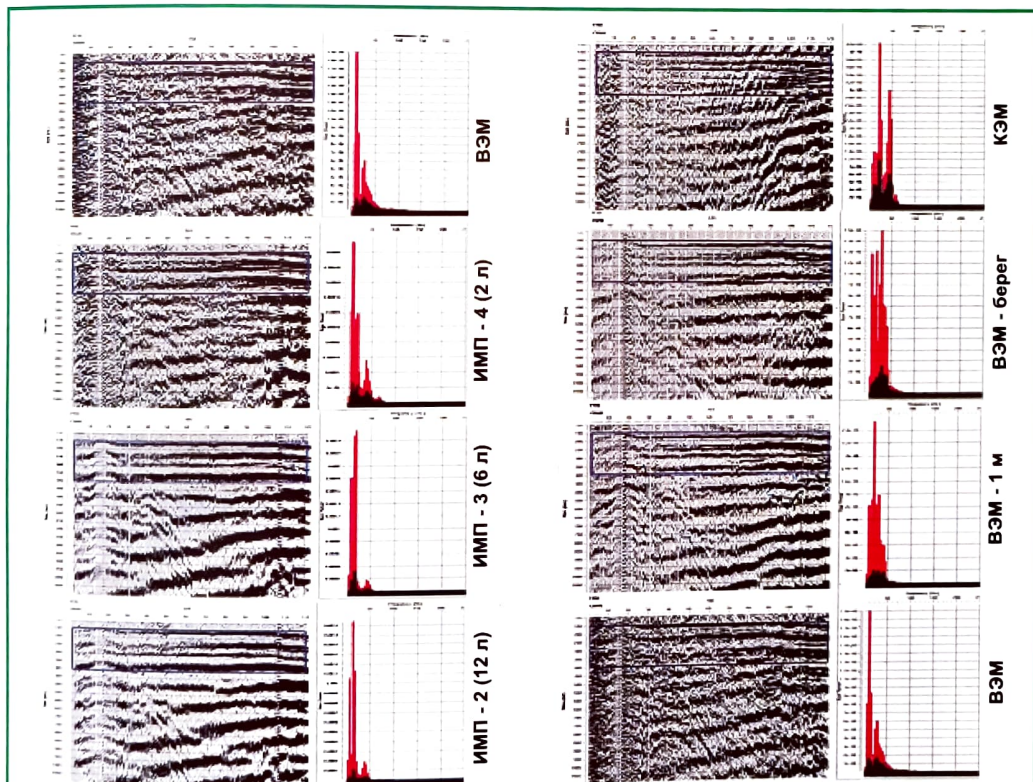


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики сейсмозаписей в зоне первых вступлений и отражений от границ ВЧР при различных параметрах электромагнитных и пневматических источников.

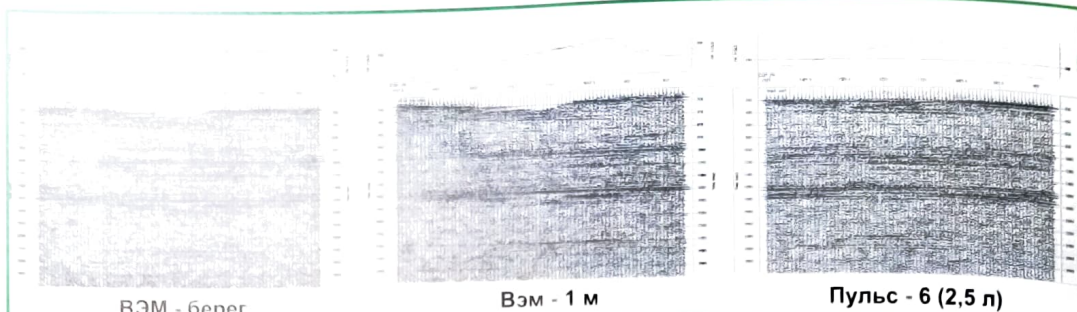


Рис. 5. Качество временных разрезов МОГТ с применением электромагнитного источника «ВЭМ-100» и пневматического источника «Пульс-6» (2,5 литра) в условиях Южно-Минусинской впадины.

