

Об оптимизации зондирующих сигналов и приемников по критерию отношения сигнал/помеха плюс шум при работе с импульсными невзрывными источниками сейсморазведки

Шайдуров Г.Я., Детков В.А., г. Новосибирск

Как известно, сейсморазведочные работы в сложных геолого-геофизических условиях Восточной Сибири и сходных районах существенно осложнена наличием в верхних структурах георазреза стохастически распределенных трапповых включений, магматических пород, формирующих мощные сигналы помех, существенно превышающие полезные сигналы, приходящие с глубинных отражающих границ Земли.

Используя линейную модель двухслойного разреза (рис. 1) [1], запишем отношение сигнал/помеха плюс шум по мощности в виде:

$$q = \frac{[I \otimes \Phi_c \otimes \Phi_{np}]^2}{[I \otimes \Phi_n \otimes \Phi_{np}]^2 + N_{III} \otimes \Phi_{np}^2}, \quad (1)$$

где I – зондирующий сигнал источника сейсмических волн; Φ_c – передаточная функция (ПФ) полезного сигнала; Φ_n – ПФ синхронных помех; Φ_{np} – ПФ сейсμοприемника; $\otimes$ – знак функционального перемножения; N_{III} – спектральная плотность мощности некоррелированного с полезным сигналом шума. Черта сверху – усреднение по частоте или времени.

Под синхронной помехой (СП) будем понимать акустический отклик неоднородного верхнего слоя георазреза.

На схеме рис. 1 изображена модель прохождения зондирующего акустического сигнала (ЗС) от сейсмического источника 1 к сейсμοприемнику 2 через двухслойный разрез с включением в верхний слой некоторой акустической неоднородности 3. В этой модели полезный сигнал (С) формируется отражением от границы второго слоя, а синхронная помеха (П) образуется за счет переотражения акустического сигнала от неоднородности (3) и приходит к сейсμοприемнику 2 одновременно с сигналом. Поскольку положение неоднородности 3 носит случайный характер, так же как их количество и частота появления, то параметры помехи (амплитуда, фаза, частота) должны описываться статистическими характеристиками – математическим ожиданием, дисперсией, плотностью распределения и пр.

Кроме случайной составляющей помехи $\bar{U}_{II}(t_i, t)$ на времени прихода полезного сигнала t_i , отраженного вторым слоем, на сейсμοприемник поступают и регулярные помехи $\bar{U}_{II}(t_i, t)$, образуемые в зоне малых скоростей, в том числе реверберационные 5 и переотраженные первым слоем 7, параметры которых повторяются вдоль профиля движения $\bar{U}_{II}(t_i, t)$. Таким образом, комбинация полезного сигнала, помех и шумов в входе сейсμοприемника в момент t_i может быть записана как:

$$U(t_i, t) = U_c(t_i, t) + \bar{U}_{II}(t_i, t) + \bar{U}_{II}(t_i, t) + U_{III}(t_i, t). \quad (2)$$

Здесь U_{III} – среднеквадратичное значение некоррелированного с сигналом шума со спектральной плотностью мощности $N_{III} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}$, например микросейсм.

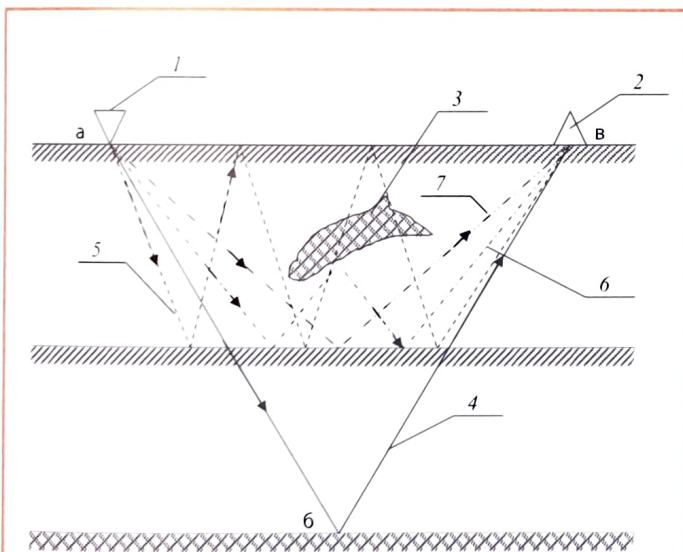


Рис. 1. Схема формирования сигнала и синхронных помех в двухслойной модели георазреза.

