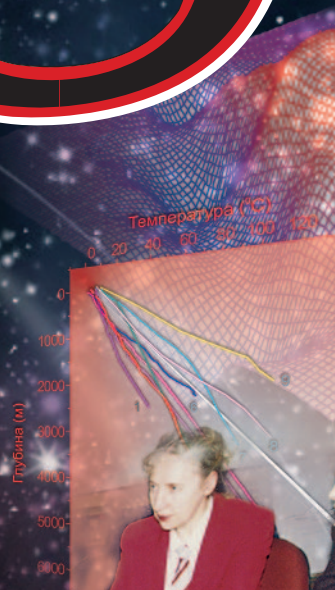


научно-технический журнал Георесурсы

1(29) 2009



**Христофорова
Наталья Николаевна**



... открыть неведомое и заглянуть „за горизонт“ ...

- Казанский государственный университет
- Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан
- Татарское геологоразведочное управление ОАО «Татнефть»

Редакционная коллегия:

Главный редактор – А.В. Христофоров
e-mail: NKhristo@ksu.ru

Фундаментальные науки: Н.Н. Непримеров, М.А. Бергеманн (Германия), Э.И. Богуславский, В.Я. Волков, Н. Ванденберг (Бельгия), А.А. Иванов, Д.К. Нургалиев, М.Х. Салахов, К. Сейферт (США), Л.М. Ситдикова, В.З. Слепак (США), Г. Холл, (Великобритания), М.Д. Хуторской

Минеральные ресурсы: Р.Х. Муслимов, Т.М. Акчурин, Е.Б. Грунис, Н.С. Гатиятуллин, Н.П. Запывалов, А.Б. Золотухин, И.А. Ларочкина, Ф.М. Хайретдинов, Р.С. Хисамов

Редакционный совет:

А.В. Аганов, А.С. Борисов, О.В. Бодров, С.А. Горбунов, В.Г. Изотов, Г.А. Кринари, Р.Х. Масагутов, И.Н. Плотникова, Р.К. Садыков, В.В. Самарцев, В.М. Смелков, В.А. Трофимов, Ф.Ф. Шагидуллин

Группа маркетинга и дизайна:

Заместители главного редактора:
А.В. Николаев, e-mail: Navan@inbox.ru
Д.А. Христофорова, e-mail: Daria.Khr@mail.ru
Технический редактор: В.Н. Малинина.
Верстка, дизайн: Д.А. Христофорова.
Дизайн обложек: А.А. Люкшин.
Отдел распространения: С.С. Ионина.

Адрес редакции:

Казанский государственный университет
Кремлевская 18, Казань, 420008, Россия
Россия: Тел\факс: +7 8432 924454
Великобритания: Voice\Fax: +44 7092 195840 (UK)
США: Voice\Fax: +1 435 304 9361 (USA)
e-mail: georesources@ksu.ru

Издательство Казанского университета

Кремлевская 18, Казань, 420008, Россия
Тел\факс +7 8432 924454
Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № 77-11725
выдано Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Периодичность выпуска журнала: 4 раза в год
Индекс в Каталоге «Роспечать» – 36639
Журнал распространяется через ООО «Информнаука».
Электронная версия журнала содержится на сайте: «eLIBRARY.RU: Российская научная периодика в онлайн».

Отпечатано в ООО «КартИ». Тираж 1000. Заказ № 420095, Россия, г. Казань, ул. Восстания, 100
Тел\факс: +7 843 5121291, e-mail: karti@inbox.ru

При перепечатке материалов ссылка на журнал «ГЕОРЕСУРСЫ» обязательна.

Статьи

- Е.Н. Александров, Д.А. Леменовский, А.Л. Петров, В.Ю. Лиджи-Горяев*
Технология термохимического стимулирования добычи нефти и битумов с уменьшением количества воды в нефтяном пласте 2
- Ф.И. Баширов*
Заторможенные движения молекул в кристаллах.....7
- Р.С. Сайфуллин, А.Р. Сайфуллин*
Нанонаука и нанотехнология. Общий взгляд – из прошлого в будущее11
- В.Б. Свалова*
Комплексное использование геотермальных ресурсов 17
- Г.В. Жуков, М.Г. Ишимухаметова, Е.Д. Кондратьева, В.С. Усанин*
Загадки кометы Холмса (1892 III): 1. Открытие 23
- И.П. Косачев, Л.М. Ситдикова, В.Г. Изотов*
Каталитический механизм генерации углеводородных систем в зонах деструкций глубоких горизонтов земной коры 26
- Р.С.Хисамов, П. Харрингтон, В. Герман, С.Е.Войтович, М.Г. Чернышова*
Применение метода Gore-Sorber в комплексе геофизических и геохимических исследований при диагностике углеводородных залежей 29
- В.Л. Кипоть, Д.Н.Тумаков*
Частотно-избирательные свойства стратифицированной геологической среды 33
- В.В. Лапаева, Ю.А. Нефедьев, М.В. Кутленков*
Движение полюса Земли и сейсмическая активность в 2001 – 2005 гг. 36
- К.М. Каримов, В.Л. Онегов, С.Н. Кокутин, Е.Р. Колесникова*
Дистанционное видеотепловизионное зондирование земли при решении геологических (нефтепоисковых) задач 38
- Я.И. Кравцов, Е.А. Марфин, Э.А. Буторин, Р.Н. Гатауллин*
О процессах, определяющих механизм интегрированного воздействия на нефтяной пласт 43
- В.А. Трофимов*
Нефтеподводящие каналы и современная подпитка нефтяных месторождений: Гипотезы и факты 46

Персоналии

- Наталья Николаевна Христофорова 1

Книги

- Верхний докембрий южного обрамления Красноуфимского выступа кристаллического фундамента 7
- Методы прогноза, поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений 45

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И БИТУМОВ С УМЕНЬШЕНИЕМ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ В НЕФТЯНОМ ПЛАСТЕ

Проведено сравнение технологии добычи нефти с использованием бинарных смесей (БС) и применяемых в мире ведущих технологий: гидроразрыв пласта (ГРП) и паровая технология прогрева пласта (SAGD). Выявлены основные преимущества технологии БС как ресурсосберегающей и экономически выгодной. Предложено усовершенствование технологий ГРП и SAGD путём разогрева пласта теплом химических реакций бинарных смесей. Рассмотрено применение новых высокоэнергетических растворов БС на основе металлотермии и их вклад в стимулирование добычи битумов, гидрокрекинг нефти и уменьшение обводненности продуктивного пласта. Дана детальная оценка энергетических и финансовых возможностей БС.

Ключевые слова: бинарные смеси, скин-слой, вязкость нефти и битумов, металлотермия, горячий разрыв пласта, гидрокрекинг, уменьшение обводнения пласта.

1. Введение

На данный момент лишь две технологии стимулирования добычи углеводородов обеспечивают сочетание больших затрат с надежно прогнозируемой прибылью. Это гидроразрыв пласта (ГРП) холодной жидкостью (США) и нагрев пласта перегретым паром (Канада). Пар применяют также в республиках Коми и Татарстан (Россия) (Александров и др., 2008; Хисамов, 2007).

Известная технология пластового горения для стимулирования добычи нефти в России ныне применяется редко. Причина – официальный запрет на закачку воздуха в скважину в связи с опасностью взрыва смеси воздуха с углеводородами в стволе скважины. Недостаток метода – практически не контролируемая конфигурация фронта пламени. Расчет эффективности, как правило, неоднозначен потому, что при движении фронта пламени может без адекватного увеличения добычи выгорать слишком много нефти.

Привлекательность тепловых методов связана с сильным уменьшением вязкости и возможностью значительного увеличения скорости добычи нефти при нагреве продуктивного пласта. Например, при нагреве на 100 градусов тяжелой нефти плотностью 0,96 т/м³ вязкость нефти уменьшается в 16 раз. Дебит нефти в случае достаточно высокого пластового давления может увеличиться приблизительно в 16 раз.

При нагреве на 100 градусов обычной (conventional) нефти плотностью 0,86 т/м³ вязкость нефти уменьшается в 7 – 8 раз и, соответственно, дебит обычной нефти может быть также значительно увеличен (Александров и др., 2002; 2008; Хисамов, 2007; Шереметьев, Соломатин, 1998; Патент..., 2008; Guntis Moritis, 2006). Приведенные здесь цифры имеют отношение не только к теории, но и к практике.

Увеличение с помощью тепла в десятки раз скорости добычи углеводородов в течение последнего десятилетия произошло на месторождениях Канады.

2. Сравнение технологий

Разработка огромных месторождений битумов с помощью нагретого водяного пара в течение нескольких лет вывела Канаду в ряд ведущих нефтедобывающих стран (Guntis

Moritis, 2006). Создан крупнейший технологический комплекс, разрабатывающий битуминозные пески месторождения Альберта (Канада) (Guntis Moritis, 2006). Автор (Guntis Moritis, 2006) считает, что количество углеводородов, добываемых на месторождении Альберта, в ближайшие годы сравняется с добычей нефти в Саудовской Аравии.

