



## Фокусированная воздушная сейсморазведка (ФВС)



**А. А. Табаков**

ООО «Геоверс», 123298, Москва,  
ул. Народного ополчения, 38, кор.3,  
e-mail: vsp@geovers.ru

**Табаков Александр Александрович,**

кандидат технических наук,  
генеральный директор ООО «Геоверс».  
тел. +7 (903) 255-72-75

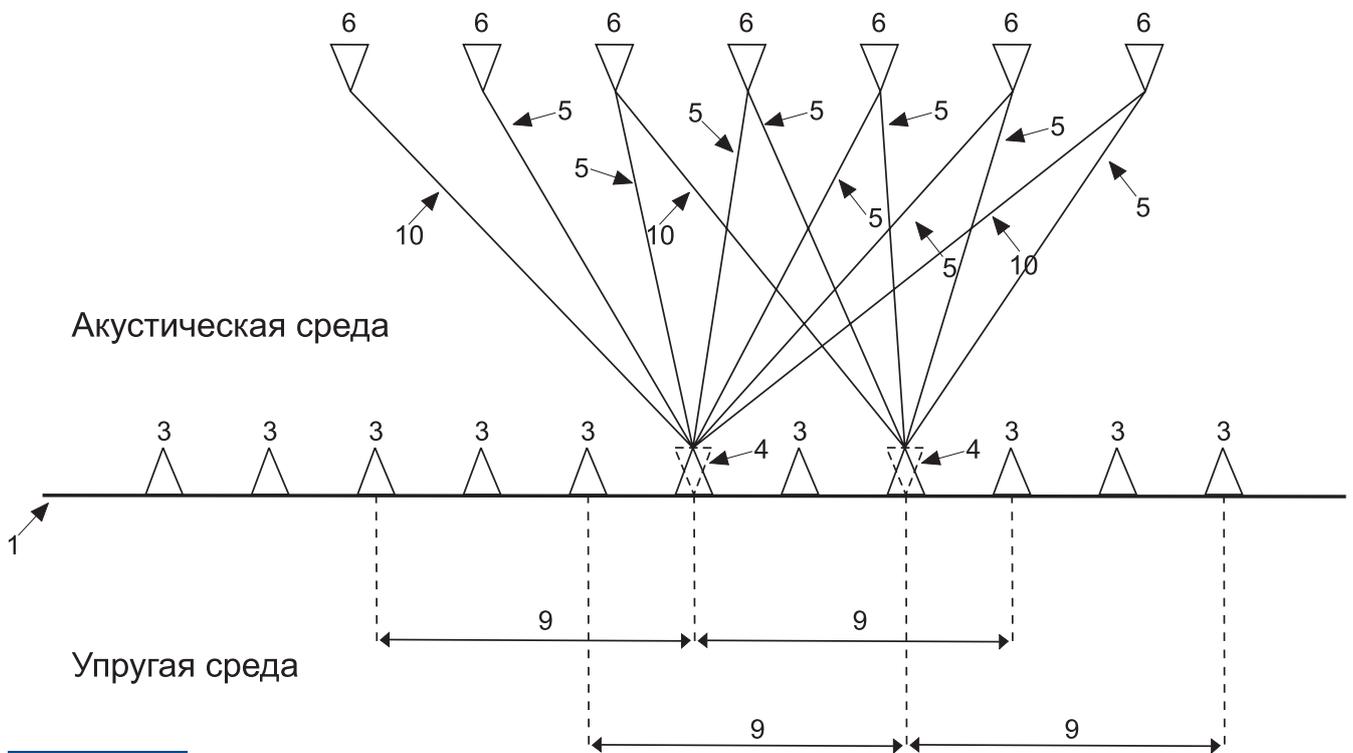
Возбуждение сейсмических колебаний является наиболее затратной частью сейсморазведки. Предложено использовать для возбуждения колебаний в земле звуковые волны, генерируемые в воздухе или в воде на значительных удалениях от земли, с последующей обработкой полученных данных для фокусировки энергии колебаний с участка поверхности земли в заданную точку на поверхности и образованием фиктивных сейсмограмм, соответствующих возбуждению в данной точке. Теоретические расчеты показали возможность формирования сейсмограмм, многократно превышающих по отношению сигнал/помеха сейсмограммы, получаемые при использовании вибросейсов и взрывов. Предлагаемая технология дает также значительное сокращение финансовых и временных затрат на выполнение работ и обеспечивает сохранение окружающей среды.