1 – излучатель; 2 – сейсμοприемник; 3 – неоднородность;

4 – формирование полезного сигнала;

5 – формирование реверберационной помехи;

6 – формирование синхронной помехи за счет неоднородного включения в первом слое;

7 – формирование отраженного сигнала от границы первого слоя.

В этой модели полезный сигнал $U_c(t_i, t)$ формируется как интегральная свертка зондирующего сигнала источника $I(\tau)$ с импульсной характеристикой (ИХ) его передачи к сейсμοприемнику 3 на отрезках а, б, в (рис. 1) $\Phi_c(t_i, t)$, либо передаточной функцией (частотной характеристикой $\Phi_c(j\omega)$). Аналогично формируется синхронная помеха через импульсную характеристику $\Phi_{II}(t_i, t)$ или передаточную функцию $\Phi_{II}(j\omega)$, описывающие прохождение зондирующего сигнала через неоднородный верхний слой.

Ниже приводятся результаты решения двух изопериметрических вариационных задач:

Первая задача максимизация функционала (1) по 1:

$$q(I, \Phi_c, \Phi_{np}) \rightarrow \max, \quad (3)$$

при $\Phi_{np} = I$ и ограничении на энергию зондирующего сигнала

$[I]^2 = Q = \text{const}$. Вторая – максимизация пары ЗС-приемник, при ограничениях:

$[I]^2 = Q = \text{const}$ и $D = \text{const}$ (амплитуда сигнала на выходе приемника.) (4)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



Полное решение поставленных задач приведено в [2] применительно к проблеме обнаружения различных объектов в проводящих средах, в частности, в электроразведке с использованием импульсных ЗС. Ниже рассмотрены некоторые особенности решения этих задач.

Поскольку управление формой ЗС в этой области возможно лишь с невзрывными источниками, то задачу (2) решаем для ЗС, ограниченного во времени $I \in [0, \tau]$.

Далее рассмотрим более общую задачу.

$$q = \frac{\int_n^y \left[\int_0^{\tau_n} I(\tau) \Phi_c(t - \tau) d\tau \right]^2 dt}{\int_n^y \left[\int_0^{\tau_n} I(\tau) \Phi_n(t - \tau) d\tau \right]^2 dt + N_m} \Rightarrow \max \quad (5)$$

$$\text{при } \int_0^{\tau_n} I^2(\tau) d\tau = Q = \text{const.}$$

Здесь $[t_i; t_j]$ – интервал наблюдения сигнала.

Решение этой задачи [2] было найдено в виде

$$I_{opt}(t) = \overline{\Phi_c^*(t)} - \overline{\Phi_n^*(t)} \frac{K_{cn}}{1 + v}, \quad (6)$$

где $\overline{\Phi_c^*(t)} = \frac{\Phi_c^*(t)}{R_0^{1/2}}$; $\overline{\Phi_n^*(t)} = \frac{\Phi_n^*(t)}{R_{cn}^{1/2}}$ – зеркальные ИХ сигнала и помехи, соответственно, нормированные по модулям ИХ.

$$R_0 = \int_0^{\tau_n} \Phi_c^2(t) dt; R_n = \int_0^{\tau_n} \Phi_n^2(t) dt.$$

$$K_{cn} = \frac{R_{cn}}{R_0^{1/2} R_n^{1/2}} \quad (7) \text{ – нормированный коэффициент взаимной корреляции С и П.}$$

Функция взаимной корреляции С и П:

$$R_{cn} = \int_0^{\tau_n} \Phi_c(t) \Phi_n(t - \tau) d\tau; \quad (8)$$

$$v = \frac{N_m}{C_n R_n Q} = \frac{\mathfrak{E}_m}{\mathfrak{E}_n} \text{ – отношение энергий шума и помех на интервале } [t_i; t_j],$$

$$\text{где } C_n = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_n^2(t) dt.$$

Как видно из (6), оптимальный ЗС является комбинацией зеркальных ИХ полезного сигнала и синхронной помехи. При этом временная форма оптимального ЗС существенно зависит от параметра (отношения ш/п). При $v \gg 1$ оптимальный ЗС является зеркально согласованным с ИХ полезного сигнала (С), т.е. соответствует критерию $\frac{C}{\Pi} \rightarrow \max$.

