

Испытания прототипа отечественного вибросейсмического комплекса

- Афанасенков А.П., Зарипов С.М., Онгемах Э.Г., Череповский А.В., АО «Росгеология», г. Москва
- Жуков А.П., Горбунов В.С., ООО «НПП «Спецгеофизика», г. Москва
- Гурьев С.В., Юров А.А., ООО «Фирма «Геосейс», г. Москва

Описаны полевые испытания прототипа отечественного вибросейсморазведочного комплекса, призванного составить конкуренцию иностранному оборудованию не только на внутреннем российском рынке, но и на рынках стран ближнего и дальнего зарубежья. Сейсмические записи, полученные стандартной зарубежной кабельной регистрирующей системой 428XL и отечественной бескабельной регистрирующей системой «Геотом», характеризуются полной идентичностью, что позволяет комбинировать разное сейсмоприёмное оборудование на одной площади или объединять соседние кубы данных на этапе их обработки и интерпретации.

Прошло несколько десятков лет с тех пор, как отечественные разработки в области сейсморазведочного (и вообще геофизического) оборудования доминировали на внутреннем рынке нашей страны, а отдельные серийные образцы поставлялись за рубеж, где пользовались заслуженной популярностью. Современное состояние внутреннего рынка сейсморазведочного оборудования таково, что доля отечественных производителей многократно снизилась и теперь колеблется от 1-2% до 10-15% в зависимости от вида оборудования.

Таким образом, в настоящее время на российском геолого-геофизическом рынке наблюдается тотальная зависимость от импортного оборудования и комплектующих. Главная проблема такой зависимости заключается в геополитических рисках. Участились случаи, когда поставка комплектующих американского производства оказывается невозможной из-за торговых-экономических санкций. В последние два года обозначилась еще одна проблема – пандемия коронавируса, которая влечёт за собой существенное увеличение времени поставок импортных запасных частей, что создаёт угрозу срыва сейсморазведочных работ на отдельных

площадях. Фактически, отечественная геологоразведка оказалась заложником указанных обстоятельств.

Летом 2020 года руководство АО «Росгеология» выступило с инициативой импортозамещения в области сейсморазведки путем создания отечественного вибросейсморазведочного комплекса, призванного составить конкуренцию иностранному оборудованию не только на внутреннем рынке, но и на рынках стран ближнего и дальнего зарубежья. Было принято решение, что в состав единого комплекса должно входить оборудование полного цикла сейсморазведочных работ вибрационным способом: 1) вибрационные источники упругих колебаний, 2) система синхронизации вибрационных источников и их управления, 3) система регистрации сейсмических данных. Составляющие нового вибросейсморазведочного комплекса должны быть хорошо интегрированы для его устойчивой и безотказной работы в любых поверхностных и климатических условиях, а также предоставить альтернативное аппаратное решение отечественным сервисным компаниям.

Разработчиками нового вибросейсморазведочного комплекса под эгидой АО «Росгеология» выступили следующие

производители отечественного оборудования: АО «Геосвип», ООО «НПП «Спецгеофизика», ООО «Фирма «Геосейс». Кроме разработки самого виброрейсморазведочного комплекса перед участниками проекта была поставлена еще одна важная задача: увеличить степень локализации комплектующих для производимого в России оборудования. Иными словами, необходимо свести к минимуму количество элементов, поставляемых иностранными производителями, но не в ущерб качеству всего комплекса.

В октябре 2020 г. на производственном полигоне компании АО «Геосвип» в г.Кимры участники описываемого проекта представили свои разработки. Там же были проведены демонстрационные испытания прототипа нового российского сейсморазведочного комплекса.

Вибрационный источник. Для проведения испытаний компания АО «Геосвип» предоставила модифицированный гусеничный виброисточник СВС-30-М1 (Рис.1). в этой модели модификации подверглись многие механические и

гидравлические узлы. В возбудителе вибрации применена более тяжелая реактивная масса. Вес виброисточника увеличен до 32 тонн (пиковое усилие – 300,6 кН, усилие прижима – 30 тонн). Кроме того, увеличен общий объем гидроаккумуляторов за счет дополнительных гидроаккумуляторов, смонтированных непосредственно на реактивной массе. Эти нововведения обеспечивают более эффективную работу виброисточника на самых низких частотах, начиная от 1–2 Гц, и выход на полную мощность, начиная с 5 Гц.

