УДК 552.08

Б.Ю. Хайруллин
канд. техн. наук
Заслуженный изобретатель РФ
НПП СибБурМаш
генеральный директор
Khairullin_BU@sibburmash.ru

В.Г. Мамяшев
канд. геол.–мин. наук
НПЦ Тюменьгеофизика
директор
tmngeofiz@mail.ru

Е.А. Романов
канд. геол.–мин. наук
ООО «Корэтест Сервис»
генеральный директор
romanovea@gmail.com

В.В. Федорцов
ЗАО «СИБКОР»
директор
sibcore@yandex.ru

Инновационные технологии бурения с отбором и анализом керна повышенной информативности

В статье представлены теоретические и практические результаты инновационных разработок тюменских предприятий НПП «СибБурМаш, НПЦ «Тюменьгеофизика» и ЗАО «СИБКОР» в области бурения с отбором и анализом керна повышенной информативности, в т.ч. изолированного. Рассмотрены проблемы отбора керна из отложений баженовской и абалакской свит в Тюменской области

This article covers the theoretical and practical results of the innovating solutions in recover and analysis of the core providing improved information on rock properties, including low invasion coring, which were made by a number of Tyumen coring-related companies such as the "SibBurMash" Research and Development Enterprise, the "TYUMENGEOFIZIKA" Research and Development Center, and the "Sibcore" Closed Joint-Stock Company. In addition, the problem of coring in the formations of Bazhenovskaya and Abalakskaya deposits in Tyumen Region is highlighted in this article

Ключевые слова: изолирующая технология; фильтрация раствора; оперативная обработка керна на скважине
Keywords: low invasion coring; invasion; on-site core processing

В начале 1980-х гг. одного из авторов этих строк, в то время – заведующего сектором конструкторского отдела – пригласил к себе директор ЗапСибНИГНИ, член-корреспондент АН СССР И.И. Нестеров и поставил задачу отбора керна из продуктивных отложений баженовской свиты на Салымском месторождении. Учитывая, что в представлении И.И. Нестерова наиболее распространенным типом пород этих отложений были баженит – чешуйчатые тонкослоистые битуминозные аргиллиты, вынос керна из которых традиционными технологиями с применением снарядов «Недра» был невозможен, а сам пласт был аномальным по давлению и температуре, необходимо было разработать технологию отбора керна с сохранением пластового давления, т.е. керна, герметизированного на забое и поднятого с сохранением термобарических параметров. Тем самым исключалось бы разрушение колонки керна выделяющимся газом и высыпание частиц горной породы из керноприемника при подъеме на поверхность.

Конструкторы и технологи справились с этой задачей, но возникла новая проблема – как исследовать на поверхности керн под давлением в сотни атмосфер через стенку стального керноприемника толщиной 10 мм? Эту проблему по заданию И.И. Нестерова пытались решать в Уральском отделении Академии наук СССР, но дальше экспериментов дело не пошло. Но зато решение первой задачи дало толчок новому направлению в отборе керна – изоляции на забое, что обеспечивало значительное повышение его информативности.

Специалисты НПП «СибБурМаш» в сотрудничестве с петрофизиками ЗАО «СИБКОР» и геофизиками НПЦ «Тюменьгеофизика», будучи основоположниками этого направления, теоретически разработали научно-методические основы отбора и анализа **изолированного керна** [1, 2] и первыми в России реализовали эти наукоемкие технологии и методики в виде сервиса на скважинах с последующей выдачей отчетов о НИР по результатам анализа. «Благодаря» баженовской свите было положено начало развитию инновационных технологий отбора керна повышенной информативности в СССР и РФ.

Суть изолирующей технологии отбора и анализа керна

Керн является основным источником и носителем информации о горных породах, но чтобы он соответствовал этому определению, необходимо:

1) исключить или минимизировать влияние техногенных факторов на керн в процессе бурения и подъема на поверхность и тем самым обеспечить максимальное соответствие керна пластовым характеристикам горных пород в интервале отбора;

2) непосредственно на скважине после подъема керна обеспечить его оперативную обработку с целью сохранения характеристик горной породы по насыщению в образцах керна на неопределенно долгое время.