## Focused Airborne Seismic

**A. A. Tabakov**

Geovers Ltd., 123298, Moscow,  
st. Narodnogo opolchenia, 38 – 3,  
e-mail: vsp@geovers.ru

Generation of seismic energy is one of the most expensive parts of seismic prospecting, especially under complicated surroundings. It is proposed to use shots in air and water media on remote distances from the surface of solid semispace with later focusing of energy on any point of solid surface preferably with pressure geophone to register time of acoustic arrivals. Records for each geophone on the surface of solid semispace are stacked to provide fictitious seismogram with shots in the points of focusing. Model simulation has shown possible concentration of energy on small area less than four meters in diameter. Proposed technology promises high shortening of expenses and ecological advantages.



**Рис. 1**

### 1. Введение

Возбуждение упругих колебаний при сейсморазведке требует значительных затрат, особенно при необходимости строительства дорог и просек, что наносит экологический урон. В горных условиях, культурной зоне и в заповедниках отработка регулярных систем вообще невозможна. При возбуждении колебаний в воздухе на значительной высоте не возникает транспортных и экологических проблем, но из-за сильного преломления лишь незначительная часть энергии идет на формирование глубинных отражений. Предложено формировать на поверхности твердой среды локализованный импульс давления путем накапливания импульсов от многих воздействий с опережениями, равными времени прихода акустической волны в точку локализации [1].

На модельном примере показано, что при возбуждении на высоте 800 м. возможна концентрация энергии на площадке диаметром менее 4 м.

Инновационность технологии определяется тем, что предложенный способ возбуждения колебаний звуковыми волнами нигде в мире не применяется.

### 2. Геометрия наблюдений

Для проведения сейсморазведки сейсмоприемники располагаются на всей или части исследуемой площади (Рис.1). В каждой точке приема ведется либо непрерывная регистрация с фиксацией астрономического времени, либо регистрация, синхронизированная с возбуждением. На значительной высоте в точках 6 (Рис.1) производится возбуждение звуковых колебаний звуковой пушкой во множестве точек так, чтобы каждый из сейсмоприемников был облучен со всех азимутов и зенитных углов. Индексом 5 обозначены пути звуковой волны из источника к приемникам, индексом 10 – лучи для предельных удалений от фиктивных источников 4. Индексом 9 обозначены диапазоны удалений от фиктивных источников 4.

### 3. Формирование фиктивных сейсмограмм

Фиктивные сейсмограммы могут быть сформированы в каждой точке поверхности твердого полупространства, над которым произведены возбуждения. Предпочтительно совмещать эти точки с местами расположения сейсмоприемников, где к обычным датчикам полезно добавить датчики давления с целью уточнения времени

прихода звуковой волны. Для полного использования возбуждаемой энергии, а также для ослабления волн-помех целесообразно формировать фиктивные сейсмограммы с малым шагом также и в точках, где отсутствуют сейсмоприемники. Это позволит сформировать площадные группы источников, примыкающих друг к другу и полностью покрывающие поверхность площади наблюдений без сгущения системы наблюдений.