Система управления. На модифицированный вибрационный источник СВС-30-М1 установлена уже зарекомендовавшая себя отечественная система управления GDS-II производства ООО «НПП «Спецгеофизика» (Рис.2). Эта простая и надежная система управления виброисточниками является универсальной – шифратор и дешифратор расположены в одном устройстве. При разработке новой модификации GDS-II удалось уменьшить количество элементов в блоке управле-

▼ Рис.1. Вибрационный источник сейсмических сигналов СВС-30-М1 (АО «Геосвип»).



ния за счет «переноса» некоторых функций в область программного обеспечения устройства, что позволило повысить его надежность и уменьшить себестоимость. Обновленная система управления GDS-II не имеет аналогов по математическому обеспечению, функционалу и производительности.

Блок управления GDS-II совместим с любыми отечественными и импортными виброисточниками, с телеметрическими кабельными и бескабельными системами регистрации, оснащен всеми современными средствами коммуникации, включая встроенные приёмники глобальных навигационных спутниковых систем GPS и/или GLONASS.

Главной отличительной особенностью обновленной системы управления GDS-II является то, что в ней предусмотрена реализация высокопроизводительных методик сейсморазведочных работ при непрерывной регистрации данных, а также методик повышения качества и

информативности сейсмических данных, разработанных в ООО «НПП «Спецгеофизика» (АВИСейс®, BROADSWEEP®, Q-sweep®, Shuffle®). Кроме того, геофизик-оператор имеет возможность задавать любую форму управляющего вибрационного сигнала. Также в блоке управления производится запись сигналов вибратора на USB-flash для специальной обработки и контроля качества.

Использование системы управления GDS-II позволит повысить устойчивость работы всех составляющих разрабатываемого вибросейсморазведочного комплекса.

Регистрирующая система. В разрабатываемом вибросейсморазведочном комплексе регистрация сейсмических данных обеспечивается отечественными одноканальными бескабельными модулями «Геотом» (Рис.3) производства компании «Геосейс». «Геотом» – это

▼ Рис.2. Блок управления сейсмическими вибраторами GDS-II (ООО «НПП «Спецгеофизика»).



▼ Рис.3. Модуль бескабельной регистрирующей системы «Геотом» при полевых испытаниях в условиях Сибири.



#	Технические характеристики бескабельной системы «Геотом»	Значения
1	Температурный диапазон	-40 .. +50 градусов
2	Динамический диапазон записи, дБ	126
3	Время работы, непрерывно (в режиме 12 часов работа / 12 часов перерыв), в днях	До 90 (до 180)
4	Период квантования, мс	0.5, 1, 2, 4
5	Временная синхронизация и определение местоположения каналов	GLONASS/GPS/GALILEO
6	Точность временной синхронизации, мкс	1
7	Среднекв. точность определения местоположения (открытое пространство), см	< 10
8	Контроль и управление сейсморегистрирующими каналами	По радиоканалу
9	Передача данных	По радиоканалу и оптическому каналу при установке в модуль сбора данных
10	Совместимость	Все типы сейсмоисточников: импульсные, вибрационные, взрывные, пневмо
11	Контролируемые параметры	Температура, заряд источников питания, уровень микросейсм, настройки параметров записи, состояние записи сейсмических данных, состояние записи навигационных данных.
12	Изменяемые параметры	Частота дискретизации, усиление, настройка режимов работы/энергосбережения, режимы определения местоположения
13	Вес, кг	1.5-1.6 кг
14	Периодичность передачи статусов	1-2 мин

инновационная регистрирующая система, разработанная с целью получения сейсморазведочных данных высокого качества не только при повышенной, но и при стандартной плотности наблюдений.

Испытания опытных образцов бескабельной системы «Геотом» подтвердили достижение заложенных на этапе проектирования показателей. Это точность определения координат бескабельных модулей; дальность, скорость и устойчивость передачи данных по радио; динамический диапазон регистрирующих

каналов; длительность работы встроенных батарей и т.д. Также успешно опробована совместимость с различными системами синхронизации (в т.ч. GDS), различными типами сейсмических источников (таких как вибрационные источники компании «Геосвип» и импульсные источники «Геотон» компании «Геосейс»).