Неустранимым недостатком паровой технологии, однако, является быстрое обводнение продуктивного пласта, т.к. для извлечения одной тонны битума в пласт закачивают от 2,5 до 5 тонн пара, превращающегося в воду (Александров и др., 2008; Guntis Moritis, 2006). Сильное обводнение делает добычу невыгодной. После извлечения около 20 % запасов битума с помощью пара количество воды в пласте становится близким к количеству нефти, и тепло начинает расходоваться, в основном, на добычу горячей воды (Александров и др., 2008). На крупнейших месторождениях Канады с запасами в 20 – 30 миллиардов тонн битума такая критическая ситуация возникнет лишь через 50 – 60 лет. Применение паровой технологии на обычных месторождениях с запасами, меньшими в 10 – 100 раз, может стать невыгодным уже через 5 – 10 лет.

Канадская технология нагрева рыхлых битуминозных песков SAGD (steam assisted gravity drainage) рассчитана на движение под действием силы тяжести горячего жидкого битума к горизонтальному стволу скважины, из которой его откачивают. SAGD мало пригодна для добычи нефти, находящейся в твердых породах, в которых сильно затруднено движение нефти под действием силы тяжести.

Ведущие технологии (ГРП и SAGD) могут быть усовершенствованы путем разогрева пласта теплом химических реакций бинарных смесей – БС (Александров и др., 2002; 2008). Бинарные смеси – это жидкие растворы химических реагентов, которые движутся по двум отдельным каналам и реагируют при встрече в зоне продуктивного пласта под давлением, выделяя газ и тепло, уходящие в пласт под давлением, создаваемым самой реакцией. (Аналогом БС, например, является известный «коктейль Молотова», в котором при разрушении сосуда соединяются и горят два реагента.)

Тонна водного раствора БС, содержащая 0,25 – 0,3 тонны воды, реагирует с выделением тепла в несколько раз

больше, чем приносит в пласт тонна пара. Продукты реакции БС в 10 – 20 раз меньше обводняют продуктивный пласт, чем паровая технология. Расчет показывает, что при использовании ранее применяемых БС количество воды и нефти в пласте сравняется после извлечения 80 – 85 % нефтяных запасов пласта (Александров и др., 2008). Ранее не применяемые в скважинах составы БС, разработанные в последнее время на основе металлтермии (Годымчук и др., 2007; Кобяков, Лопухов, 2008), могут стать реальной основой для удаления воды из продуктивного пласта.

По сравнению с ныне действующей паровой технологией развиваемая технология БС в перспективе более выгодна потому, что:

- с использованием ранее применяемых смесей она пригодна для извлечения запасов нефти или битумов любого месторождения практически без увеличения степени его обводнения;
- с помощью БС в сочетании с металлтермией она пригодна для стимулирования добычи нефти с уменьшением количества воды в продуктивном пласте;
- при периодическом прогреве продуктивных пластов может стимулировать более быструю добычу углеводородов и существенно сократить время эксплуатации месторождений.

Следует отметить также, что из-за потерь тепла на коммуникациях пар закачивают на глубину, обычно не превышающую 800 – 900 м. Бинарные смеси закачивают холодными по отдельным каналам, и потому они могут пройти до любой глубины без потери тепла в коммуникациях.

Практика обработки пласта с вязкой нефтью показала, что горячие газы, образующиеся в зоне реакции, входят в пласт значительно легче, чем жидкость, используемая в технологии «холодного» ГРП. Поэтому при разрыве пласта горячим газом давление, опасное для скважины, возникает реже, чем при разрыве пласта не нагреваемыми жидкостями (Александров и др., 2008). Горячий разрыв пласта предпочтительно производить, применяя реакции БС, в которых выделяется водород (Шереметьев, Соломатин, 1998; Годымчук и др., 2007). Этот газ можно использовать как проникающий теплоноситель, который облегчает развитие и ветвление новых трещин.

3. Работа на скважинах с применением мало энергетических БС

Простейший состав мало энергетических бинарных смесей (Шереметьев, Соломатин, 1998) массой 1 кг выделяет в среднем около 2 МДж тепла. Эти реагенты в количествах, недостаточных для масштабного прогрева пласта, в России в последние годы применяли для очистки от загрязнений узкой зоны (скин-слоя) около ствола скважины (Александров и др., 2008; Шереметьев, Соломатин, 1998).

Растворы неорганической (минеральной) селитры и инициатора реакции (нитрита натрия), разделенные слоем буферного (инертного) раствора, закачивали в скважину по одному каналу – по насосно-компрессорной трубе (НКТ) (Александров и др., 2008; Шереметьев, Соломатин, 1998). Газ, выделившийся после выхода растворов из НКТ и реакции их в обсадной трубе, входил в пласт.

В России, в республиках Татарстан, Удмуртия и Саратовской, Пермской, Оренбургской областях (Александров и др., 2002; Шереметьев, Соломатин, 1998) с применением БС была обработана призабойная зона пласта в несколь-

ких десятках скважин. Этот метод обычно использовали в малодобитных скважинах, дававших 1 – 2 тонн нефти в сутки. С целью прочистки скин-слоя инициировали реакцию от 0,5 до 1,5 тонн растворов БС. Добавочная нефть (в среднем, в количестве 0,6 – 0,7 тонн в сутки), полученная таким способом в течение года после обработки, окупала затраты. Тепловой вклад БС в добычу нефти в этом случае был мал, т.к. во время подготовки скважины к откатке нефти большая часть нагретой породы успевала остыть.

При сравнении с количеством добавочной нефти, полученной после обработки скважин разными технологиями выяснено, что при одинаковых затратах вариант технологии БС, применяемый для прочистки скин-слоя с малым объемом рабочего тела, в итоге давал в несколько раз меньше добавочной нефти, чем технология ГРП (США, Канада). Расчет (Александров и др., 2008) показал, что технология БС, способна конкурировать с ведущими мировыми технологиями только при масштабном прогреве пласта.

4. Возможности новых высокоэнергетических растворов БС

В последние годы учеными Российской академии наук (РАН) и Московского университета (МГУ) были разработаны высокоэнергетические составы БС, пригодные для теплового стимулирования добычи нефти (Александров и др., 2008; Патент..., 2008). Каждый 1 кг таких БС выделяет от 8 до 20 МДж тепла и способен нагреть на 100 К породу массой от 100 до 250 кг. Составы БС, разработанные в последние годы, выделяют в 4 – 10 раз больше тепла, чем используемые ранее на скважинах для прочистки скин-слоя.

Разработаны режимы реакции БС с пластовой водой, которые можно использовать для уменьшения количества воды в продуктивном пласте (Патент..., 2008).

Разработаны режимы реакции БС, в которых образующийся в реакции водород может быть использован как средство для гидрокрекинга нефти. Для этого нужен нагрев коллектора до 300 – 400 °С, который должен происходить в процессе реакции в трещинах пласта без нагрева труб, находящихся в стволе скважины (Патент..., 2008).

Разработаны режимы закачки растворов БС, в которых выделение тепла должно происходить только в продуктивном пласте (Патент..., 2008).

При закачке растворов БС относительно маломощные промышленные насосы способны обеспечить протекание быстрой реакции, выделяющей тепло со скоростью, превышающей мощность современных насосов технического комплекса ГРП (10 000 л.с.). Закачивая бинарные смеси с теплотворной способностью 8 – 20 МДж/кг со скоростью 8 кг/с, насосы стандартного цементировочного агрегата (ЦА) обеспечивают образование горячей смеси газа с жидкостью (пены), входящей в пласт. Максимальная возможная скорость выделения тепла (мощность) реакции в скважине **при полном перемешивании реагентов** равна:

$$2(4\text{ кг/с})(8 \div 20)\text{ МДж/кг} \approx (60 \div 160)\text{ МДж/с} \approx (67000 \div 200\,000)\text{ л.с.}$$

Такая необычно высокая мощность может выделить только при использовании эффективных смесителей реагентов. Упрощенная схема одного из смесителей разработанных в патенте (Патент..., 2008) представлена на Рис. При этом следует учитывать необходимость тщательной разработки и надежного контроля реакции БС, в которой

выделяется горячий газ, совершающий работу при входе в пласт.

Расчеты и эксперименты на стендах и скважинах показали, что масштабный прогрев продуктивного пласта продуктами реакции бинарных смесей, разработанных в последнее время, позволяет считать ресурсосберегающую технологию БС альтернативой паровой технологии.

5. Оценка энергетических и финансовых возможностей БС

В качестве примера рассмотрим стимулирование добычи тяжелой нефти плотностью $0,96 \text{ т/м}^3$, находящейся в терригенном коллекторе (песчанике) пористостью 20 % при начальной температуре $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вязкость нефти плотностью $0,96 \text{ т/м}^3$ при повышении температуры от $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (313 К) до $140 \text{ }^\circ\text{C}$ (413 К) уменьшается от 400 до 25 сПуаз (Александров и др., 2008). Затраты тепла на прогрев от 313 К до 413 К одного кубометра терригенного коллектора, содержащего 200 литров нефти плотности $0,96 \text{ т/м}^3$, составляют $Q_{100} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ кДж}$ или 210 МДж. Оценим экономичность режима периодического стимулирования с нагревом пласта два раза в год: с первым нагревом на 100 К (от 313 до 413 К) и последующим остыванием на 50 К. Второй, третий и каждый последующий нагрев на 50 К потребуют в два раза меньших затрат на химреагенты по сравнению с первым нагревом на 100 К.