Для решения первой задачи необходимо обеспечить при бурении максимальные значения качества керна по параметрам выноса, представительности и сохранности, а также минимизацию негативного влияния бурового раствора на водной основе (РВО) на керн, что привело специалистов НПП «СибБурМаш» к созданию технологии отбора изолированного керна [3], при которой сокращается время контакта керна с РВО в процессе выбуривания и исключается контакт керна с РВО при подъеме на поверхность. Этому способствует заполнение полости керноприемника перед спуском снаряда в скважину изолирующим агентом, безводной жидкостью, которая вытесняется керном противотоком при его по-

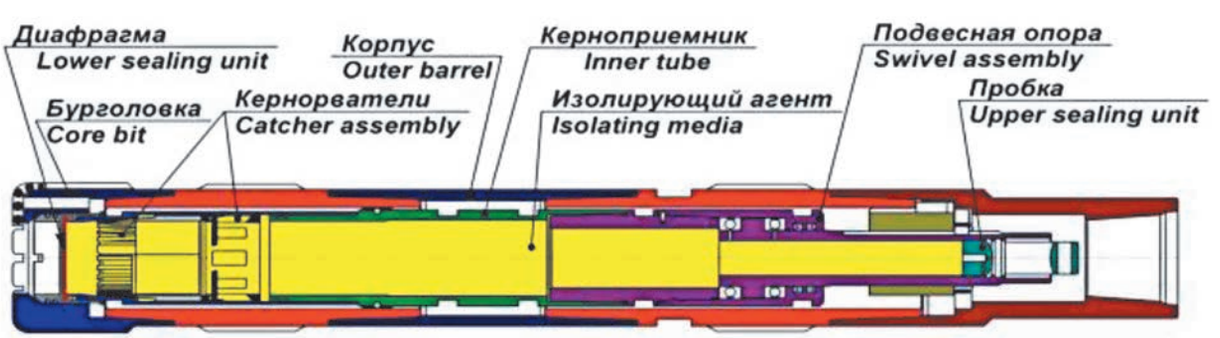


Рис. 1.
Керноотборник изолирующий (схемное решение)

СЕРВИС
И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

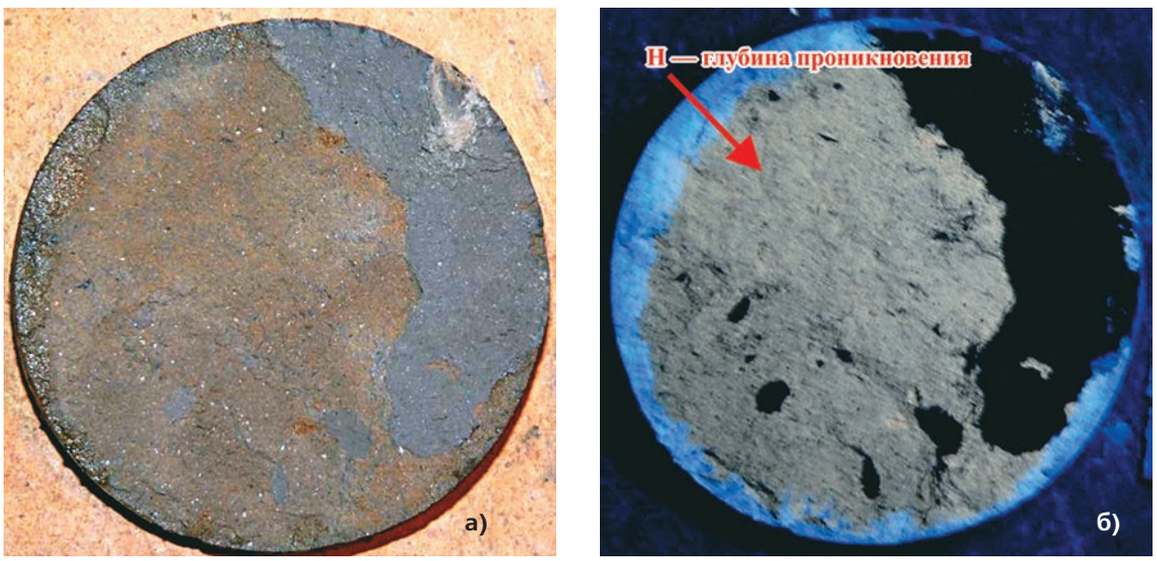
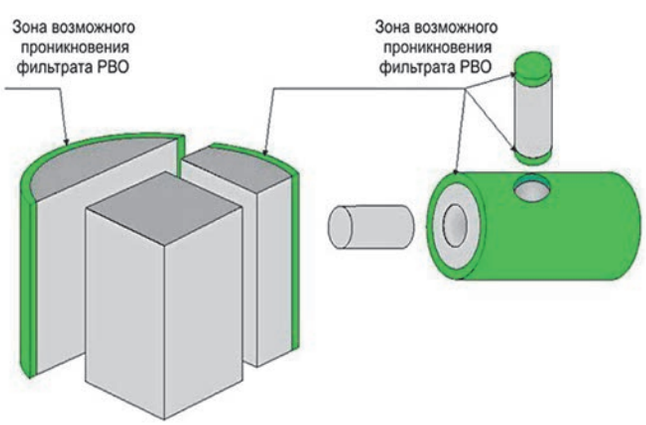