♦ уровни нерегулярного шума по отношению к общей энергии регистрируемых на сейсмограмме колебаний (рис. 4-5) сопоставимы для разных источников.

Обработка данных по профилям выполнялась с одинаковыми для разных источников методикой и параметрами обработки:

- описание системы наблюдений с использованием технологии Croked Line;
- выравнивание спектра сейсмозаписей (в полосе частот 8-16-60-90 Гц), регулировка амплитуд, получение предварительного временного разреза ОГТ с нулевой априорной статикой;
- скоростной анализ и коррекция кинематических поправок;
- автокоррекция статических поправок в широком (1200 мс) временном окне;
- коррекция поканальных статпоправок (индивидуальное задание горизонтов для коррекции по каждому профилю).

Сопоставление временных разрезов проводилось на участке профиля, ограниченном координатами $X_{min} = 5995,852 + 5995,103$.

Различия в качестве временных разрезов видимо связаны, главным образом, с заметным несовпадением планового положения треков линий суммирования (от 20 до почти 200 м - рис.2а) и невозможностью учета особенностей рельефа дна водоема в каждом случае (по организационным и техническим причинам), а также с неравномерностью размещения пунктов возбуждения по профилям и существенными изменениями кратности.

Тем не менее, практически на всех профилях отмечаются основные отражающие горизонты (или по крайней мере их фрагменты) во временном интервале 600-1200 мс. Стоит отметить повышение качества прослеживания отражений при положении ПВ (рис.5) на мелководье (ВЭМ-берег и ВЭМ-1м), связанное, по-видимому, с ослаблением влияния недоучета формы рельефа дна водоема.

Проведенные сравнительные испытания водного источника позволили сделать обоснованные выводы:

1. Источник сейсмических колебаний - “Енисей ВЭМ-100” позволяет, в принципе, получать результаты, сопоставимые с эталонными пневматическими источниками.

2. Важнейшим преимуществом источника “Енисей ВЭМ-100” перед эталонными водными источниками является возможность его эффективного использования в переходных зонах, недоступных для пневмопушек, - мелководье (при глубинах водоема от 3-4 до 0,7 м) вплоть до последующего выхода на сушу и продолжения профиля в сухопутном варианте.

3. Водный электромагнитный источник сейсмических колебаний “Енисей ВЭМ-100” рекомендуется к внедрению в практику сейсморазведочных работ.

4. Для внедрения в производство источника “Енисей ВЭМ-100” последний должен быть укомплектован навигационной аппаратурой GPS и эхолотом, которые будут синхронизированы с сейсмостанцией через системы синхронизации (ССВ-2 или SGS), а также снабжен малощумящими источниками питания (аккумуляторами) и средствами транспортировки.

5. Для повышения энергетических характеристик возбуждаемых сейсмических колебаний желательно применять группирование нескольких источников “Енисей ВЭМ-100” и, возможно, повышенную кратность накопления воздействий. Технологически использование указанных приемов легко реализуется с испытываемым источником, как “на точке”, так и “в движении”.

При сопоставлении на суше телеметрических систем X-Zone Marsh Line и SN-388 с применением импульсных источников СЭМ-100 и ВЭМ-100 установлено следующее:

- общая энергия сейсмической записи, регистрируемой от водных импульсных источников ВЭМ-100, сопоставима с энергией записи, полученной от использования импульсных источников СЭМ-100 (рис.6);