Отношение тепла, введенного в коллектор с нефтью и тепла, введенного в нефть, заполняющей поры указанного коллектора, видно из равенства:

$$C/C_n \cdot \alpha = 2,29/2,016 \cdot 0,2 = 5,67. \quad (1)$$

Здесь C и C_n – теплоемкость коллектора с нефтью (песчаника) и теплоемкость нефти соответственно (Александров и др., 2008); α – пористость коллектора в долях.

Согласно (1) количество тепла в коллекторе значительно превышает количество тепла в нефти. Поэтому при остывании через нагретый коллектор пористостью 20 % должна пройти и нагреться изначально холодная нефть, объем которой превышает в 5 раз объем нефти в нагретом коллекторе. При откачке нефти через 1 м^3 нагретого коллектора должна пройти и нагреться изначально холодная нефть, объем которой близок к 1 м^3 .

Стоимость разных химикатов, нужных для выделения при реакции БС в скважине одного млн. калорий ($1 \text{ Мкалл} = 4,2 \text{ МДж}$) тепла, не превышает $1 \text{ \$ USD}$. Для упрощения расчетов будем считать ее равной $1 \text{ \$}$. Для нагрева на $100 \text{ }^\circ\text{C}$ одного кубометра породы пласта вместе с нефтью (коллектора) необходимо 50 Мкалл (210 МДж). Стоимость химикатов для нагрева на $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 1 м^3 коллектора таким образом равна $50 \text{ \$}$.

В итоге мы получили простой результат:

- Каждый 1 м^3 коллектора, нагретого на 100 градусов при остывании и откачке может дать около 1 м^3 горячей нефти;
- Для нагрева 1 кубометра коллектора нужно истратить на химреагенты не более $50 \text{ \$}$.

В работе (Александров и др., 2008) на конкретном примере показано, что после нагрева пласта мощностью 10 м в окрестности скважины диаметром 10 м время остывания на 50 градусов составит не менее полугода. Дебит вязкой нефти плотностью $0,96 \text{ т/м}^3$ при этом должен увеличиться от 1 т в сутки до $10 - 15 \text{ т}$ в сутки. Для прогрева 1 м^3 коллектора с нефтью нужно 50 Мкалл (210 МДж) тепла,

для чего требуется израсходовать в реакции высоко энергетичные БС стоимостью около $50 \text{ \$}$. Учитывая реальный коэффициент полезного действия (КПД) системы закачки (0,8), получаем, что химикаты для разогрева и добычи тонны нефти должны стоить $60 - 65 \text{ \$}$. (Прочие расходы, кроме стоимости реагентов, здесь не учтены.)

Для сравнения отметим, что по нашим оценкам в Канаде для добычи одной тонны битума тратят $2,5 - 5$ тонн пара, который с учетом КПД закачки (30 %) стоит не менее $125 \text{ \$}$ в расчете на одну тонну нагретого битума.

Для прогрева пласта мощностью 10 м вокруг скважины на расстоянии по радиусу 10 м (объемом 3 000 м^3) и получения около 3 000 тонн добавочной нефти нужно затратить $150 \text{ 000 \$}$ на покупку химикатов (Александров и др., 2008).

Учитывая, что время обработки одной скважины составляет $2 - 3$ суток, стоимость операции с учетом прочих расходов по оценкам не должна превысить $200 \text{ 000 \$}$. Полные затраты на получение одной тонны добавочной нефти таким образом не должны превысить $100 \text{ \$}$.

Отметим, что реальность приведенных цифр подтверждена результатами масштабного применения тепла для увеличения добычи углеводородов на месторождениях Канады.

Далее рассмотрены новые способы и приспособления, разработанные для применения технологии БС.

6. Способы эффективного применения БС

6.1. Способ горячего газового разрыва пласта

Технология БС, в которой, как правило, создаются трещины для быстрого ввода теплоносителя в пласт, является технологией горячего разрыва пласта. Практика работы на стендах и скважинах показала, что в случае тяжелой вязкой нефти трещины в пласте появляются под действием горячих газов при давлении на $20 - 30 \%$ ниже, чем под действием холодной жидкости (Александров и др., 2008).

Высокую мощность реакции при закачке бинарных смесей можно реализовать с помощью смесителей реагентов, которые обеспечивают степень превращения и коэффициент полезного действия, близкие к единице. В работе (Патент..., 2008) предусмотрены смесители, в которых вращение турбины происходит, частично, за счет энергии, выделившейся в начальной фазе реакции БС. По сути – это машина, которая должна работать на энергии растворов БС. Конструкция защищена от перегрева постоянством температуры испарения раствора, как правило, при рабочем давлении $200 - 300 \text{ бар}$ не превышающей $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рисунке дана схема смесителя.

В зоне, находящейся перед первичным винтом 5, в которой соединяются компоненты С и Б, происходит реакция, энергия которой расходуется на вращение вторичного винта 7. Основная часть энергии в скважине выделяется напротив продуктивного пласта при смешивании компонентов А и С. В этом варианте пакер с циркуляционными клапанами (на рисунке не показанный) находится в скважине на $50 - 100 \text{ м}$ выше (на рисунке – левее).

Такое техническое решение особенно ценно. В первом приближении намечено решение давней проблемы создания двигателя, работающего в скважине. Ранее эту задачу пытались решить с помощью двигателя внутреннего сгорания, опускаемого в скважину. Опытные образцы двигателей, работающие в скважине, сгорали по причине накопления накипи в рубашке охлаждения камеры сгорания.

Возможны два режима горячего разрыва пласта (Рис.).
Режим 1 (низкотемпературный). Реакция в стволе скважины протекает при непрерывной закачке растворов А, С и Б, во время которой температура напротив продуктивного пласта не превышает температуру разрушения цементного камня, в котором закреплена обсадная труба (200 – 250 °С). Такой режим реакции создает трещины, по которым за короткое время в пласт можно ввести несколько десятков тысяч МДж тепла достаточного для прогрева тысяч тонн нефтяного пласта.

Режим 2 (высокотемпературный). Реакция в первой стадии протекает в стволе скважины, во время которой в пласте создаются трещины. На второй стадии отключается подача по каналам Б и С, а по каналу А подается смесь инертной жидкости (воды или керосина) и порошка (гранул) металла до заполнения ими трещин в пласте. Затем в трещины закачивается компонент, реагирующий с вышеуказанными порошком или гранулами. (Например, в технологии ГРП такая операция предусмотрена для закрепления трещин искусственным песком или пропантом.)

В этом режиме можно производить нагрев пласта до высокой температуры (300 – 400 °С). При этом закачка реагентов в скважину не сопровождается нагревом труб или пакера.

Нужно отметить также, что возможным является использование продуктов реакции БС для вращения турбобура, применяемого для бурения глубоких и сверхглубоких скважин. Система клапанов, регулирующая работу реактора БС (Патент..., 2008), в первом приближении достаточна для испытания машины, изображенной на рисунке, если смеситель заменить на турбобур.

6.2. Способ гидрокрекинга нефти с уменьшением количества воды в нефтяном пласте

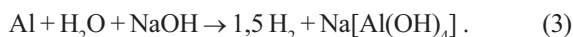
Разработаны составы, способные при высокой температуре реагировать с водой с образованием водорода. Температура 250 – 400 °С достаточна, чтобы образовавшийся водород при отсутствии окислителя расходовался на гидрокрекинг.

В работах (Патент..., 2008; Годымчук и др., 2007; Кобяков, Лопухов, 2005) предложен набор реагентов, пригодных для металлотермии. Для этого пригодны алюминий, магний, галлий, индий или их сплавы. При взаимодействии с водой вышеуказанные металлы производят два эффекта.

Первый заключается в собственно химическом взаимодействии металла, например, алюминия с водой. Это мощная экзотермическая реакция, сопровождающаяся выделением большого количества водорода:



В принципе, реакция имеет ряд кинетических ограничений, которые необходимо преодолевать. Это достигается изменением рН среды от нейтральной в любую сторону, например, добавлением кислоты, или щелочи (Патент..., 2008). При недостатке щёлочи протекает реакция:



Реакции (2, 3) «убирают» из пласта 1 кг воды на 1 кг введенного алюминия.

Второй эффект заключается в гидратации образовавшегося катиона алюминия молекулами воды при избытке щёлочи:



В гидратной форме один атом алюминия может связать 6 молекул воды. Этот процесс термонейтрален, т. е. идет практически без выделения тепла. Но и он, в свою очередь, может связать еще около 4 кг воды на 1 кг исходного алюминия.

В рамках современных проблем металлотермия, внедренная на промыслах, должна стать основой для нефтедобычи с уменьшением количества воды в продуктивных пластах. Кроме указанного здесь процесса масштабной алумотермии (Патент..., 2008), в котором предусмотрена закачка в пласт тепла в количестве 100 – 150 тыс. МДж, известна более слабая металлотермическая обработка призабойной зоны пласта (ПЗП). В работе (Кобяков, Лопухов, 2005) предложен способ прочистки скин-слоя ПЗП тепловым импульсом в 10 – 15 МДж с помощью реакции твердофазных окислителей (оксидов титана, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, ниобия, молибдена, вольфрама, свинца) с твердофазными топливными материалами (магнием, алюминием, кремнием, кальцием). Продукты некоторых из этих реакций также способны образовывать с водой кристаллогидраты и могут применяться для борьбы с обводнением пластов. В (Кобяков, Лопухов, 2005) возможность удаления воды из пласта не предусмотрена.