Чтобы гарантировать качество записываемых сейсмических данных и отсутствие потерь данных (например, по причине разрядки встроенных аккумуля-

торов), модули «Геотом» сообщают центральной станции свое состояние не реже 1 раза в 2 минуты после установки на профиле. Модули «Геотом» обладают низким энергопотреблением, и в течение 6 месяцев – всего сезона сейсморазведочных работ при температуре до -40°C – не требуют периодической доставки в полевой лагерь для замены и подзарядки элементов питания. Таким образом, современная бескабельная система «Геотом» разработана с учетом реальных условий выполнения сейсморазведочных работ на территории РФ.

Демонстрационные испытания. В октябре прошлого года на полигоне АО «Геосвип» в г.Кимры прошли демонстрационные испытания отечественного вибросейсморазведочного комплекса полного цикла. Для выполнения опытных работ 2D было использовано следующее оборудование: вибрационный источник сейсмических сигналов CBC-30-M1 производства АО «Геосвип», блок управления виброисточником GDS-II производства ООО «НПП «Спецгеофизика», бескабельная система «Геотом» разработки компании «Геосейс» (21 модуль), кабельная телеметрическая система ведущего мирового производителя (21 канал), одиночные низкочастотные высокочувствительные сейсмоприемники SG-5 (21 шт.).

Цель опытных работ заключалась в проверке работоспособности разрабатываемого комплекса и взаимодействия его основных частей: вибрационный источник сейсмических сигналов – система синхронизации виброисточников – регистрирующий канал. Важными задачами опытных работ были тестирование модернизированной конструкции возбуждателя вибрации виброисточника, анализ его характеристик и оценка идентичности сейсмических записей для двух

регистрирующих систем, а также подтверждение функционала бескабельной регистрирующей системы «Геотом» и выявление недоработок с целью их дальнейшего устранения.

Для полевых испытаний была выставлена фиксированная активная расстановка 2D, которая состояла из 21 пункта приема с шагом 2,5 м, то есть база активной расстановки составила 50 м. Линия возбуждения была расположена параллельно линии приема на удалении 50 м, где было расположено 4 пункта возбуждения с шагом 150 м.

Для тестирования предлагаемого вибросейсморазведочного комплекса был выбран свип-сигнал с линейной разверткой и длительностью 12 с. Были опробованы следующие начальные частоты развертки по порядку: 8 Гц, 6 Гц, 4 Гц, 2 Гц. Конечная частота свип-сигнала была принята равной 128 Гц. Мощность излучения варьировалась от 50% до 80% от усилия прижима. Также был опробован нелинейный свип-сигнал с упором на возбуждение очень низких частот.

Сейсмические данные в процессе демонстрационных работ параллельно записывались двумя видами систем регистрации: бескабельной системой «Геотом» и стандартной кабельной телеметрической системой.

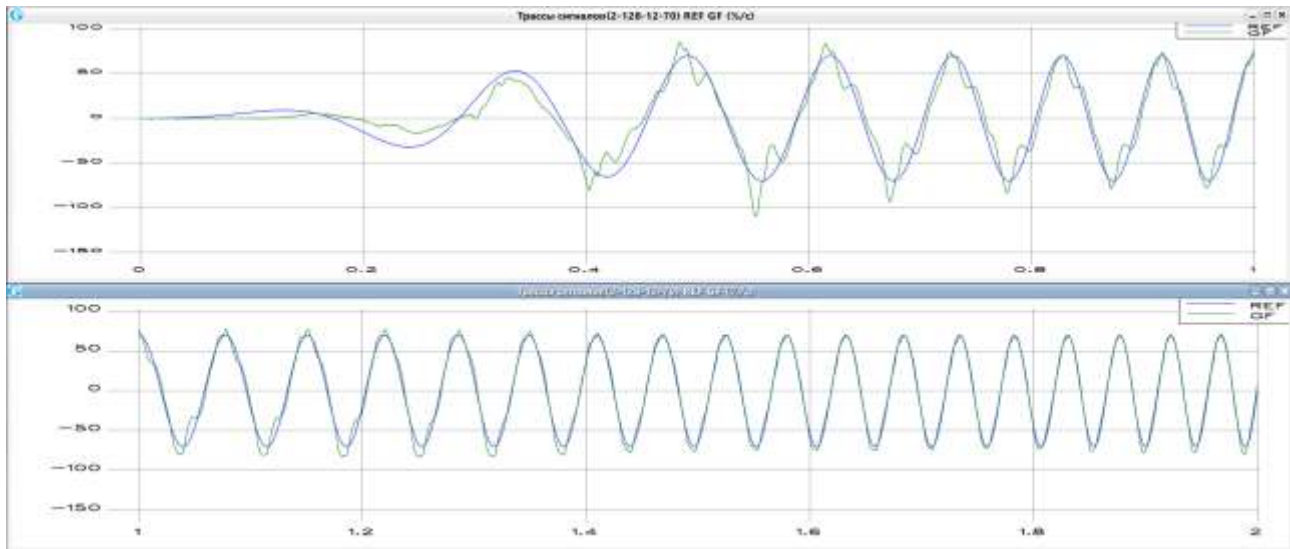
Параллельная регистрация производилась одиночными приёмниками SG-5 с собственной частотой 5 Гц. Для последующей корреляции записанных виброграмм, управляющий сигнал записывался на служебный канал обеих систем регистрации, подключенных к блоку управления GDS-II. Всего было записано 32 виброграммы, по 4 записи в прямом и обратном проходе на каждую точку возбуждения. Сбор данных с беспроводных модулей происходил по радиоканалу в процессе опытных работ.