При $v \ll 1$ оптимальный ЗС является комбинацией зеркальных ИХ С и П. Его форма во многом зависит от коэффициента взаимной корреляции K_{cn} (7) между ИХ С и П. При отсутствии корреляции, например, когда спектры С и П разнесены по частоте, оптимальный ЗС определяется лишь видом ИХ С.

Потенциально достижимое отношение энергий С/П+Ш определяется выражением:

$$q = \frac{v_0}{v} \left(1 - \frac{K_{cn}^2}{1 + v} \right), \quad (9)$$

$$\text{где } v_0 = \frac{C_c R_0}{C_n R_n} = \frac{\mathfrak{E}_c}{\mathfrak{E}_n}; C_n = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_n^2(t) dt.$$

Таким образом, если энергия шумов существенно превышает энергию помех, т.е. при $v \gg 1$, то предельное отношение $\frac{C}{\Pi + \Pi}$ определяется лишь отношением энергий С и П на входе приемника.

Пусть ИХ С описывается затухающей колебательной функцией:

$$\Phi_c(t) = \Phi_{oc} e^{-\alpha(t + \tau_c)} \sin(\omega_c t + \varphi_c). \quad (10)$$

$$\text{ИХ П: } \Phi_n(t) = \sum_{k=0}^K \Phi_{nk} e^{-\beta_k(t + \tau_k)} \sin(\omega_{nk} t + \varphi_n). \quad (11)$$

$$\text{Тогда: } R_0 = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_{oc}^2 e^{-2\alpha(t + \tau_c)} \sin^2(\omega_c t + \varphi_c) dt \quad (12)$$

$$R_n = \sum_{k=0}^K \int_{t_i}^{t_j} \Phi_{nk}^2 e^{-2\beta_k(t + \tau_k)} \sin^2(\omega_{nk} t + \varphi_n) dt, \quad (13)$$

$[t_i; t_j]$ – интервал наблюдения сигнала; $\tau_c = t_j$ – момент наблюдения сигнала.

$$R_{cn} = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_c(t) \Phi_n(t - \tau) d\tau; \quad (14)$$

$$\text{при } \tau = 0: R_{\text{сн}}(0) = \frac{1}{\tau_s} \sigma_{\text{сн}}^2$$

где $\frac{1}{\tau_s} \sigma_{\text{сн}}^2$ коэффициент взаимной корреляции ПС и СП на интервале $[\theta, \tau_s]$; $\sigma_{\text{сн}}^2$ – взаимная дисперсия С и П.

Запись (11) означает, что синхронная помеха формируется группой из k волн, занимающих диапазон $(\omega_s + \omega_n)$, соответствующий ширине спектра излучаемого сигнала.

Вводя (10), (11), (12), (13) в (7) получим:

$$K_{\text{сн}} = \frac{\sum_{\alpha} \Phi_{\text{сн}} \Phi_{\text{м}} \int_{\tau_s} e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin(\omega_s t + \varphi_s) \sin(\omega_n(t - \tau_s) + \varphi_n) dt}{\Phi_{\text{сн}} \left[\int_{\tau_s} e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin^2(\omega_s t + \varphi_s) dt \right]^{1/2} \left[\sum_{\alpha} \Phi_{\text{м}}^2 e^{-2i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin^2(\omega_n t + \varphi_n) dt \right]^{1/2}} \quad (15)$$

Из (15) следует, что коэффициент взаимной корреляции сигнала и синхронных помех определяется лишь составляющей П с частотой, равной частоте сигнала, и с временным сдвигом τ_s , равным τ_s . Исходя из этого, (15) можно записать как:

$$K_{\text{сн}} = \frac{\int_{\tau_s} e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin(\omega_s t - \tau + \varphi_s) \sin(\omega_n t + \varphi_n) dt}{\left[\int_{\tau_s} e^{-2i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin^2(\omega_s t + \varphi_s) dt \right]^{1/2} \int_{\tau_s} e^{-2i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} dt} \quad (16)$$