Рис. 2.
«Свежий» скол керна в дневном (а) и ультрафиолетовом (б) свете

ступлении в керноприемник, а также применение бурголовок с алмазными резцами, обеспечивающими высокую механическую скорость бурения $V_{мех}$ (***рис. 1***). Имея плотность меньше, чем у бурового раствора, изолирующий агент препятствует поступлению последнего в керноприемник при подъеме снаряда на поверхность, исключая фильтрацию РВО в керн.

При этом контакт керна с РВО происходит только во время выбуривания – на величину керноприема бурголовки, не превышающей 30–50 мм. В зависимости от $V_{мех}$, водоотдачи раствора и фильтрационно-емкостных свойств породы фильтрат РВО проникает в периферию колонки керна на глубину Н, не превышающую 5–10 мм, благодаря чему в центральной, «не загрязненной» фильтратом РВО части колонки керна может быть сохранено пластовое значение остаточной водонасыщенности $К_{во}$ даже в случае высокопористых песчаников газовых залежей сеноманского возраста Западной Сибири (***рис. 2,***). Кроме того, сохраняется пластовая минерализация поровой воды, ее химический состав, а также характер смачиваемости твердой фазы и распределения воды в поровом пространстве, причем в зависимости от объекта исследований и его состояния содержание воды в керне может варьировать от полной водонасыщенности в законтурной области, до остаточной и текущей, определяемой условиями разработки залежи.

Рис. 3.
Схема препарирования керна



В процессе подъема керноотборного снаряда на поверхность происходят изменения свойств керна и его флюидонасыщенности, обусловленные изменением термобарических условий. В частности, на глубине дегазации нефти (при давлении в скважине, меньшем давления насыщения нефти) происходит выделение растворенного газа в свободную фазу, вытесняющего из порового пространства коллекторов часть нефти.

Известна возможность выпадения смол и асфальтенов в самой нефти, а также некоторых солей в поровой воде. Однако механизм этих процессов в условиях микрокапиллярного и микропленочного распределения нефти и воды в порах отличается от такового в объемных фазах. Поэтому влияние их на характер смачивамости пород и минерализацию поровой воды предполагается несущественным.

Поскольку время подъема снаряда с керном на поверхность, транспортировки в лабораторию и хранения перед исследованиями может составить несколько суток, в поровом

пространстве керна будет происходить процесс диффузионно-капиллярного обмена флюидов между периферией и центром керна и заполнение порового пространства смесью фильтрата РВО и пластовой воды. Кроме того, произойдут изменения химического состава поровой воды и характера ее распределения в порах. Завершаются эти процессы практически полным расформированием зоны проникновения фильтрата РВО, в результате чего адекватность керна по параметру $К_{во}$ будет безвозвратно потеряна.

Поэтому для решения второй задачи, т.е. **сохранения характеристик извлеченной горной породы до начала петрофизических исследований керна**, необходимо осуществить оперативное препарирование керна (***рис. 3***), отбор и консервацию образцов с сохраненной водонасыщенностью. Контроль проникновения фильтрата РВО в керн проводится фотосъемкой свежего скола керна в дневном и ультрафиолетовом свете (***рис. 2***), а количественная оценка проникновения РВО в керн проводится по индикатору, вводимому в РВО до начала бурения с отбором керна.