В заключение следует отметить, что внедрение термохимии и металлотермии на промыслах может встретиться с серьезными трудностями, т.к.:

- не разработана и промышленностью не выпускается отечественная техника для безопасной контролируемой закачки большого количества тепла в продуктивный пласт;
- в частности, в промысловых условиях не изучены возможность выделения большой массы водорода в пласте и каналы его расходования в пласте и частичного выхода на поверхность;
- стендовые эксперименты, выполненные в РАН и МГУ, предстоит продолжить в виде масштабных опытно-промышленных работ на промыслах, которые необходимо проводить одновременно с внедрением новой техники.

Обнадеживающим фактором являются оценки потенциала технологий БС и металлотермии, указывающие на перспективу удаления воды из пласта, с получением достаточного для окупаемости количества добавочной нефти.

Если рентабельная металлотермия придет на промыслах, проблема эксплуатации обводненных месторождений приблизится к решению. В настоящее время результаты стендовых испытаний показывают, что на части малообводненных месторождений металлотермия достаточно близка к рентабельному использованию уже сегодня.

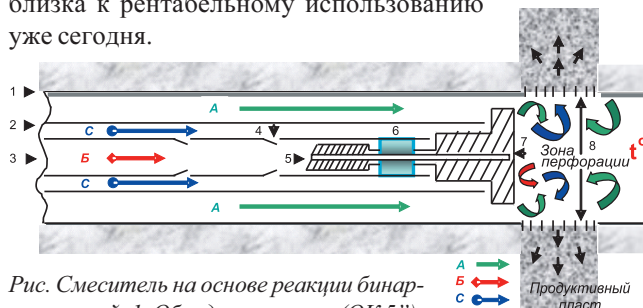


Рис. Смеситель на основе реакции бинарных смесей. 1. Обсадная колонна (ОК 5”); 2. Насосно-компрессорная труба (НКТ 3”); 3. Насосно-компрессорная труба (НКТ 1,5”); 4. Клапан внутренний НКТ 1,5”); 5. Шнек (винт) первичный; 6. Подпятник широкий; 7. Шнек (винт) вторичный; 8. Зона перфорации. А – суспензия Al + H₂O (или C_nH_{n+2} где n < 12); Б – водный раствор инициатора (NaBH₄ + NaOH); С – водный раствор селитры и азотной кислоты.

6.3. Способ искусственного фонтанирования

При вводе большой массы растворов в пласт, отодвигающих нефть от скважины, возникает вопрос о времени возвращения нефти и начала продуктивной добычи. Экспериментальная обработка скважины 169 Курбатовского месторождения Пермской области указала на возможность управляемого фонтанирования, ускоряющего возвращение нефти к скважине (Александров и др., 2008).

Продуктивный терригенный пласт мощностью 12,4 м, находящийся на глубине 1780 м и содержащий нефть плотностью 0,85 т/м³, легко принял 2100 литров реагирующих бинарных смесей, после чего с помощью свабирования в течение 23 часов откачали 25 т жидкости, в которой к концу откачки содержалась нефть (80 %) и вода (20 %). Нарастание количества газа в жидкости указывало на возможность фонтанирования. Скважину закрыли и выдержали под давлением в течение 2 часов. После открытия задвижки наблюдался интенсивный выход газа. Через 15 минут начался приток нефти, который в течение 4 часов составил 5,4 м³. В это время при герметизированном устье в районе устьевой арматуры измеренное давление в НКТ составило 1,5 атм.

По данным Заказчика начальный дебит перед капитальным ремонтом скважины составил 2 м³/сутки. По информации, полученной нами через три месяца дебит скв. 169 по истечении двух месяцев после обработки практически вернулся к прежней величине. Полное количество добавочной нефти за два месяца было оценено в 45–48 т. Стоимость химреагентов, затраченных на обработку составила около 1000 \$. Поскольку скважина 169 ранее не фонтанировала, неожиданный выброс нефти был вызван газом, выделившимся при обработке, который, растворяясь в жидкости, улучшил возможности газлифта нефти.

При масштабной закачке массы БС, соизмеримой с массой рабочего тела современной технологии ГРП (30–100 т), этот эффект, похожий на выброс жидкости газом при открытии бутылки с шампанским, может заметно ускорить добычу.

Заключение

По сравнению с ныне действующей паровой технологией, применяемой для разработки месторождений битуминозных песков, технология БС пригодна для стимулирования добычи нефти и битумов, находящихся в любых коллекторах.

Технология БС на основе неорганической и органической селитры применима для извлечения запасов нефти или битумов любого месторождения практически без его обводнения (Александров и др., 2008).

Технология БС на основе металлотермии предназначена для извлечения запасов нефти или битумов любого месторождения с понижением степени обводнения продуктивного пласта (Патент..., 2008).

Технология БС при периодическом прогреве продуктивных пластов может стимулировать быструю добычу битумов и нефти и существенно сократить время коммерчески выгодной разработки нефтяных месторождений (Александров и др., 2008).

Технология БС может дополнить современный мощный метод холодного гидроразрыва пласта (США) в потенциале более мощным методом горячего разрыва пласта продуктами реакции бинарных смесей (Александров и др., 2002; Патент..., 2008).

Применение бинарных смесей, разработанных в после-

дние годы, открывает новые возможности промысловой термохимии. В частности, разработаны режимы реакций БС, в которых выделяется водород. Этот газ, обладающий уникальной подвижностью, можно использовать как легко проникающий теплоноситель, который может облегчить развитие и ветвление новых трещин (Патент..., 2008).

Разработаны режимы реакции БС, в которых образующийся в реакции водород может быть использован как средство для гидрокрекинга нефти. Для этого нужен нагрев коллектора до 250–400 °С, который можно осуществить реакцией в трещинах пласта без нагрева ствола скважины (Патент..., 2008). Предложен способ закачки растворов БС, в которых конструкция скважины (пакер, трубы, клапаны) не подвергается тепловой нагрузке, и выделение тепла происходит только в продуктивном пласте (Патент..., 2008).

Клапаны, устанавливаемые на каналах подачи реагентов, должны закрываться при достижении давления газа в зоне реакции, опасного для скважины, и открываться после ухода газа в пласт и понижения давления (Александров и др., 2002).

Приспособление, разработанное для циклического ввода горячего газа в пласт, может функционировать как необычно мощный двигатель, работающий на забое скважины. Работу двигателя в скважине могут обеспечить маломощные промысловые насосы, закачивающие растворы БС с поверхности. Применение высокоэнергетических БС, однако, требует в целях безопасности быстрой своевременной коррекции режима подачи реагентов. Для этого более пригодны дозировочные насосы, работа которых должна контролироваться надежной автоматической системой управления (АСУ).

При превышении опасной для скважины границы давления и температуры, подача реагентов должна прекращаться, а после разгрузки газа, уходящего в пласт, возобновляться.

Для испытания скважинного двигателя потребуются тщательно разработанные меры по технике безопасности.

В свете изложенного реальным представляется создание, возможно, вначале затратной, а в перспективе коммерчески выгодной технологии промысловой термохимии, в частности, промысловой металлотермии, что позволит решить проблему добычи нефти с уменьшением количества пластовой воды вначале на мало обводненных месторождениях. После решения этой задачи можно будет ставить вопрос об «оживлении» сильно обводненных законсервированных месторождений в недрах большинства которых осталось не менее половины запасов углеводородов.

Литература

- Александров Е.Н., Леменовский Д.А., Петрищев В. Патент № 2224103. 2002.
- Александров Е.Н., Козлов С.Н., Лиджи-Горяев В.Ю., Петров А.Л. Ресурсосберегающая технология стимулирования добычи нефти путем нагрева продуктивного пласта. *Наука и технологии в промышленности*. 2008. Т. 1-2. 71.
- Александров Е.Н., Леменовский Д.А., Коллер З. Патент РСТ/ЕР2008/008725.
- Годымчук А., Ильин А., Астанкова А. Окисление нанопорошка алюминия в жидкой воде при нагревании. *Известия Томского политехнического университета*. Т. 310. № 1. 2007. 14.
- Кобяков В.П., Лопухов Г.П., Патент РФ № 2295637. 2005.
- Хисамов Р.С. Опыт ОАО «Татнефть» в добыче высоковязких битуминозных нефтей. *Георесурсы*. 2007. № 3(22). 8-10.
- Шереметьев Н.В., Соломатин А.Г. Патент РФ № 2102589. 1998.
- Guntis Moritis. *Oil & gas Journal*. 2006.

ЗАТОРМОЖЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ В КРИСТАЛЛАХ

Приводится описание модели расширенных угловых скачков, предложенной автором для аппроксимации заторможенных движений малых молекул в кристаллах и жидкостях. В ней динамично сочетается идея непрерывности распределения мгновенных ориентаций молекул, принятая за основу в модели вращательной диффузии Дебая, с гипотезой дискретности, являющейся основой модели фиксированных угловых скачков. Приложение модели к интерпретации относительной интенсивности спектров диэлектрической и инфракрасной спектроскопии, комбинационного рассеяния света, некогерентного рассеяния нейтронов и скорости ядерной магнитной резонансной релаксации подтверждают справедливость развитой теории.

