

## Расстановка сейсмических источников для исследования подбазальтовых отложений Air gun arrays for sub-basalt exploration

**Отзыв\* на статью Z.C.Lunnon, P.A.F. Christie и R.S.White «Оценка настройки по пику и пульсации при осуществлении сейсморазведки подбазальтовых отложений: моделирование и результаты, полученные F. Avedik по данным OBS (First Break, Декабрь 2003» 21-51-56)**

В своей статье авторы обсуждают результаты эксперимента, проведенного с целью сравнения двух типов расстановок источников при исследовании подбазальтовых отложений, при котором необходимо получить низкочастотный сигнал высокой интенсивности для минимизации рассеивания на грубой подповерхностной геометрии и «простреливания» пачек слоев с высокой отражающей способностью. Одна из расстановок была классической, центрированной на сигнале от пневматических источников. Вторая расстановка, сконструированная авторами, центрировала сигнал расстановки на первом импульсе от схлопывания газового пузыря («настройка пульсации») путем включения задержек в последовательность взрывов источников, с целью повышения низкочастотной характеристики источника. В разделе, описывающем «настройку пульсации», авторы утверждают, без какого бы то ни было сравнения устройства их расстановки с предыдущей работой, что «наш метод настройки пульсации отличается от предложенного Avedik и др. (1993), поскольку использует пневматические излучатели Bolt LL на постоянной глубине взамен использования нагнетательных излучателей GI на различных глубинах». Я не согласен с этим утверждением.

С момента внедрения в морскую сейсморазведку настроенных расстановок, происшедшего несколько десятилетий назад, были произведены значительные исследования с целью оптимизации их низкочастотного сигнала, что позволило более успешно решать задачи глубинной сейсморазведки. С этой целью эксперименты Safar привели к предположению (1980, 1983) о буксировании кос источников на их средней «оптимальной глубине» (равной четверти длины волны) и о включении первого импульса схлопывания в импульс давления всей установки, вдобавок к первичному импульсу, относительно которого импульс установки уже был центрирован.

Под впечатлением от процедуры предложенной Safar, Avedik и др. решили центрировать сигнал от косы источников по первому импульсу от первого схлопывания газового пузыря взамен первичного импульса, что достигалось последовательной активацией пневматических излучателей, таким образом, в 1983 была создана «однопузырьковая» коса источников (в терминологии авторов, коса с «настройкой пульсации»). В 1989 году мы приспособили наш метод к нагнетательному излучателю (Generator-Injector, GI), сразу после его появления на рынке. Механическая конструкция пневматического излучателя GI позволила нам непосредственно подавить эффект от шлейфа вторичных пульсаций, применив режимное нагнетание дополнительного воздуха в воздушный пузырь, вибрирующий в воде, взамен интерференции импульсов давления, возникающей в случае обычных пневматических излучателей. Способ устранения или уменьшения шлейфа вторичных пульсаций зависит от доступной техники и соответствующих возможностей. Тем не менее, смена типа пневматического излучателя

в любом случае не изменит базовый принцип работы «однопузырьковой» (SINBUS, SINGLE BUBBLE SOURCE) косы.

Вопреки утверждению Lunnon и др., излучатели в косе SINBUS буксируются на одинаковой глубине, являющейся их средней оптимальной глубиной, составляющей четверть длины волны. Диапазон их размеров и их количество в косе зависят от желаемых характеристик получаемого сигнала. Приведенные здесь факты содержатся в нашей статье, указанной в ссылках.

Косы SINBUS используются начиная с 1992 в различных геологических обстановках при исследованиях на отраженных и преломленных под большими углами волнах. Читатели, желающие более подробно ознакомиться с темой, обсуждаемой в статье Lunnon и др., могут обратиться к нашей статье, опубликованной в First Break (1995), в которой мы приводим анализ и сравнение результатов, полученных с использованием на профиле в Средиземном море большой, настроенной по первичному сигналу, косы пневматических излучателей и косы SINBUS.