### 4. Получение фиктивных сейсмограмм

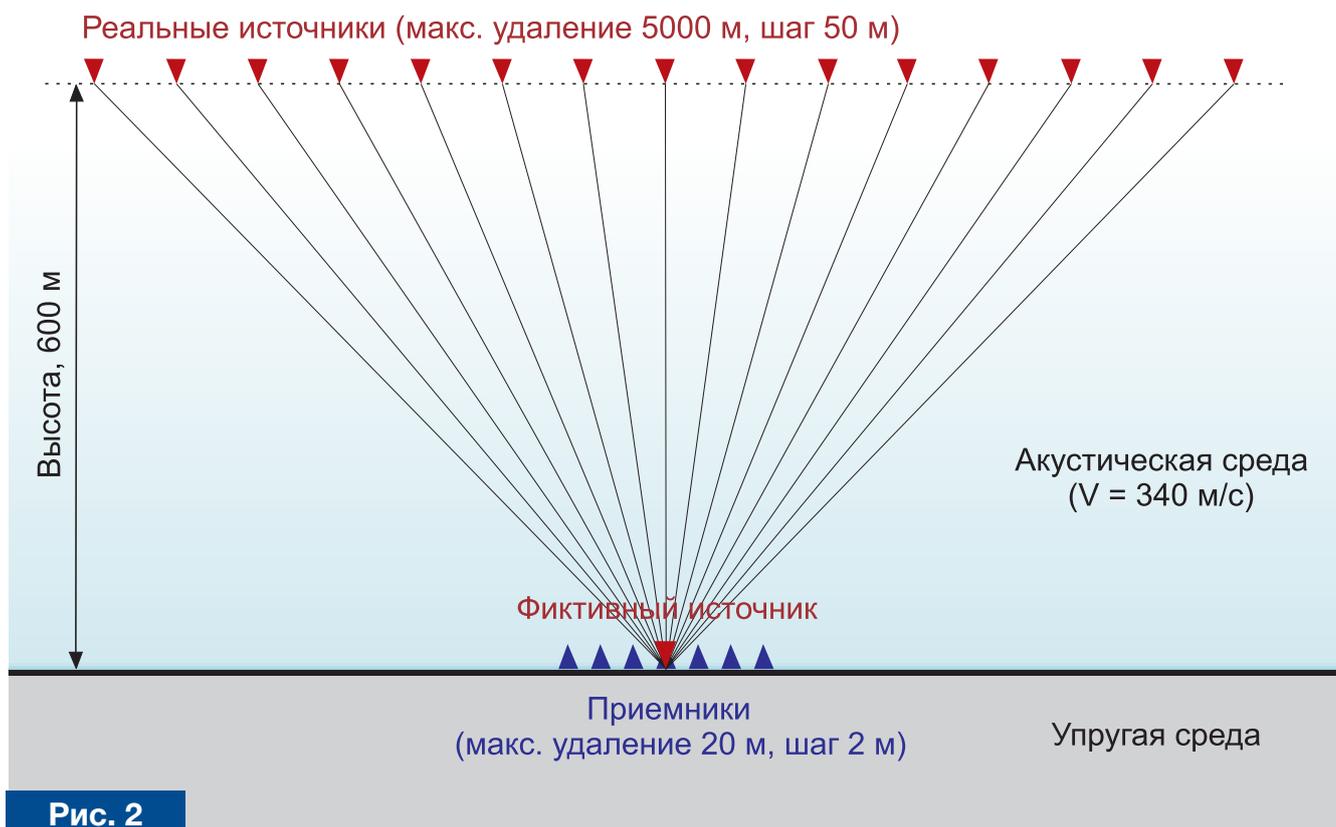
Сформированные для каждого фиктивного пункта возбуждения пакеты первичных сейсмограмм накапливаются по формуле:

$$S_n^l(\omega) = \sum_{m=M_1}^{M_2} S_m^m(\omega) e^{i\omega(\delta t_{m,l})}$$

где  $\omega$  – круговая частота;

$S_n^l(\omega)$  – преобразование Фурье для суммарной трассы, представляющей собой приближение к трассе в точке «n» (Рис.1, приемник (3) в пределах выбранного максимального расстояния (9) от выбранного фиктивного источника (4)) от фиктивного источника в точке  $n = 1$  (Рис.1, элемент 4);

$S_m^m(\omega)$  – преобразование Фурье от реальной сейсмической записи, зарегистрированной сейсмоприемником в точке приема «n»,  $n$  – индекс точки приема (Рис.1, приемник (3) от выбранного фиктивного источника (4)) от одного из реальных сейсмических источников (Рис.1, реальный источник (6) на расстоянии (5), меньшем или равном выбранному максимальному расстоянию (10) от выбранного фиктивного источника (4)), расположенного в точке «m».  $\delta t_{m,l}$  – время пробега волны от реального источника, расположенного в точке «m» (Рис.1, реальный источник (6) на расстоянии (5), меньшем или равном выбранному максимальному расстоянию (10) от выбранного фиктивного источника (4)) до фиктивного источника, расположенного в точке l (Рис.1, элемент 4). Суммарные сейсмограммы, полученные таким образом, могут быть использованы в дальнейшей обработке как обычные. Сейсмограммы с малым шагом могут суммироваться для ослабления помех после ввода кинематических поправок, образуя пространственные группы.



## 5. Расчет давления на поверхность земли, оказываемое звуковыми волнами.

Теоретические исследования и опытные работы по оценке величины давления звуковых волн на поверхность твердых тел в зависимости от громкости звука уже давно проведены. Полученные данные сведены в таблицы, которые приведены в соответствующих справочниках.

Из этих таблиц легко рассчитать давление на 1 кв.м. поверхности земли для громкости звука, терпимого для человека (120дБ по отношению к порогу слышимости). Давление составляет 2 кг на 1 кв.м.

Поскольку звуковые волны воздействуют на большие по площади поверхности, то в качестве источника колебаний для формирования сейсмических волн можно использовать достаточно большие участки поверхности (т.е. сфокусировать энергию воздействия звуковой волны, распределенную на некоторой площади) в отличие от взрывов и вибровозбуждений, которые, фактически, являются точечными источниками. В данном случае расчеты проводились при условии, что источником колебаний является участок поверхности диаметром 50 м и количество воздействий (срабатывание звуковой пушки), используемых при накоплении, принималось равным 10000. При этом считалось, что сигнал при накоплении усиливался только в 100 раз (с учетом накопления и шумов).