Ключевые слова: молекулярные кристаллы и жидкости, спектроскопия, угловые функции автокорреляции, нарушение симметрии.

1. Введение

Тепловое хаотическое движение молекул, происходящее в кристаллах и жидкостях при не слишком низких температурах ($T \geq 40$ К) путем вращения молекулы как целое или ее частей, конформационного превращения и атомного обмена называется заторможенным молекулярным движением (ЗМД). Присутствие случайных молекулярных движений отражается на общезначимых свойствах вещества. Молекулярные тела, как правило, обладают низкой

температурой плавления (до ≈ 500 К). В них чаще всего наблюдаются несколько структурных модификаций. Свойства ЗМД зависят от состава и строения молекул, их взаимодействия с ближайшим окружением, основных термодинамических параметров состояния и внешнего воздействия.

Молекулярные кристаллы формируются при отверждении органических и неорганических соединений, таких как CH_4 (метан), NH_3 (аммиак), CO_2 (сухой лед), H_2S (сероводород), $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ (нормальные алканы), C_6H_6 (бензол),

Окончание статьи Е.Н. Александрова и др. «Технология...»

E.N. Aleksandrov, D.A. Lemenovsky, A.L. Petrov, V.Yu. Lidgi-Goriaev. **Resource-efficient technology for heavy oil and bitumen recovery with low water cut.**

An oil recovery technology using binary mixtures (BMs) is compared with the leading technologies currently being used around the world: hydraulic fracturing (hydrofrac) and steam-assisted gravity drainage (SAGD). The key advantages of the thermochemical BM technology as a resource- and cost-efficient one are demonstrated. It is suggested to improve the hydrofrac and SAGD efficiencies by heating the formation by the heat produced in the binary-mixture reaction zone. Metallothermic reactions of new highly energetic BMs and their potential for stimulation of natural bitumen production, heavy oil hydrocracking, and reduction of water cut are discussed. The prospects of the thermochemical BM technology are evaluated in terms of energy and cost efficiencies.

Keywords: binary mixture, skin, oil/bitumen viscosity, metallothermic reactions, high-temperature hydraulic fracturing, heavy oil hydrocracking, reduction of water cut.

Дмитрий Анатольевич Леменовский
доктор химических наук, профессор

МГУ им. М.В. Ломоносова
119899, Москва, Воробьевы горы. Тел.: (495)-939-1234

Евгений Николаевич Александров
доктор химических наук, зав. лабораторией ИБХФ РАН

Александр Леонидович Петров
аспирант ИБХФ РАН

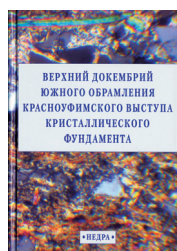
Владимир Юрьевич Лиджи-Горяев
аспирант ИБХФ РАН

Институт биохимической физики РАН. 119991, Москва,
ул. Косыгина, 4, корп. 11. Тел.: (495)-939-7318.

СПб.: ООО «Недра». 2009. 336 с.

Верхний докембрий южного обрамления Краснофимского выступа кристаллического фундамента

В.И. Козлов, Р.Х. Масагутов, И.Н. Ахметшин,
В.Н. Пучков, Т.В. Иванова, Н.Д. Сергеева



В додевонских осадочных последовательностях, вскрытых параметрическими и глубокими скважинами на южном обрамлении Краснофимского выступа кристаллического фундамента, выделено два мегакомплекса: нижний (терригенно-карбонатный) и верхний (терригенный). В соответствии со стратиграфической схемой Волго-Уральской области (2000 г.) верхний комплекс отнесен к верхнему венду, а в нижнем – выделены отложения нижнего, среднего и верхнего рифея. На основе проведенных комплексных геолого-геофизических и геохимических исследований подтвержден вывод предыдущих исследователей о потенциальной перспективности рифей-вендских отложений рассматриваемой территории на углеводородное сырье, что обосновывается на наличием в них нефте- и газопроявлений и нефтегазоматеринских пород, пород-коллекторов, флюидо- и газоупоров; здесь выявлены локальные положительные структуры, представляющие несомненный интерес для поиска в них скоплений углеводородов.

ISBN 978-5-94089-128-5

$\text{CHNH}_3^+\text{COO-R}$ (аминокислоты), $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ (адамтан). Молекулярные фрагменты и молекулы CH_2 , CH_3 , CH_4 , NH_3 , CO_2 , H_2S , C_6H_6 и $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ имеют несколько ориентационных потенциальных ям, разделенных энергетическими барьерами, и между этими ямами могут совершать вращательные перескоки. Подвижные многоатомные ионы аммония NH_4^+ , фторбората BF_4^- и фторбериллата BeF_4^{2-} , входящие в состав ионных кристаллов, например, NH_4Cl , NH_4F , NH_4Br , NH_4I , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, NH_4BF_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$, также не упорядочены. В кристаллогидратах $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др. подвижными являются молекулы воды.

Трудности, испытываемые динамическими теориями описания физики конденсированных сред, привели к развитию альтернативных методик теоретического изучения молекулярного движения. Они построены на определенных гипотетических моделях заторможенного молекулярного движения и математического моделирования и не обходятся без введения в теорию физически обоснованных феноменологических параметров. Современные методики теоретического описания скоростей релаксации молекулярных физических величин и формы спектральных линий основаны на применении техники корреляционного анализа. Результаты расчетов зависят от явного вида молекулярной физической величины и гипотетической модели молекулярного движения.

Известные теории ЗМД были развиты в рамках двух альтернативных моделей: модели вращательной диффузии (Дебай, 1934; Валиев, Иванов, 1973) и модели фиксированных угловых скачков (Hilt & Hubbard, 1964; Rigny, 1972). Отличие модельных допущений состоит в способе задания распределения дозволённых мгновенных ориентационных положений равновесия молекул. В модели вращательной диффузии (МВД) оно – равномерное, а в модели фиксированных угловых скачков (МФС) – конечное. Модель МВД оправдала свое назначение при описании ЗМД в жидкостях и ряде поликристаллов. Что касается модели МФС, то теории ЗМД, развитые на ее основе, были ограничены в применении конкретными твердыми телами. Экспериментальные данные по протонной магнитной резонансной релаксации в монокристалле хлорида аммония (Баширов, 1972) не вписывались в рамки ни одной из имевшихся теорий ЗМД. Для преодоления возникшей проблемы нами была предложена третья, объединительная модель движения – модель расширенных угловых скачков, в которой сочетаются свойства непрерывности и дискретности в молекулярном движении (Баширов, 1972; Bashirov, 1996; 1997).

2. Модель расширенных угловых скачков

Модель расширенных угловых скачков (МРС) основана на допущении, что динамическая задача для системы молекула – кристаллическое окружение решена в гармоническом приближении, так что известны свойства симметрии молекулярного движения и потенциала взаимодействия, заданные на

точечных группах симметрии, но силовые константы остаются неопределенными. Вследствие угловой периодичности взаимодействия молекулы с окружением локальное кристаллическое поле, в котором происходят повороты любого молекулярного вектора, имеет периодическую структуру. При температуре абсолютного нуля классическая мгновенная ориентация вектора совпала бы с угловыми координатами дна одной из потенциальных ям. При отличных от нуля температурах, благодаря тепловым возбуждениям с малой энергией, она оказывается распределенной в пределах потенциальных ям. Поэтому среднестатистическое распределение дозволённых угловых координат молекулярного вектора определяется не дискретной вероятностью, как это принято в модели МФС, а при помощи непрерывной функции плотности вероятности. В отличие от модели МВД, в модели МРС оно – неравномерное, периодическое.

Возможные переориентации молекулярных векторов осуществляются на конечные углы, усредненные значения которых равны углам, разделяющим центры потенциальных ям. Таким образом, феномен дискретности углов поворота, доминирующий в модели МФС, присутствует и в модели МРС. В то же время, вращение, совершающееся в пределах потенциальных ям (либрационное движение), не относится к ориентационной форме движения, а оно рассматривается как движение, происходящее в форме только случайных попыток преодоления потенциального барьера, разделяющего потенциальные ямы.

В изолированных от внешнего воздействия жидкостях и твердых телах обычно оправдывается адиабатическое приближение, когда большинство молекул находится в основном электронном, колебательном и вращательном состоянии. Для молекулы, имеющей несколько конфигурационных положений равновесия с бесконечно высокими энергетическими барьерами, вероятность выйти из потенциальной ямы посредством классического движения равна нулю, и основное конфигурационное состояние молекулы оказывается вырожденным. Кратность такого вырождения равна числу равновесных молекулярных конфигураций. При теоретико-групповом подходе кратность вырождения совпадает с порядком абстрактной точечной группы симметрии заторможенного движения молекулы (Ландау, Лифшиц, 1963).