Оценка работы виброисточника СВС-30-М1. В результате модернизации гидравлической системы и других узлов виброисточника было обеспечено улучшение его характеристик с низкими начальными частотами. Была продемонстрирована возможность возбуждения свип-сигналов, начиная с частот 2 и 4 Гц.

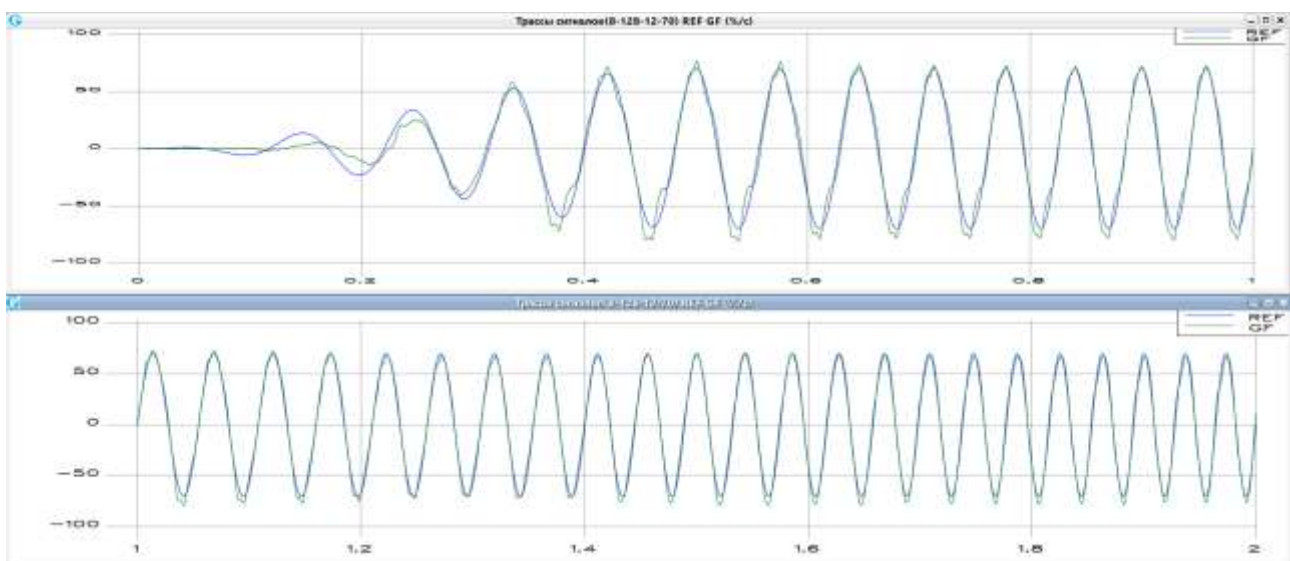
Разумеется, искажения сигнала увеличиваются с уменьшением начальной частоты, что связано с особенностями работы гидравлической системы виброисточника: ход реактивной массы на низких частотах большой, а скорость перемещения массы невелика. Чтобы реактивная масса перемещалась плавно,

без рывков и провалов, необходим запас по гидравлическому усилию. Гидравлическое усилие на виброисточниках ограничивается мощностью дизеля и производительностью вибрационного насоса. Чем больше объем гидроаккумуляторов, тем меньше пульсации в гидравлической системе. Разница формы между электрическим сигналом (REF) и толкающим усилием (GF) будет всегда отчетливее наблюдаться при уменьшении начальной частоты свип-сигнала, то есть с уменьшением частоты увеличиваются искажения, как показано на рисунках 4 и 5.