Эффективность этой методики подтверждается сопоставлением результатов исследования изолированного керна, отобранного на РВО, с аналогичными результатами исследования керна, отобранного в оценочных скважинах на РУО – растворе с углеводородной основой (***рис. 4***), что делает изолированный керн аналогом оценочного керна, полученного в скважинах на безводных буровых растворах, например РУО [4].

За 20 лет работы НПП «СибБурМаш» реализовало изолированный отбор керна на 585 скважинах для 122 заказчиков в различных регионах – Республике Чукотка, Якутии, Татарстане, Коми и Удмуртии, Красноярском и Пермском краях, Иркутской, Томской, Тюменской, Новосибирской, Новгородской, Ленинградской, Саратовской, Вологодской, Оренбургской и др. областях со следующими результатами: проходка с отбором керна – 49 007 м, вынос – 47 488 м или 97%; в том числе по слабосцементированным породам – проходка с отбором керна – 14 712 м, вынос – 13 809 м или 93,8%.

Сопоставление показателей выноса керна по традиционной и изолирующей технологиям показано на ***рис. 5*** и ***6***. Данные выноса керна по традиционной технологии по РФ относятся к 1980–1990 гг., а данные по изолирующей технологии – к 1994–2014 гг. (по результатам сервисных работ НПП «СибБурМаш» за 20 лет).

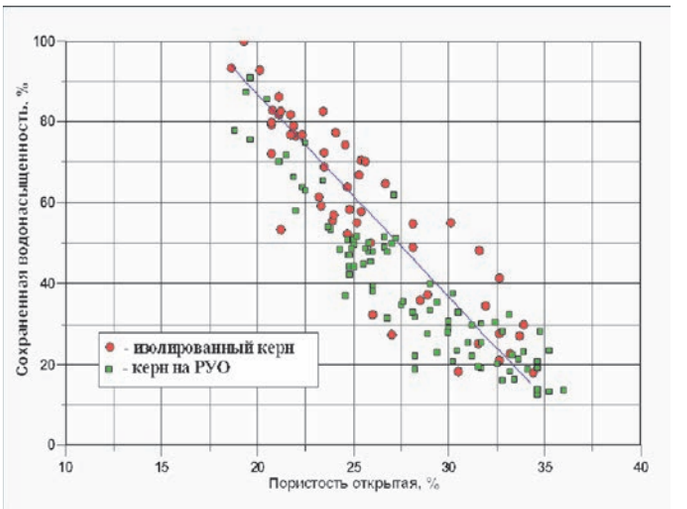
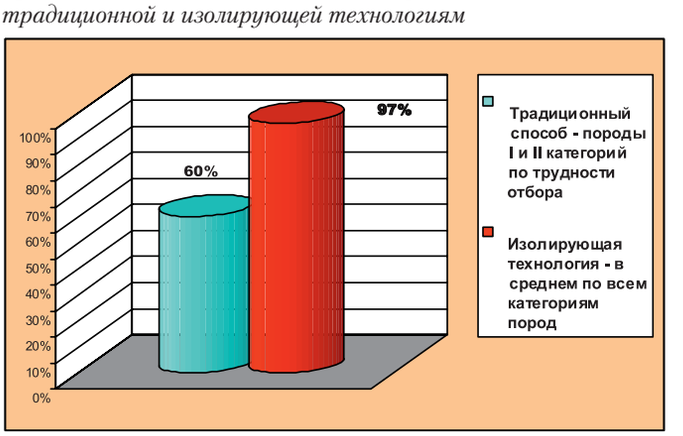


Рис. 4.
Сопоставление результатов анализа изолированного керна с керном на РУО (газовое месторождение, сеноманские отложения, пласт ПК1)

Исключение фактора воздействия РВО на изолированный керн существенно повышает сохранность керна, что позволяет значительно увеличить длину рейса. «СибБурМашу» принадлежит абсолютный рекорд отбора керна с выносом 100% за один рейс (одну спуско-подъемную операцию) в России – 78,93 м, установленный в октябре 2013 г. на одной из скважин группы Салымских месторождений, которые разрабатывает компания «*Salym Petroleum Development N.V.*». Этот результат был достигнут постепенным наращиванием длины отобранной колонки керна за один рейс со следующими показателями – 24, 36, 48, 60 и 72 м, причем во всех рейсах вынос керна составлял 100%. Гамма типоразмеров керноотборных снарядов и возможности их секционирования представлена в ***табл. 1***.