После преобразования тригонометрических $[\sin^2(\omega_s t + \varphi_n) dt]^{1/2}$ функций, пренебрегая членами $(\omega_s + \omega_n)t$, получим приближенно:

$$K_{\text{сн}} \approx \frac{1}{2} \frac{\cos(\varphi_s - \varphi_n)}{(\alpha + \beta) R_0^{1/2} R_n^{1/2}} \left[e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} - e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \right]. \quad (17)$$

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности увеличения отношения сигнал/шум в (9) путем генерации источником первичной сейсмической волны на частоте ожидаемого полезного сигнала. В этом случае коэффициент взаимной корреляции сигнала и СП будет минимальным, а отношение С/П+шум в (9) максимальным, зависящим от разности фаз сигнала и помех.

Далее рассмотрим особенности формирования оптимального зондирующего сигнала излучения при одновременной оптимизации передаточной функции приемника, определяемой алгоритмами первичной обработки принятого сигнала на выходе сейсмоприемника.

Решение задачи можно получить путем минимизации следующего функционала в частотной области [2]:

$$J = \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I^2(j\omega) \Phi_{\text{н}}^2(\omega) V^2(j\omega) d\omega + \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{\text{м}}^2(\omega) V^2(j\omega) d\omega \rightarrow \min, \quad (18)$$

$$\text{при ограничениях } \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I(j\omega) V^*(j\omega) \Phi_{\text{с}}^*(j\omega) e^{-j\omega t_0} d\omega = D = \text{const}, \quad (19)$$

$$\frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I^2(j\omega) d\omega = P_{\text{с}} = \text{const}, \quad (20)$$

где $I(j\omega)$ – спектральная характеристика ЗС; $\Phi_{\text{с}}^2(\omega)$, $\Phi_{\text{н}}^2(\omega)$, $\Phi_{\text{м}}^2(\omega)$ – энергетические спектры сигнала, синхронной и шумовой помех соответственно; $[0; T]$ – интервал наблюдения сигнала; t_0 – время его задержки на выходе приемника; $V(j\omega)$, $V^*(j\omega)$ – основная и сопряженная передаточные функции приемника; D – амплитуда сигнала на выходе приемника; $P_{\text{с}}$ – средняя мощность ЗС.

В [2] была найдена оптимальная пара ЗС – приемник в следующем виде:

$$I_{\text{опт}}^2(j\omega) = \frac{T \Phi_{\text{м}}^2(\omega)}{2M \Phi_{\text{н}}^2(\omega)} \left[\sqrt{\frac{T \Phi_{\text{с}}^2(j\omega)}{\Phi_{\text{м}}^2(\omega)} - 2M} \right], \quad (21)$$

$$V_{\text{опт}}^2(j\omega) = \frac{\lambda_1^2 M T}{2 \Phi_{\text{н}}^2(\omega)} \left[\sqrt{\frac{T \Phi_{\text{с}}^2(j\omega)}{\Phi_{\text{м}}^2(\omega)} - 2M} \right], \quad (22)$$

$$M = \frac{1}{4\pi(1+\nu)} \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{\frac{T \Phi_{\text{с}}^2 \Phi_{\text{с}}^2}{\Phi_{\text{н}}^2 P_{\text{с}}}} d\omega; \quad (23)$$

$$\lambda_1^2 = \frac{\lambda_2}{M^2}, \quad (24)$$

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

$$\lambda_2 = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V^2(j\omega) \Phi_m^2(\omega) d\omega}{\frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I^2(j\omega) d\omega} = \frac{P_m}{P_n} \quad (25)$$

$$\nu = \frac{T}{2\pi P_n} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi_m^2(\omega)}{\Phi_n^2(\omega)} d\omega$$

– нормированный коэффициент мощности по ЗС, оценивающий отношение мощностей шумовых и синхронных помех на входе приемника; P_m – мощность шума на выходе приемника.

Из анализа (11) следует, что оптимальный ЗС должен иметь энергетический спектр, обратный энергетическому спектру П и прямо пропорциональный корню квадратному из энергетического спектра шумов, поскольку

$$M \ll \sqrt{\frac{T\Phi_n^2(j\omega)}{\Phi_m^2(\omega)}}$$

Таким образом энергетический спектр П решающим образом влияет на форму оптимального ЗС. При этом передаточная функция приемника определяется как формой энергетического спектра П, так и шумов в обратной зависимости.