### Избранные ссылки

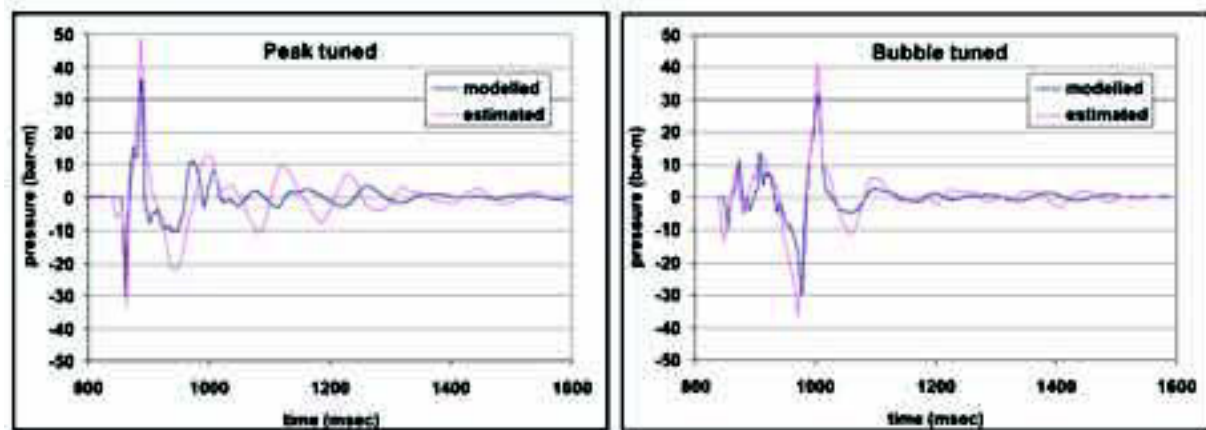
- Safar, M.H. [1980] An efficient method for operating the air gun. *Geophysical Prospecting*, **18**, 85-94.  
Safar, M.H. [1983] Test results of a new type of efficient small air-gun array. *Geophysical Prospecting*, **31**, 343-350.  
Avedik, F., Renard V., Allenou, J.P., and Morvan B. [1993] 'Single-bubble' air-gun array for deep exploration. *Geophysics*, **58**, 366-382.  
Avedik, F., Nicolich, R., Hirn, A., Maltezos, F., McBride, J., Cernobori, L., and the Streamers/Profiles Group. [1995] Appraisal of a new, high-energy low-frequency seismic pulse generating method on a deep seismic reflection profile in the Central Mediterranean Sea. *First Break*, **13**, 7, 277-290.  
Avedik, F., Hirn, A., Renard, V., Nicolich, R., Olivet, J.L., and Sachpazi, M. [1996] 'Single-bubble' marine source offers new perspectives for lithospheric exploration. *Tectonophysics*, **267**, 57-71.

### Отзыв авторов

Отзыв на комментарий F. Avedik подготовлен Z.C. Lunnon, P.A.F. Christie и R.S. White.

Благодарим F. Avedik за его обзор развития настройки пневматических кос по импульсу первого пузыря (т.н. «настройки пульсации» согласно Lunnon и др., 2003), и последовательной эволюции этого метода, описанного в статьях, дополнительных к тем, на которые ссылается Lunnon и др. (2003). Подобный обзор оптимизации пневматических излучателей для создания низких частот не являлся целью нашей статьи. Нашей основной задачей было представить сравнение источников, настроенных по максимуму и по газовому пузырю, отличающихся только способами их настройки, и использование измеренной в дальней зоне оценки волновой картины,

\*Прносим свои извинения упомянутым авторам за большую задержку при публикации данной переписки и исправленного рисунка.



**Рисунок 11** Смоделированная и примерная волновые картины для настройки по максимуму (слева) и настройки по газовому пузырю (справа).

полученной косами связанных сейсмоприемников, для сравнения с волновыми картинами, полученными в результате предварительного моделирования.