Что касается затрат на отбор изолированного керна, то в сравнении с отбором керна на

Рис. 5.
Сравнительные показатели выноса керна в России по традиционной и изолирующей технологиям



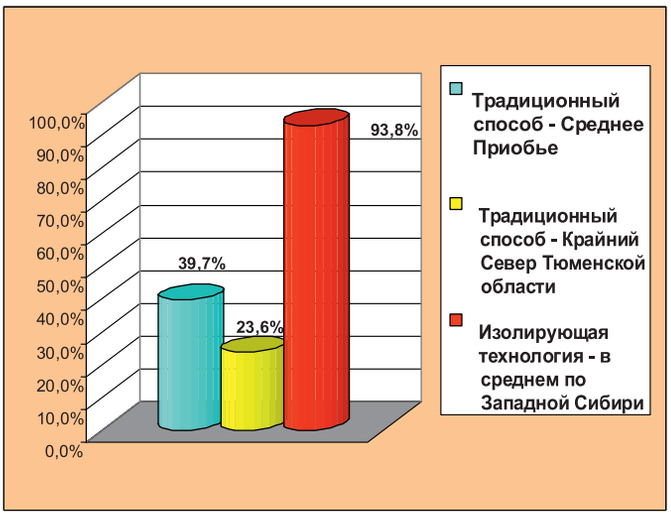


Рис. 6.
Сравнительные показатели выноса керна в России по традиционной и изолирующей технологиям из слабосцементированных и трещиноватых пород

РУО изолирующая технология обеспечивает существенную экономию средств. Первым руководителем предприятия-недропользователя, оценившего эффективность перехода на изолированный отбор керна, был генеральный директор ОАО «Сургутнефтегаз» В.Л. Богданов, который в 1996 г. при пролонгировании договора между Сургутнефтегазом и СибБурМашем поручил проектно-сметному отделу управления по бурению выполнить сравнительную оценку стоимости строительства оценочной скважины с отбором керна РУО на Русскинском месторождении и аналогичной скважины с отбором изолированного керна на штатном РВО. Экономия средств превышала 47% и в неденоминированных рублях составляла 4,326 млрд руб.

Аналогичные расчеты в ценах 2014 г., выполненные предприятием ООО «Геопроект» (Тюмень) по разведочным и оценочным скважинам на сеноман в ЯНАО и на валанжин в ХМАО, показали результаты, представленные в (***табл. 2***):

Об отборе керна из отложений баженовской и абалакской свит

Особенное значение возможности инновационных технологий отбора керна имеют при изучении сложных и нетрадиционных объектов, в которых информативность традиционных технологий геолого-геофизических исследований и получаемых данных оказывается недостаточной. Последние события в мировой нефтегазовой сфере и на нефтегазовом рынке подстегнули интерес к изучению, освоению и эксплуатации таких нетрадиционных объектов нефтегазодобычи, как собственно нефтематеринские отложения и отложения глинисто-аргиллитовых пород, способных содержать нефть и газ. В частности, бум «сланцевой революции» свидетельствует о необходимости изучения всех типов геологических объектов, потенциально способных содержать нефть и газ.

В конце XX в. вынос керна из отложений баженовской свиты составлял для большинства скважин не более 60%, а иногда гораздо меньше. НПП «СибБурМаш» с 1997 г. по настоящее время участвовал в работах, связанных с отборами керна из баженовской и абалакской свит на 28 скважинах для 19 заказчиков: проходка с отбором керна составила 999,07 м, вынос – 97,6%. При этом керн отбирался различным диаметром: диаметром 67 мм отобрано 58,36 м с выносом 100%;

Таблица 1.
Гамма изолирующих керноотборников, разработанных и применяемых НПП «СибБурМаш»

Диаметр скважины, мм	215,9	190,5 / 215,9	139,7	120	88
Диаметр керна, мм	114	100	80	67	40
Тип снаряда	КИС 195 / 114	КИС 168 / 100	КИС 127 / 80	КИ-114 / 67	КИ-73 / 40
Коэффициент керноотбора	0,53	0,52 / 0,46	0,57	0,55	0,45
Длина одной секции, м	6	6	6	8	6,56
Количество секций	до 3	до 13	до 3	1	1
Максимальная длина рейса, м	18	78,93	18	6,8	6,1
Фиберглассовый кернoприемник	есть			нет	нет