Если среди различных молекулярных конфигураций имеются эквивалентные конфигурации, то вырождение,

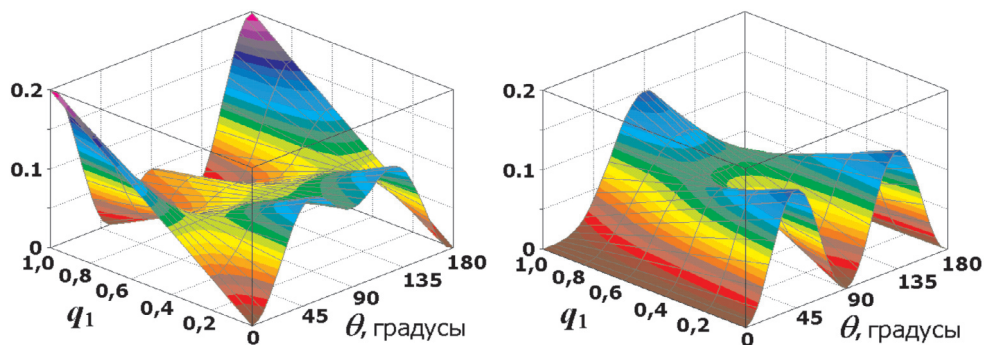


Рис. 1. Зависимость амплитуд симметризованных автокорреляционных функций 2-го ранга $K_0^{(2)}(q_1, \theta, t = 0)$ от значения динамического веса двумерного заторможенного состояния q_1 и ориентации главной оси симметрии кристалла θ : а) группа куба, $\phi = \pi/4$; б) группы C_3 и C_6 , $q_0 = 0$.

обусловленное симметрией, при конечных барьерах движения частично снимается. Оно снимается полностью, когда все различные молекулярные конфигурации не эквивалентны. Применение теоретико-группового метода позволяет установить операторные связи между различными конфигурационными положениями, а заторможенные состояния молекулы классифицировать по неприводимым представлениям (НП) группы симметрии движения. Изменение физических величин в результате теплового вращения описывается при помощи случайных во времени классических операторов поворота, которые не приводят к смешиванию состояний с различной симметрией НП конечной группы. Поэтому заторможенные состояния молекулы, симметризованные по отдельным НП группы ЗМД, являются инвариантами движения.

Таким образом, применение теории групп позволяет каждому НП $\Gamma_\alpha^{(\nu)}$ группы симметрии G классического молекулярного движения, где ν – ранг представления, ввести в соответствие заторможенное состояние молекулы $\langle \alpha, \nu |$. Пренебрегая ядерным спиновым изомеризмом, статический вес отдельного состояния молекулы можно приравнять весу μ_α НП $\Gamma_\alpha^{(\nu)}$, который, в свою очередь, равен характеру тождественного элемента $\mu_\alpha = \chi_{\alpha E}$.

Общий вес всех состояний $\langle \alpha, \nu |$ равен весу неприводимого представления $D^{(\nu)}$ непрерывной группы трехмерных вращений O^{3+} :

$$\sum_\alpha \mu_\alpha = \sum_\alpha \chi_\alpha^{(\nu)} = 2\nu + 1 \quad (1)$$

Нормированный вес $q_\alpha^{(\nu)}$ состояния $\langle \alpha, \nu |$ определится как:

$$q_\alpha^{(\nu)} = \chi_{\alpha E} / (2\nu + 1). \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) следует условие нормировки весов $q_\alpha^{(\nu)}$:

$$\sum_\alpha q_\alpha^{(\nu)} = 1. \quad (3)$$

В реальных кристаллах, т. е. при наличии искажения локальной симметрии, очевидно, что отдельным актам движения молекулы можно ввести в соответствие те же самые групповые элементы симметрии. Тем самым, геометрические повороты и отражения, свойственные абстрактной группе симметрии движения молекулы, сохраняются и в реальном ЗМД.

Согласно Вигнеру, указанные свойства симметрии ЗМД могут быть интерпретированы как присутствие в молекулярном движении природного закона инвариантности, связанного с симметрией взаимодействия молекулы с ее окружением (Вигнер, 1964). Это утверждение позволяет весу НП придать феноменологический физический смысл доли молекулярной величины, преобразующейся по данному НП и назвать веса $q_\alpha^{(\nu)}$ динамическими весами заторможенных состояний симметризованными по НП группы симметрии ЗМД. Поскольку объем конфигурационного пространства не меняется, то сохраняется и условие нормировки (3).

3. Симметризованные угловые функции автокорреляции

Аналитическое выражение автокорреляционных функций (АКФ) единичных сферических тензоров (нормированных сферических функций), полученное в рамках модели расширенных угловых скачков, имеет вид:

$$K_m^{(\nu)}(q_\alpha^{(\nu)}, \tau_\alpha, \theta, \phi, t) = \frac{2\nu + 1}{4\pi} \sum_\alpha \sum_{l=0}^\nu q_\alpha^{(\nu)} a_{\alpha lm}^{(\nu)}(\phi) \cos^{2l} \theta \exp(-\frac{t}{\tau_\alpha}), \quad (4)$$

где τ_α – время корреляции, симметризованное по НП Γ_α , θ и ϕ – полярный и азимутальный углы ориентации главной оси симметрии движения молекулы в лабораторной системе координат. Индексы ν и m соответствуют рангу и номеру искомой компоненты АКФ, α – номеру НП Γ_α точечной группы G и l – индексу промежуточного суммирования. Расчетные выражения сомножителей $a_{\alpha lm}^{(\nu)}(\phi)$ для точечных групп чистого вращения табулированы в работе (Баширов, 1997). Для поликристаллов выражение (4) упрощается к виду:

$$K_m^{(\nu)}(q_\alpha^{(\nu)}, t) = \frac{1}{4\pi} \sum_\alpha q_\alpha^{(\nu)} \exp(-\frac{t}{\tau_\alpha}). \quad (5)$$

Симметризованные времена корреляции τ_α рассчитываются по формуле:

$$\tau_\alpha = \left(1 - \chi_{\alpha E}^{-1} \sum_i p_i \chi_{\alpha i} \right)^{-1} \tau, \quad (6)$$

где $\chi_{\alpha i}$ и $\chi_{\alpha E}$ – характеры i -го и тождественного классов, p_i – вероятности элементарных актов движения, τ – среднее время между двумя последовательными актами движения.

Время τ удовлетворяет соотношению Аррениуса: $\tau = \tau_0 \exp(E_\alpha / RT)$, где E_α – усредненная по группе движения высота энергетического барьера активации ЗМД, τ_0 – среднее время между двумя последовательными попытками преодолеть барьер. Расчетной формулы для динамического веса $q_\alpha^{(\nu)}$ пока не существует, и в настоящее время, также как и τ_α , он является экспериментально определяемым параметром.

Обсуждение и выводы

1. Главное отличие АКФ, заданных выражениями (4) и (5), от АКФ, полученных ранее, заключается в том, что они содержат новые динамические параметры, динамические веса заторможенных состояний молекулы $q_\alpha^{(\nu)}$, от которых зависят начальные значения симметризованных АКФ. При помощи динамических весов учтено влияние симметрии окружения (позиционной симметрии) на свойства преобразования молекулярной переменной.

На рисунке 1 показаны графики зависимости амплитуд АКФ 2-го ранга $K_0^{(2)}(q_1, \theta, t = 0)$ от значений одного из динамических весов $q_1 \equiv q_1^{(2)}$ и полярного угла θ для молекулярных векторов, совершающих движения, точечная симметрия которых описывается группами кубической

(Рис. 1а) и гексагонально-тригональной (Рис. 1б) кристаллографических систем. Переменная q_1 соответствует динамическому весу двумерного НП для групп кубической сингонии и первого из двух двумерных представлений групп гексагонально-тригональной сингонии. Прямая линия, параллельная оси углов θ , соответствует отсутствию анизотропии АКФ для значения динамического веса, равного статическому весу $q_1 = 0,4$ (Рис. 1а). При отклонении позиционной симметрии от кубической симметрии ($q_1 \neq 0,4$) появляется анизотропия АКФ 2-го ранга, что согласуется с кристаллографическим принципом Неймана. Тетрагональному искажению позиционной симметрии соответствуют значения q_1 , равные $0 < q_1 < 0,4$ и тригональному – $0,4 < q_1 < 1$.

Для точечных групп симметрии молекулярного движения, ниже кубической, анизотропия амплитуд АКФ 2-го ранга присутствует всегда. Форма этой анизотропии для групп гексагонально-тригональной сингонии показана на Рис. 1б. Вес тождественного представления принят равным: $q_0 = 0$.

2. При помощи симметризованных времен корреляции τ_α определяется временная эволюция АКФ. Согласно выражению (6) тождественные повороты учитываются в данной теории как равноправные участники стохастического процесса. Тем самым, устраняется одна из недоработок теорий, развитых в рамках модели МФС, в которых считается, что тождественные повороты молекул не дают вклада в угловые АКФ.

3. Поскольку в жидкостях, также как и в твердых телах, существует порядок в ближайшем окружении, а в жидких кристаллах упорядочение возможно и на больших расстояниях, то формулы (4) и (5) могут быть использованы для описания ЗМД в любых конденсированных средах, состоящих из симметричных молекул. Более того, в них отражены микроскопические свойства движения молекул, не связанные с гидродинамикой сплошных сред, что дает им предпочтение при описании локальных форм тепловых движений малых молекул в жидкостях по сравнению с формулами, полученными в рамках модели МВД.