По нашему мнению, Avedik и др. могло показаться, что в нашем утверждении, гласящем, что 'наш метод пузырьковой настройки отличается от предложенного Avedik и др. (1993), поскольку использует пневматические излучатели Bolt LL на постоянной глубине взамен использования нагнетательных излучателей GI на различных глубинах' подразумевается, что 'излучатели GI на различных глубинах' являются неперменной характеристикой однопузырькового метода. Мы подразумевали другое: то, что как Lunnon и др., так и Avedik и др. использовали пузырьковую настройку, используя при этом различные излучатели и расстановки. Avedik и др. (1993) утверждает, что 'использовать излучатель GI в качестве однопузырькового пневматического излучателя довольно просто: 1) излучатель необходимо использовать на «оптимальной глубине», определяемой объемом камеры генератора и приложенным давлением воздуха...; 2) нагнетание дополнительного воздуха необходимо производить в момент, когда расширяющийся пузырь воздуха достигает своего второго максимума' (цитата на стр. 373). Отталкиваясь также от более раннего утверждения, гласящего, что 'появление излучателя GI в 1989, ..., дало новый стимул нашим попыткам извлечь низкочастотную акустическую энергию, заключенную в импульсе первого пузыря' (op. cit. стр. 370), мы сделали вывод, что утверждение Avedik и др. (1993) гласит, что их предпочитаемой конфигурацией были 'излучатели GI на различных [оптимальных] глубинах', даже если такая конфигурация не использовалась при полевых испытаниях, описанных в той статье. Мы осознаем, что в других случаях использования однопузырьковой настройки при проведении академических исследований во Франции, излучатели различного размера действительно буксировались на различных глубинах, оптимальных для каждого излучателя в отдельности (см. Carton и др., 2004; и H. Carton, личная переписка, 2004). Мы также благодарим H. Avedik за предоставление возможности повторно опубликовать рис. 11 из нашей исходной статьи, который был неверно напечатан в бумажном издании *First Break* и до сих пор не заменен в сетевом издании. Правильный рисунок представляет собой сравнение волновых картин, полученных 4-мя способами при настройке по максимуму и по пузырю, сравнимая предварительно смоделированные волновые картины с измеренными в дальней зоне временами прихода сигнала на вертикальную косу сейсмоприемников, привязанных к водяной колонне. На неверно напечатанном рисунке повторяются волновые

картины для источника, настроенного по максимуму, вследствие чего не показаны волновые картины с пузырьковой настройкой.

На правильном рисунке между смоделированной и измеренной волновыми картинами для настроенного по максимуму источника наблюдается слабое соответствие, поскольку хвост отражений (реверберации) для измеренной волновой картины длиннее, чем для смоделированной. Напротив, измеренная волновая картина для настроенного по пузырю источника довольно хорошо предсказывается смоделированной, и, вдобавок, является намного более компактной, не содержа ревербераций. Хотя в исходной статье этому не было придано особое значение, компактность волновой картины для данного источника была достигнута без использования излучателей GI с целью затухания осцилляций пузырька, следующих за первым пузырем. Взамен этого путем использования излучателей различных объемов была осуществлена подавляющая интерференция второго и последующих пузырей, о данном методе упоминал Avedik и др. (1996). Ссылка на эту статью содержится в нашей предыдущей статье – White и др. (2002), но была заменена на Avedik и др. (1993), в Lunnon и др. (2003) ввиду более подробного рассмотрения метода пузырьковой настройки.

## Литература

- Avedik, F., Renard, V., Allenou, J.P., and Morvan, B. [1993] Single bubble air-gun array for deep exploration. *Geophysics*, 58, 366-382.
- Avedik, F., Nicolich, R., Hirn, A., Maltezos, F., McBride, J., Cernobori, L., and Streamers Profiles Group. [1995] Appraisal of a new, high-energy and low-frequency seismic pulse generating method on a deep seismic reflection profile in the central Mediterranean sea. *First Break*, 13, 7, 277-290.
- Carton, H.D., Singh, S.C., Boukongo, S., and Magueur, M. [2004] Use of different seismic sources for marine academic investigation of the subsurface, EAGE 66th Conference and Exhibition, Paris, France.
- Lunnon, Z.C., Christie, P.A.F., and White, R.S. [2003] An evaluation of peak and bubble tuning in sub-basalt seismology: modelling and results from OBS data. *First Break*, 21, 12, 51-56.
- White, R.S., Christie, P.A.F., Kusznir, N.J., Roberts, A., Hurst, N., Lunnon, Z., Parkin, C.J., Roberts, A.W., Smith, L.K., Spitzer, R., Surendra, A., and Tymms, V. [2002] iSIMM pushes frontiers of marine seismic acquisition. *First Break*, 20, 12, 782-786.