Временная форма зависимости оптимального ЗС и оптимальной импульсной характеристики приемника может быть получена обратным преобразованием Фурье из выражений:

$$I(j\omega) = \frac{\lambda_1 T \Phi_c^*(j\omega) V^*(j\omega) e^{-j\omega t_0}}{2(\Phi_n^2(\omega) V^2(j\omega) + \lambda_2)}$$

$$V(j\omega) = \frac{\lambda_1 T \Phi_c^*(j\omega) I^*(j\omega) e^{-j\omega}}{2[\Phi_n^2(\omega) I^2(j\omega) + \Phi_m^2 T]} \quad (26)$$

Отношение мгновенного значения мощности сигнала в момент времени t_0 к средней мощности синхронных помех и шумов на выходе приемника:

$$q = \frac{\left[\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} I V^* \Phi_c e^{j\omega(t-t_0)} d\omega \right]}{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} I^2 V^2 \Phi_n^2 d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_m^2 V^2 d\omega} \quad (27)$$

Подстановка (25) и (26) позволяет получить верхнюю границу q при использовании оптимальной пары $I_{opt}(j\omega), V_{opt}(j\omega)$:

$$q_{opt} = \frac{T}{\pi(1+\nu)} \int_0^{\infty} \frac{\Phi_c^2(j\omega)}{\Phi_n^2(\omega)} d\omega \quad (28)$$

Таким образом, при сопоставимости энергий П и шумов целесообразна одновременная оптимизация пары ЗС-приемник.

При $\nu \ll 1$, т.е. в пренебрежении шумами по сравнению с П, выражение (28) еще раз подтверждает вывод о том, что отношение сигнал/СП зависит лишь от вида частотных характеристик полезных сигналов и синхронных помех и не зависит от мощности источника возбуждения. Это безусловно относится к вибрационным источникам сейсмических колебаний, для которых энергия излучаемого сигнала за время Т много больше энергии импульсного источника $\mathcal{E}_s \gg \mathcal{E}_a$, где

$$\mathcal{E}_s = P_s T; \quad \mathcal{E}_a = P_a \tau_a \quad (29)$$

P_s – мощность вибрационного источника; P_a – мощность импульсного источника; τ_a – длительность импульса; Т – время частотной развертки вибрационного источника.

Например, для вибрационного источника среднее значение энергии воздействия при $P_s \approx 10$ т, Т=10 с равно $\mathcal{E}_s = 100$ т. Для импульсного источника: $P_a = 100$ т, $\tau_a = 5$ мс, получаем $\mathcal{E}_a = 0,5$ т.с.

В то же время, по данным сравнительных полевых испытаний оба вида источника дают примерно одинаковые геофизические результаты по глубинности и отношению сигнал/помеха.

Этот парадокс не нашел объяснение в научной печати, хотя оба вида технологий используются в геофизической практике. Причем вибрационная разведка по объему полевых работ во всем мире существенно превышает объемы работ с импульсными источниками, используемыми в основном в России. Таким образом, требуется адекватное научное объяснение указанного экспериментального факта. На наш взгляд, большой энергетический запас вибрационных источников связан с необходимостью работать в условиях высокого уровня промышленных помех, некоррелированных с ЗС шумов, микросейсм и пр.

Для вибрационных машин постановка проблемы энергетической оптимизации также имеет смысл, поскольку, управление энергетическим спектром возбуждаемых сейсмических волн позволяет в ряде специфических задач существенно поднять отношение сигнал/помеха.

В работе [3] показана возможность частотного зондирования с использованием группы импульсных источников путем их поочередного возбуждения с периодом повторения равным периоду ожидаемой частоте отклика георазреза. В [4] изложены первые полевые результаты применения этого режима, подтверждающие его целесообразность.

Техническая реализация предельного отношения С/П+Ш (28) возможна путем разработки импульсного невзрывного источника специальной, «зеркальной» по отношению к ожидаемому полезному сигналу, формы, с фазой возбуждения, противоположной фазе используемых сегодня ИНИ, что не является три-

виальным.