▼ Рис.4. Форма начальной части свип-сигнала при развертке с 8 Гц.



▼ Рис.5. Форма начальной части свип-сигнала при развертке с 2 Гц.



Блок управления задает и удерживает в заданных пределах мощность излучения источника при помощи гидравлической системы. Принято считать, что отклонение от заданной мощности не должно превышать 5%. Однако при начальной частоте свип-сигнала 2 Гц происходит небольшой «завал» мощности на 70% и выше. Как известно, если требуется возбуждать свип-сигналы с пониженной начальной частотой, следует применять специальные нелинейные развертки типа Low-Dwell или BROADSWEEP.

Параметр «нелинейные искажения» показывает, на сколько процентов отличается толкающее усилие (GF) от управляющего сигнала (REF). Принято считать, что приемлемые допуски по пиковым нелинейным искажениям составляют 35%, а по средним – не более 25%. В процессе тестирования виброисточника СВС-30-М1 только при развертке с 2 Гц пиковые нелинейные искажения превысили 35%, а в остальных случаях значения нелинейных искажений находились в допустимых пределах.

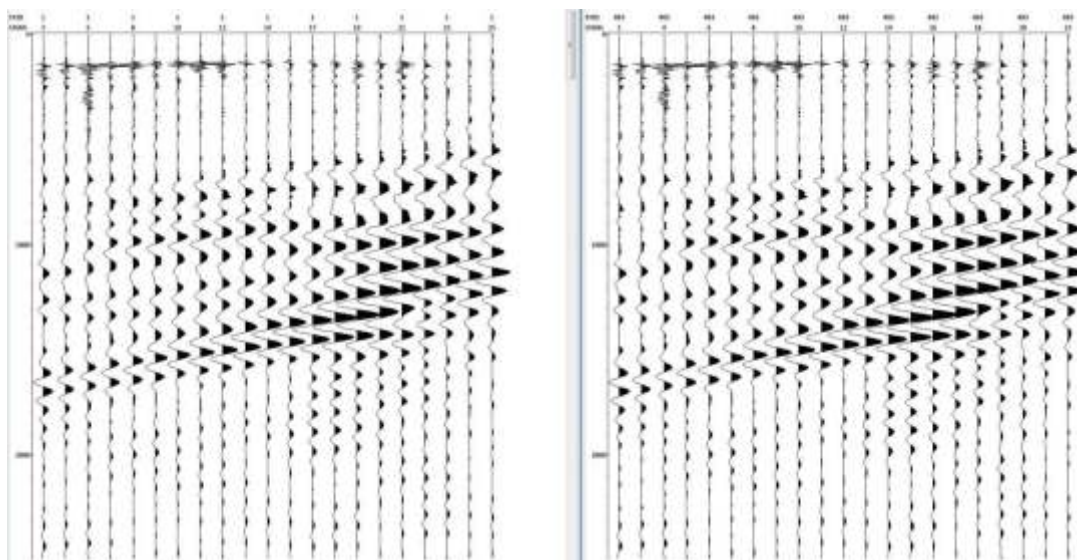
Кроме стандартных свип-сигналов (длительностью 12 с) были опробованы и длинные свип-сигналы (длительностью

48 и 64 с) при частотном диапазоне 4–128 Гц на мощности 70%. Все упомянутые выше основные характеристики виброисточника СВС-30-М1 оставались в допустимых пределах.

В ходе испытаний было установлено, что модернизированный источник СВС-30-М1 может уверенно работать на мягком грунте с начальной частоты 4 Гц, в то время как более ранние модели виброисточников СВС-24/PC27 на похожих грунтах давали большие искажения с начальной частоты 8 Гц. Планируются дальнейшие исследования на твердом грунте в разных климатических условиях для подтверждения достигнутых результатов.

Результаты демонстрационных испытаний. Вибросейсмические записи параллельно регистрировались кабельной и бескабельной системами регистрации. Использовался линейный управляющий сигнал 4–128 Гц длительностью 12 с. При визуальном анализе двух вариантов регистрации (Рис.6) разницу увидеть невозможно; коэффициент взаимной корреляции между соответствующими каналами составил 0,999597. Это говорит

▼ Рис.6. Сейсмограммы, записанные бескабельной системой «Геотом» (слева) и кабельной телеметрической системой (справа). Предоставлено компанией «Геосейс».