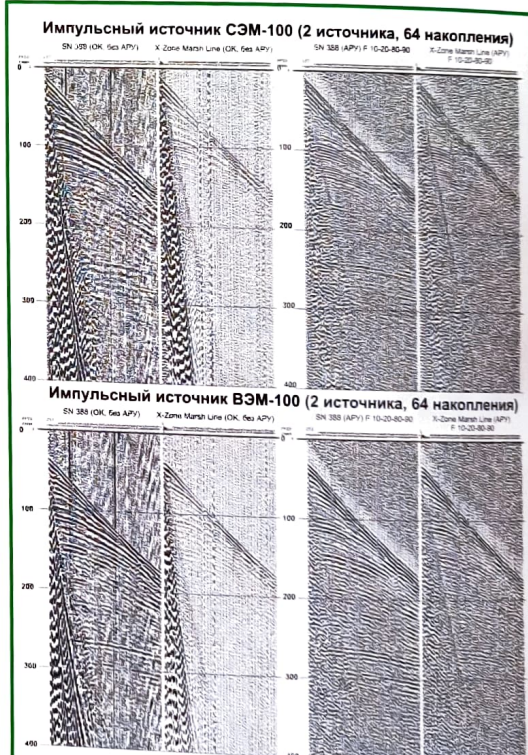


Рис. 6. Сопоставление сейсмограмм, полученных телеметрическими системами X-Zone Marsh Line SN-388 с использованием импульсных источников СЭМ-100 и ВЭМ-100 при установке приемных линий на суше.



ИСПЫТАНИЯ "ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"

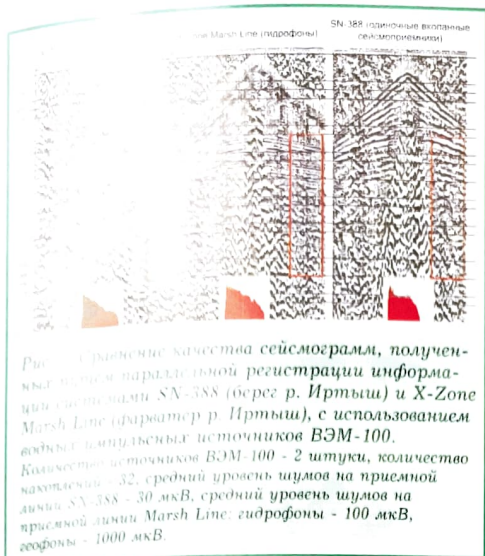


Рис. 7. Сравнение качества сейсмограмм, полученных путем параллельной регистрации информации системами SN-388 (берег р. Иртыш) и X-Zone Marsh Line (фарватер р. Иртыш), с использованием водных импульсных источников ВЭМ-100. Количество источников ВЭМ-100 - 2 штуки, количество накоплений - 32, средний уровень шумов на приемной линии SN-388 - 30 мкВ, средний уровень шумов на приемной линии Marsh Line: гидрофоны - 100 мкВ, геофоны - 1000 мкВ.

спектр частот сейсмической записи, регистрируемой от водных импульсных источников ВЭМ-100, более обогащен высокочастотной составляющей в сравнении с записью, полученной от импульсных источников СЭМ-100.

При установке приемной линии Marsh Line по фарватеру р. Иртыш примерно в 50 м от кромки берега, а расстановки геофонов SN-388 на берегу возбуждение колебаний на 22 ПВ с шагом 100 м осуществлялось двумя источниками ВЭМ-100, пришвартованными к катеру.

По всем 22 обработанным точкам наилучшее качество информации в части прослеживаемости и разрешенности записи отраженных волн получено при регистрации сейсмической записи гидрофонами системы Marsh Line, несмотря на то, что средний уровень шумов на приемной линии SN-388 составлял около 30 микровольт, на приемной линии Marsh Line по геофонам 100 микровольт (рис.7, 9).

На профиле возбуждения (р. Иртыш) имеются участки, влияющие на изменение условий возбуждения упругих волн. При проведении возбуждений на таких участках, регистрируемая гидрофонами системы Marsh Line запись становится существенно более высокочастотной, но интенсивность ее снижается.

При возбуждении колебаний в относительно благополучных условиях, даже при наличии на гидрофонах интенсивных шумов (100 микровольт), полезную информацию удается зарегистрировать при малом количестве накоплений (рис.8).