4. На основе автокорреляционных функций, вычисленных в рамках модели расширенных угловых скачков, был произведен расчет относительных интенсивностей спектров заторможенных движений молекул в кристаллах и жидкостях, получаемых методами диэлектрической спектроскопии (Bashirov, 1999), спектроскопии комбинационного и релеевского рассеяния света (Bashirov, 1997), инфракрасной спектроскопии (Bashirov & Gaisin, 1998), импульсной спектроскопии ядерного магнитного резонанса (Bashirov, 1996), и спектроскопии некогерентного рассеяния нейтронов (Bashirov, 2001; Баширов, Гайсин, 2002). Справедливость предложенного теоретического подхода подтверждается имеющимися в литературе экспериментальными данными.

5. Использование модели МРС для аппроксимации заторможенного движения ионов аммония позволило установить (Баширов, 2001), что анизотропия времен протонной релаксации в монокристалле хлорида аммония (Баширов, 1972) возникает в результате тетрагонального искажения кубической позиции ионов аммония в упорядоченной фазе вещества.

Литература

- Баширов Ф.И., Попов Ю.Л., Сайкин К.С., Даутов Р.А. Ядерная магнитная релаксация, вызванная случайными переориентациями молекулы в кристаллах. *ЖЭТФ*. Т. 62. Вып. 5. 1972. 1803-1810.
- Баширов Ф.И. Спонтанное нарушение симметрии в молекулярных кристаллах. *Кристаллография*. Т. 46. № 3. 2001. 494-499.
- Баширов Ф.И., Гайсин Н.К. Функция некогерентного рассеяния нейтронов в молекулярных кристаллах и жидкостях. *Химическая физика*. Т. 21. № 3. 2002. 32-40.
- Валиев К.А., Иванов Е.Н. Вращательное броуновское движение. *УФН*. Т. 109. №. 1. 1973. 31-64.
- Вигнер Е.П. Симметрия и законы сохранения. *УФН*. Т.83. 1964. 729-739.
- Дебай П. Полярные молекулы. М.–Л.: ГНТИ. 1934.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Физматгиз. 1963.
- Bashirov F.I. Proton spin-lattice relaxation in monocrystalline ammonium chloride. *J. Magn. Res. A*. V. 222. 1996. 1-8.
- Bashirov F.I. Angular autocorrelation functions in molecular crystals: application to NMR-relaxation and Raman spectra. *Mol. Phys.* V. 91. №. 2. 1997. 281-300.
- Bashirov F.I. & Gaisin N.K. Shape of molecular infrared absorption and raman scattering lines as probe of hindered molecular motion and site symmetry in crystals. *J. Ram. Spectroscopy*. V. 29. 1998. 131-142.
- Bashirov F.I. Dielectric properties induced by hindered molecular motion in crystals and liquids. *Eur. Phys. J. AP*. V. 8. 1999. 99-104.
- Bashirov F.I. Angular auto-correlation functions in molecular crystals and liquids: application to incoherent neutron scattering law. *Mol. Phys.* V. 99. 2001. 25-32.
- Hilt R.I. & Hubbard P.S. Nuclear magnetic relaxation of three spin system undergoing hindered rotations. *Phys. Rev. A*. V. 134. 1964. 392-398.
- Rigny P. Reorientations dans les cristaux moleculaires et fonctions de corrélation. *Physica*. V. 59. P. 1972. 707-721.

F.I. Bashirov. Hindered molecular motion in crystals.

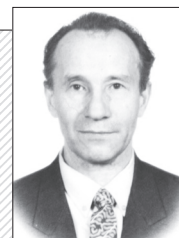
The description of the extended angular jump model offered by the author in order to approximate the hindered motion of small molecules in crystals and liquids is given. The idea of a continuous distribution of instantaneous orientations of the molecules, assumed as a basis of the model of rotational diffusion of Debye, combines dynamically with the hypothesis of its discreteness being a basis of the model of fixed angular jumps. Applications of the model to interpretation of the relative intensities of dielectric and infra-red spectroscopy, Raman scattering of light, incoherent neutron scattering and rate of the nuclear magnetic resonance relaxation confirm validity of the developed theory.

Key words: molecular crystals and liquids, spectroscopy, angular autocorrelation functions, symmetry distortion.

Фэрид Исрафилович Баширов

доцент кафедры общей физики КГУ, доктор физ.-мат. наук, выпускник физфака КГУ 1963 г., автор 98 научных и учебно-методических работ, имеет 10-летний стаж преподавательской работы за рубежом, владеет французским и английским языками, область основного научного интереса: молекулярная спектроскопия конденсированных сред.

Казанский государственный университет
420008, Россия, Казань, Кремлевская, 18.
Тел./Факс: (8432) 315194



НАНОНАУКА И НАНОТЕХНОЛОГИЯ. ОБЩИЙ ВЗГЛЯД – ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ

Рассмотрены различные аспекты, достижения, перспективы и проблемы нанонауки и нанотехнологии как разделов естественных наук, включающих физикохимию изучения и использования ультрамикрочастиц веществ, молекул, двумерных систем или других объектов с размерами в 1–10 нм, или, более широко, в 1–100 нм, в различных областях науки, техники и производства. Нанотехнология как следствие нанонауки манипулирует объектами указанных размеров, а также их предшественниками, т.е. атомами с размерами до 500 пикометров (пм), десятными долями нанометра.

Ключевые слова: молекулы, частицы и объекты нанометрового диапазона, нанотерминалогия и её история, поверхностные явления и катализ, аномальные физические свойства объектов.

1. Общие положения

Термин нанотехнология был отмечен впервые японским исследователем Н. Танигучи (Norio Taniguchi) в 70-х годах 20 века (Encyclopedia..., 2007), а начал распространяться в 90-х 20 в. применительно к традиционным областям получения, исследования и использования частиц металлов и других веществ, размерами менее 100 нм, получаемых методами взрыва, плазмохимии и конденсацией при реакциях в газовой среде и в растворах электролитов (аэросилы, гели, золи (Рис. 1), кластеры (Рис. 2), коллоидные металлы, ультрадисперсные частицы (УДЧ)). Термин упоминался в англоязычных словарях в 1974, «как искусство манипулирования объектами на атомном и молекулярном уровне». Идея работ на ультраминиатюрном уровне была высказана еще ранее, в 1959, американским физиком Р. Фейнманом (Richard Feynman).

Напомним: нано (n-, н...) (< лат. *nanos* карлик) приставка для образования наименования дольных единиц, равных одной миллиардной доле исходных единиц, например, 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м, 1 нс (наносекунда) = 10^{-9} с. Область объектов сверхмалых размеров (Рис. 4) была и ранее предметом коллоидной химии, электрохимии, науки о гетерофазном катализе (кластеры, надкластерные образования и частицы зольей, УДЧ в 1–5 нм и др.) и, вообще, науки о поверхностях раздела (емкое английское слово *interface*) и «драмах», происходящих на поверхности на атомно-молекулярном уровне (Натансон, 1959; Сайфуллин, 1983; 1990; Saifullin, 1992).

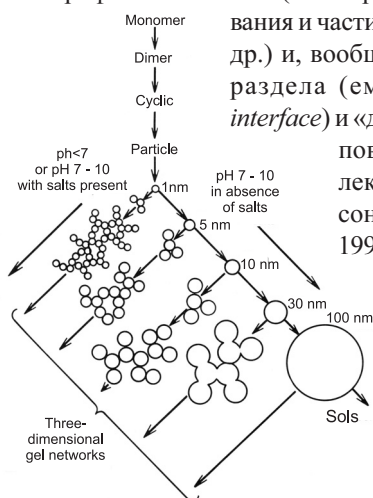


Рис. 2. Икосаэдрические (некристаллические) объединения сравнительно небольшого количества атомов (13-, 55- и 147 соответственно) в кластеры (Encyclopedia..., 2007).



Всплеск интереса к нанообъектам в первую декаду 21 в. обязан появившимся возможностям создания тончайших поверхностных пленок, супрамолекул, нанотрубок (Рис. 3), успехам плазмохимии, появлению атомной электронной микроскопии и других физических методов изучения ультрамикромра (Сайфуллин и др., 2001; 2005). Приведем некоторые сравнения: размеры самых крупных атомов, а именно, рубидия и цезия – ок. 0,5 нм; минимальные размеры твердых частичек (возможно субкристаллов, квазикристаллов) и капель – 1–2 нм; золи золота – 3–50 нм; тончайших пор активированного угля – 1–10 нм; поперечник пряди ДНК – 2,5 нм; молекулы гликогена – 10 нм. Многие вирусы имеют размеры 10–100 нм. А видимый невооруженным глазом минимальный размер (толщина человеческого волоса в 80–100 тыс. нм, т.е. около десятой доли мм) превышает указанные величины на 3–4 порядка.

Объекты нанотехнологии (фуллерены и нанотрубки, защитные слои, лекарственные средства, поверхность адсорбентов и катализаторов, изделия ультроикроэлектроники и др.) проявляют новые выраженные химические и физические свойства, отсутствующие у микро и макрообъектов.