Параметр	Газовое месторождение, ЯНАО		Нефтяное месторождение, ХМАО	
	Разведочная скважина на РВО	Оценочная скважина на РУО	Разведочная скважина на РВО	Оценочная скважина на РУО
Сметная стоимость скважины с НДС, руб.	217 510 877	427 031 758	265 415 179	558 009 546
Экономия затрат, руб.	+ 209 520 881		+ 292 594 367	
Экономия затрат, %	49,06%		52,43%	

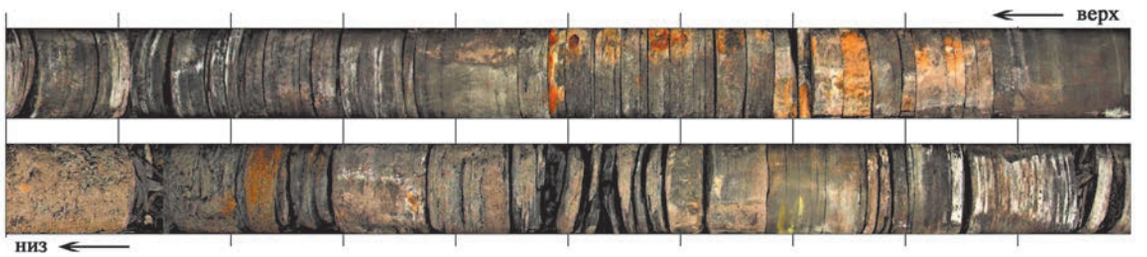
Таблица 2.
Сравнительная оценка стоимости строительства разведочной скважины с отбором керна на РВО с оценочной скважиной на РУО

80 мм – 224,56 м с выносом 92,4 %; 100 мм – 716,15 м с выносом 98,2%.

Основным осложняющим фактором при отборе керна из пород баженовской свиты Западной Сибири является их высокая трещиноватость. На ***рис. 7*** приведена фотография 2 метров типичного баженовского керна одного из месторождений Широтного Приобья Западной Сибири, сделанная после извлечения керна из керноприемной трубы.

Высокая микро- и макротрещиноватость связана с неоднородным микрослоистым строением пород сложного кремнисто-карбонатно-глинистого состава и высокой битуминозностью. При снятии внешнего стресса различие деформационно-прочностных свойств слоистых и микрослоистых пород приводит к трещинообразованию. Образование трещин в керне при выбуривании из массива зачастую вызывало заклинку керна при проходке с отбором керна, из-за чего приходилось прерывать рейс. Учитывая, что прочность керна зависит от его диаметра, снижение трещинообразования в слоисто-неоднородных породах баженовского типа может быть достигнуто увеличением диаметра отбираемого керна при прочих равных условиях. Технологически эта задача решаема, а получение кондиционного керна большого диаметра откроет новые возможности для моделирования поведения пластовой системы исследователями керна. XXI

Рис. 7.
Трещиноватый баженовский керн



Литература

1. Хайруллин Б.Ю., Мамяшев В.Г., Федорцов В.В. Применение современных технологий отбора керна с целью повышения геологической информативности поисково-разведочных работ в ачимовских отложениях Уренгойской зоны //Влияние деформационных свойств горных пород и их состава на технологию вскрытия и опробования ачимовских отложений в зонах АВПД. Сб. статей. Екатеринбург. 1999. С. 172–183.
2. Хайруллин Б.Ю., Мамяшев В.Г., Федорцов В.В. Современное состояние и перспективы развития глубокого бурения с отбором керна в России.Тезисы докладов научно-практической конференции «Состояние, проблемы, основные направления развития нефтяной промышленности в XXI веке». Тюмень (СибНИИНП). 2000.
3. V.V. Fedortsov, B.Y. Hairullin, V.G. Mamyashev, I.S. Jaffarov, C.I. Khalikov Use of Low Invasion Coring Technique for Estimation of Reserves Depletion in the Field Samotlor. Proceeding of SCA 2001 Symposium, Edinburgh (UK), 2001.
4. Хайруллин Б.Ю., Мамяшев В.Г., Федорцов В.В. Современные технологии отбора керна повышенной информативности и перспективы их применения в нефтегазовой геологии //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2008. № 3.