При таких условиях, а также учитывая эффект направленности из-за группирования воздействий на площади, совокупное давление оказываемое звуковой волной на поверхность земли после фокусирования можно сопоставить с воздействием вибратора, соответствующее 500 тонн (современные вибраторы обеспечивают давление до 50 тонн).

Такая мощность источника, обеспечиваемая давлением звуковых волн, может показаться нереальной, несмотря на строгое теоретическое обоснование. Однако можно привести пример, который может устранить ощущение нереальности.

Давление на землю осуществляется за счет разницы давления воздуха в зонах максимума и минимума амплитуды звуковой волны. То, что это может быть большой силой доказывает то, что огромные самолеты поднимаются в воздух именно за счет разницы давлений под и над крыльями.

Отметим, что известная формула об амплитудах проходящей и отраженной волн на границе двух упругих сред в случае границы воздух-земля неприменима, поскольку основное условие при ее выводе – это условие равенства смещений по обе стороны границы (разрушение сред не допускается). В случае границы воздух-земля воздух сжимается, т.е. это условие не выполняется.

## 6. Модельный эксперимент

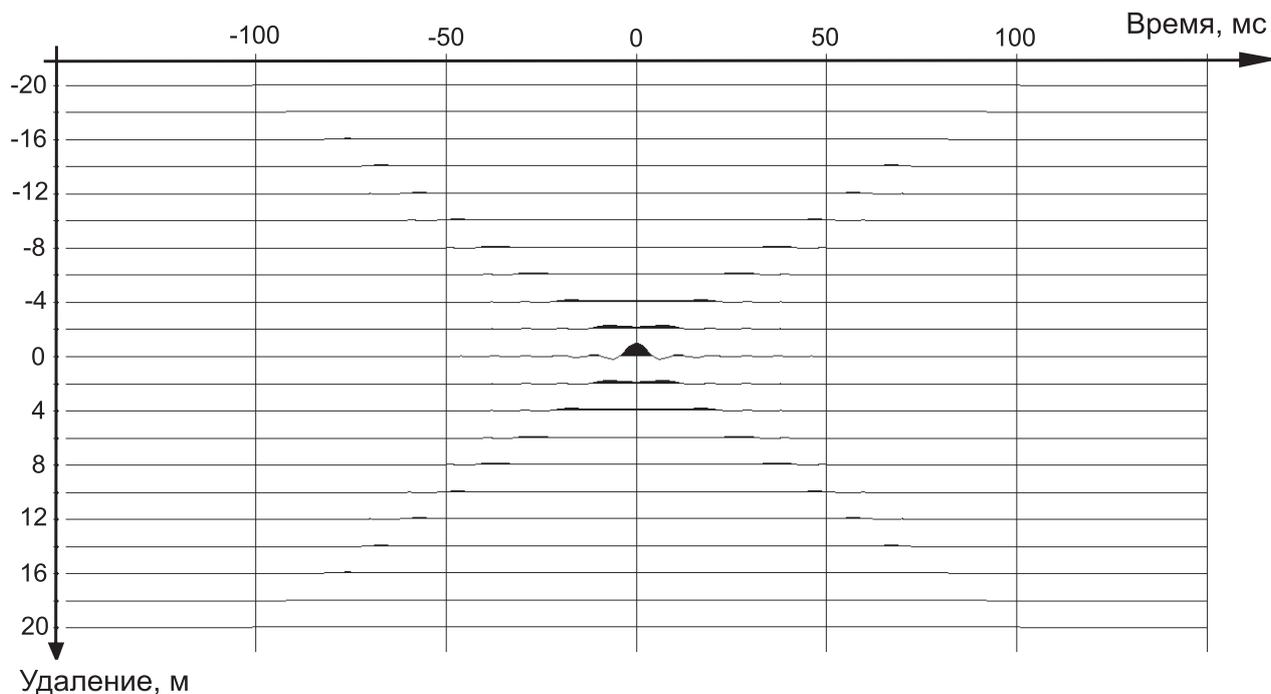
Модельный эксперимент выполнен на схеме, изображенной на Рис.2. Точки возбуждения располагались на удалениях до 5 км от точки расположения фиктивного источника на прямолинейном профиле на высоте 600м с шагом 50 м. Для оценки распределения давления на поверхности после фокусировки сейсмоприемники расположены на удалении до 20 м от фиктивного источника с шагом 2м.