о том, что полученные записи практически идентичны.

Заключение. Полевые испытания отечественного вибросейсморазведочного комплекса продемонстрировали работоспособность его составляющих и подтвердили целесообразность дальнейших конструкторских разработок и совершенствования комплекса. Показано, что отдельные системы, составляющие комплекс, интегрируются друг с другом и работают вместе согласованно, не уступая зарубежным системам в качестве получаемых сейсмических данных.

Усовершенствованный вибрационный источник СВС-30-М1 производства АО «Геосвип» обладает повышенной эффективностью возбуждения сигнала на низких частотах, начиная с 2 Гц.

Обновленная система управления GDS-II позволяет реализовывать высокопроизводительные методики сейсморазведочных работ при непрерывной регистрации данных, а также методики, разработанные в ООО «НПП «Спецгеофизика» и обеспечивающие повышение качества и информативности сейсмических данных.

Сейсмические записи, полученные стандартной зарубежной кабельной регистрирующей системой и отечественной бескабельной регистрирующей системой «Геотом», характеризуются полной идентичностью, что позволяет комбинировать разное сейсмоприёмное оборудование на одной площади работ (в зависимости от поверхностных условий или предпочтений подрядчика) и на этапе обработки данных объединять соседние кубы данных.

Подробнее об авторах



Афанасенков
Александр Петрович
Первый заместитель
Генерального директора
АО «Росгеология» -
руководитель
производственного
блока, доктор геол.-мин.
наук.

Область интересов:
геологоразведочные
работы на нефть и газ,
геолого-геофизическая
интерпретация.
Автор и соавтор 70 статей,
2 книг, 45 докладов
на научно-практических
конференциях
и учебного курса.



Зарипов
Салават Миясарович
Вице-президент,
Директор по геофизическим
работам АО «Росгеология».
Область интересов:
геологоразведочные
работы на нефть и газ,
наземные и скважинные
сейсморазведочные
исследования,
аппаратура и методика
сейсморазведочных работ.



Онгемах
Эдмунд Гарриевич
Генеральный директор
АО «Геосвип»,
АО «Росгеология».
Эксперт по промысловой
и наземной геофизике.
Область интересов:
аппаратура для промысловой
геофизики, вибросейсмо-
разведки; геофизическое
приборостроение и машино-
строение. Автор и соавтор
3 научных работ.



Череповский
Анатолий Викторович
Советник Первого
заместителя Ген. директора
АО «Росгеология»,
кандидат техн. наук.
Область интересов:
аппаратура и методика
сейсморазведочных работ.
Автор и соавтор 40 научных
публикаций и докладов,
2 монографий по наземной
сейсморазведке
и англо-русского словаря
по прикладной геофизике.
Автор образовательного
курса лекций ЕАГЕ.



Гурьев
Сергей Владимирович
Генеральный директор
ООО «Фирма «Геосейс».
Область интересов:
сейсмомониторинг
месторождений,
экологосберегающие
технологии сейсморазведки,
новое оборудование.
Автор и соавтор 10 статей,
5 докладов на
научно-практических
конференциях,
соавтор 3 патентов.



Жуков
Александр Петрович
Главный научный сотрудник
ООО "НПП "СПЕЦГЕОФИЗИКА",
доктор техн. наук,
профессор геологического
факультета МГУ
им.М.В.Ломоносова.
Область интересов:
геофизические методы
поисков полезных
ископаемых. Автор
и соавтор 9 монографий,
70 научных статей,
35 докладов на конферен-
циях, 12 патентов.



Юров
Антон Александрович
Главный геофизик
ООО «Фирма «Геосейс».
Область интересов:
сейсмомониторинг
месторождений,
экологосберегающие
технологии сейсморазведки,
новое оборудование.
Автор и соавтор 12 статей,
10 докладов на
научно-практических
конференциях,
соавтор учебного курса.



Горбунов
Виктор Сергеевич
Зам. генерального
директора по стратегичес-
кому развитию
ООО "НПП "СПЕЦГЕОФИЗИКА".
Область интересов:
геофизические методы
поисков полезных ископаемых.
Автор 4 научных статей.
Ведущий курса
доп. профессионального
образования.