При возбуждении упругих колебаний двумя ВЭМ-100 на расстановке линии Marsh Line поперек

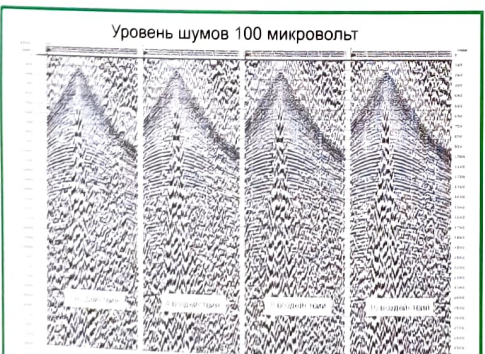


Рис. 8. Сравнение качества сейсмограмм, зарегистрированных системами X-Zone Marsh Line (гидрофоны), в зависимости от количества воздействий при расположении водного импульсного источника ВЭМ-100 в благоприятных условиях.

фарватера р. Иртыш с размещением части каналов в карьере со стоячей водой установлено, что уровень шумов на гидрофонах, расположенных в области фарватера, составляет, в среднем, 100 микровольт, что сопоставимо с шумами при расположении косы Marsh Line вдоль направления течения.

Уровень шумов на гидрофонах, расположенных в зоне стоячей воды, не превышал 5 микровольт.

В условиях низкого уровня помех (зона стоячей воды) гидрофоны системы Marsh Line уверенно регистрируют полезную сейсмическую запись уже при одном воздействии двух источников ВЭМ-100.

Качество сейсмической записи, регистрируемой геофонами системы Marsh Line, существенно уступает гидрофонам в части прослеживаемости и разрешенности пакетов отраженных волн.

Проведение работ МОГТ по фарватеру р. Иртыш с использованием водных источников ВЭМ-100 и телеметрической системы X - Zone Marsh Line в режиме волочения приемной расстановки по дну реки теплоходом (лебедкой) было приостановлено, так как сейсмическая коса стала не выдерживать динамические нагрузки.

Опробование импульсного водного источника упругих колебаний "Енисей ВЭМ-100" в сравнении с эталонными источниками в различных сейсмогеологических и орогидрографических условиях показало возможность его применения на предельном мелководье (0,7 - 2,0 м для макетов №1 и №2, 0,15 - 2,0 м для разрабатываемого макета № 3) транзитных зон при постановке сейсморазведочных работ 2D, 3D по стандартным методикам.

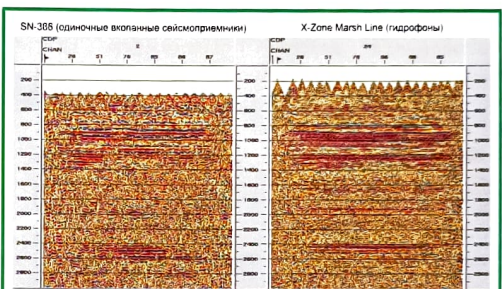


Рис. 9. Сравнение предварительных (фильтрация (6,12,90,120)+суммирование) временных разрезов по материалам, полученным путем параллельной регистрации информации SN-388 (берег р. Иртыш) и X-Zone Marsh Line (фарватер р. Иртыш), с использованием водных импульсных источников ВЭМ-100.

Количество источников ВЭМ-100 - 2 штуки, количество накоплений - 32, средний уровень шумов на приемной линии SN-388 - 30 мкВ, средний уровень шумов на приемной линии Marsh Line - 100 мкВ.

Наблюдения официально назначенного ихтиолога за процессом возбуждения упругих колебаний пневмопушками и ВЭМ-100 на акватории Красноярского водохранилища показали практически полное отсутствие последствий воздействия ВЭМ-100 на флору и фауну водоема. Напротив, при выходе пневмопушки с объемом 2,5 л на глубину 3,5м выброс воздушного пузыря сопровождается разрушением придонных осадков, водорослей. На меньших глубинах водоема это обстоятельство вызовет катастрофические последствия для зон нерестилищ.

Таким образом, применение источника ВЭМ-100 снимет ряд ограничений на производство сейсморазведочных работ в транзитных зонах со стороны природоохранных органов, промысловых хозяйств (рыбоводческих и др.), позволит исключить ряд методических проблем, например: резкие вариации условий возбуждения при переходе с суши на водоемы, в зонах резких перепадов глубин водоема и т. п.