Результаты модельного эксперимента показывают, что область фокусировки давления звуковой волны имеет диаметр менее 4 м для диапазона частот 3-150 Гц (Рис.3).

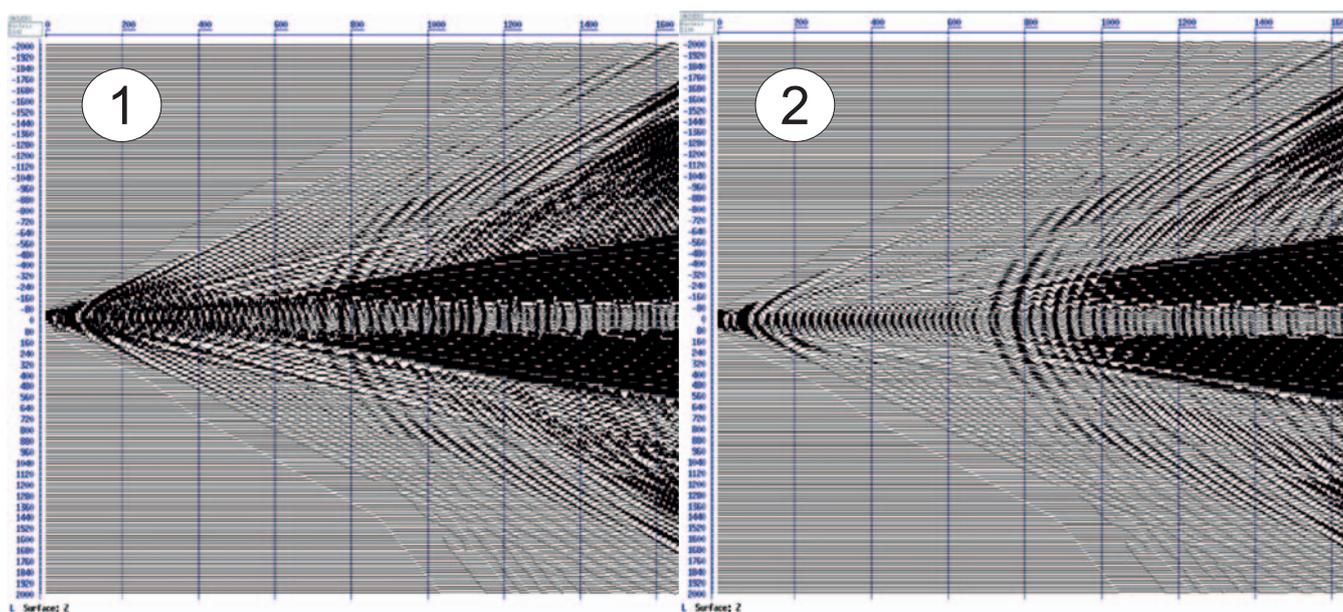
Эффект группирования пунктов возбуждения на площади 50\*50 кв.м продемонстрирован на рис.4. В левой части рис.4 (помечено «1») представлено волновое поле, возбуждаемое одиночным источником (взрыв или вибротест), а в правой части (помечено «2») волновое поле после группирования. Видно, что после группирования уровень помех резко снижается.

## Выводы

Представлен новый способ воздушной сейсморазведки, обеспечивающий фокусировку энергии акустических волн - ФВС, новизна которого и техническая осуществимость подтверждена патентом РФ. На модельном эксперименте показано, что степень фоку-



**Рис. 3**



**Рис. 4**

сировки достаточна для целей сейсморазведки. Использование предложенной технологии может обеспечить кратное сокращение затрат на сейсморазведку при резком сокращении экологического ущерба. Использование технологии ФВС повышает эффективность сейсморазведочных работ в сравнении со стандартной технологией (использующей взрывы и виброрейсы) с точки зрения информативности результатов за счет:

Возможности площадного группирования, которое является экономически затратным при использовании стандартной технологии.

Возможности регистрации истинной формы сигнала, используя датчики давления.

Возможности формирования сейсмических профилей по любому азимутальному направлению без проведения дополнительных полевых работ. ■

#### Литература

1. Табаков А.А. Патент РФ: Способ сейсморазведки, RU 2517010 С1 с приоритетом от 13.01.2013
2. Табаков А.А. Международный патент PCT. Publication No: WO/2014/112900, Publication date: Jul 24, 2014, International Filing Date: Jan 17, 2014.

1. Геометрия наблюдений
2. Схема модельного эксперимента
3. Результат накопления акустических сигналов на поверхности
4. Волновое поле до группирования (1) и после группирования (2)