Более простым решением является излучение сигнала путем повтора ударов ИНИ и согласованной обработки его в приемнике, являющейся сегодня в сейсморазведке штатной процедурой. В этом случае отношение (28) можно записать в виде:

$$q_{opt} = \frac{1}{\pi \left(1 + \frac{\nu}{n}\right)} \int_0^\infty \frac{\Phi_c^2(j\omega)}{\Phi_n^2(j\omega)} d\omega \quad (30)$$

где n – число ударов. Критерием оптимального числа ударов является отношение $\frac{\nu}{n} \ll 1$. При этом некоррелированными шумами можно пренебречь по сравнению с синхронными помехами. Минимизация коэффициента взаимной корреляции (17) путем реализации режима последовательного возбуждения группы ИНИ, описанного в [3, 4], и согласованная обработка в приемнике дают дополнительную возможность достичь предела (30) при $\nu \ll 1$.

При работе с вибрационными источниками, если не использовать режим пассивной паузы, вряд ли возможно оперативно оценить минимальное число активных воздействий n и оптимизировать отношение ν/n . В этом смысле преимущество за импульсными источниками, позволяющими оперативно управлять режимами их работы, производить их группирование, управлять диаграммой направленности и т.п.

Выводы

1. Рассмотрена задача оптимизации формы зондирующего сигнала (ЗС) импульсного невзрывного сейсмического источника и пары ЗС-приемник по критерию отношения мощностей сигнала и синхронной помехи плюс шум на входе и выходе сейсмоприемника и определен потенциально достижимый предел этого отношения.

2. При существенном превышении мощности помех над шумом предельное отношение сигнал/помеха плюс шум не зависит от мощности источника и определяется лишь усредненным по частоте отношением мощностей полезного сигнала и помех.

3. При малом отношении помеха/шум более простым вариантом максимизации отношения С/Ш является согласованная обработка сигналов в приемнике. И наоборот, в случае существенного превышения энергии синхронной помехи над шумом, целесообразно управление формой ЗС, например, путем управления частотой излучения группы импульсных источников, включаемых последовательно с временем задержки, соответствующем периоду повторения центральной частоты полезного сигнала.

Литература

1. Детков В.А., Шайдулов Г.Я. О возможности адаптивного управления импульсными невзрывными источниками. Приборы и системы разведочной геофизики. №4. 2007. С.14-16.
2. Шайдулов Г.Я., Импульсные электромагнитные системы поиска. Красноярск. КГТУ. 1999. 320 с.
3. Детков В.А., Шайдулов Г.Я. Частотно-импульсный режим возбуждения сейсмических волн группой импульсных невзрывных источников. Приборы и системы разведочной геофизики. №4. 2007. С.11-13.
4. Детков В.А., Шайдулов Г.Я. Некоторые результаты экспериментальных работ по управлению параметрами излучения импульсных невзрывных источников «Енисей». Приборы и системы разведочной геофизики. №3. 2009. С.27-30.



Саратов / 7 -9 сентября / 2010

Встречи на Волге



СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Соблюдая добрую традицию, ОАО «СКБ СП» и Саратовское региональное отделение МОО «ЕАГО» приглашают коллег и друзей принять участие в научно-практической конференции «ГЕОТЕХ-2010», которая состоится 07-09 сентября 2010 г. в Саратове.

Программа конференции предусматривает проведение пленарного заседания, заседаний по секциям и выставки геофизической аппаратуры. Участники конференции получают возможность обменяться мнениями, обсудить результаты и перспективы использования последних разработок и новинок техники, технологии, программного обеспечения и методик выполнения сейсморазведочных работ.

В планах культурной программы знакомство с достопримечательностями Саратова и прогулка на теплоходе по Волге.

Участие в конференции платное. Счет на перечисление целевого взноса за участие в конференции будет выставлен после получения предварительной заявки на участие.

Заявки на участие просим направлять в оргкомитет конференции по факсу (8452) 64-14-32; (8452) 27-21-01 или по электронной почте - turlov@skbsp.ru, в свободной форме на бланке предприятия с указанием: Ф.И.О. участника конференции; должности; темы сообщения; размера площади на выставке и необходимого оснащения; типа номера в гостинице для бронирования; необходимости встречи на вокзале или в аэропорту.

**Уважаемые коллеги и друзья,
до встречи на Волжских берегах!**

Оргкомитет

Контактный тел.: (8452) 64-14-32; 570-505
Факс: (8452) 64-14-32; 27-21-01
e-mail: turlov@skbsp.ru