Отметим некоторые достижения: наноусы («нановискеры» – “*nanowhiskers*”) длиной ок. 10 нм, молекулярно «сцепленные» в натуральные и синтетические волокна применяют в тканях специального назначения, нанокристаллы оксида цинка ZnO используются в невидимых (прозрачных) экранах, блокирующих УФ, а подобные кристаллики серебра, внедренные в медицинские перевязочные материалы, нейтрализуют бактерии и защищают от инфекций. Углеродные нанотрубки, открытые С. Жижима (Sumio Iijima) в Японии в 1991, применяют в современных средствах освещения (“*jumbotron*” лампы). Созданы дисководы ПК, химические, фотохимические и биологические сенсоры в целях мониторинга окружающей среды, охраны здоровья, обнаружения средств терроризма и наркотических веществ, контроля лекарств, а также обнаружения рако-

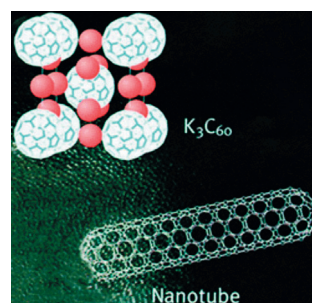


Рис. 3. Элементарная ячейка бакминстерфуллеренида капля ($Z = 2$), и изображение нанотрубки из молекул фуллерена C_{60} (Encyclopedia..., 2007).

вых клеток. Созданы «нанозелеваторы» для манипулирования молекулами, устройства для удаления, переноса, пересадки отдельных атомов или их групп (Рис. 5). Ультратонкие покрытия обеспечивают поверхностям любую степень прозрачности, стойкость к радиации, коррозии и износу. Создаются электронные, магнитные и механические изделия и системы с беспрецедентной скоростью обработки информации. Ожидают применения сверхминиатюрные устройства, вживляемые в организм с целью адресной доставки туда лекарственных средств или диагностирования.

Итак, нанотехнология – высокомеждисциплинарная наука о средствах получения и использования ультрамикроробъектов. Она включает как чистую науку (знания о химических, физических и биологических свойствах материи на надатомно-молекулярном уровне), так и прикладную (технология).

В противоположность современным научно-техническим стремлениям в нанотехнологии природа создала и развивает эту технологию в течение миллиардов лет, приме-

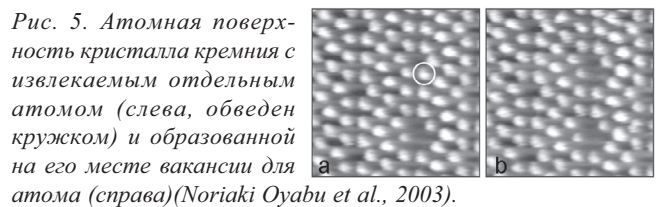


Рис. 5. Атомная поверхность кристалла кремния с извлекаемым отдельным атомом (слева, обведен кружком) и образованной на его месте вакансии для атома (справа) (Noriaki Oyabu et al., 2003).

няя с мастерской точностью энзимы и катализаторы для организации и сбора различных видов атомов и молекул в сложные микроскопические структуры, которые делают возможной жизнь. Создания природы обладают впечатляющими способностями, такими как восприятие солнечной энергии, превращение минералов (неорганические вещества) и воды в живые клетки, умение собирать и обрабатывать массивную информацию, а, используя «армию» нервных клеток, – умело копировать миллиарды битов информации в молекулах ДНК.

Итак, основная причина для качественного выделения поведения материалов на наноуровне (традиционно по шкале менее 100 нм) это – проявление у них квантово-механических эффектов с особенностями своей химии и физики, связанное с проявлением у их компонентов высокой удельной поверхности.

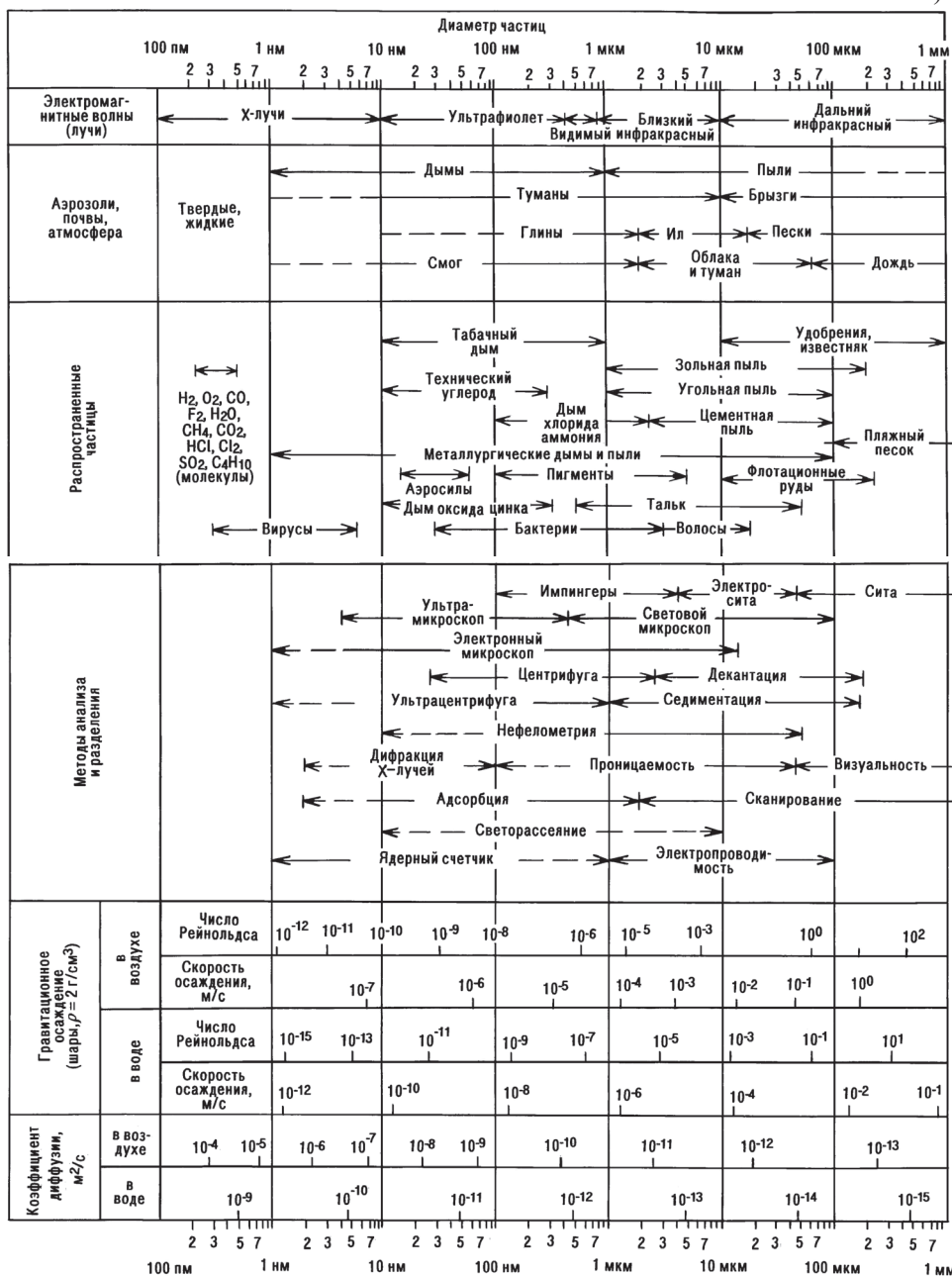


Рис. 4. Физические характеристики частиц, их классификация и методы идентификации (Сайфуллин, 1990).

Последняя в простейшем случае, для частиц сферической и кубической форм, выражается зависимостью $S_{уд} = 6/dl$, где d – плотность вещества, l – диаметр сферы или величина ребра куба.

Последствия дезинтеграции материи до УДЧ, или получение их конденсацией из атомно-молекулярного уровня видны из Рис. 5–8.

Каковы свойства ультрадисперсных частиц? Это ассоциация минимум нескольких тысяч атомов или молекул, обладающих высокой удельной поверхностью, а, следовательно, и высокой поверхностной энергией и подвижностью (Рис. 7).

Предельно малые размеры твердых частиц составляют ок. 1 – 2 нм (напр. благородных металлов или кремния), когда они обладают трехмерной упорядоченностью структурных единиц. Это – надкластерные частицы, весьма склонные к агрегированию и способные к самостоятельному существованию в вакууме или защитной среде. Они получают конденсацией из газовой среды (напр. металлы, диоксид кремния в виде упомянутого аэросила или технического углерода (сажа)), или кристаллизацией из водных растворов, в частности ионной реакцией (например, $BaSO_4$, сульфиды d -металлов). УДЧ многих видов тугоплавких веществ (например, В, С, Si,

Al_2O_3 и другие оксиды, бориды, карбиды) получают плазмохимическими реакциями.

В наномире материальные объекты попадают в совершенно иное состояние. Инертнейшие в компактном (макроскопическом) состоянии тела, золота и платина, будучи переведены в наноразмерное состояние становятся исключительно каталитически реакционноспособными и сверхлегкоплавкими. Из рисунка 8 видно, как резко падает температура плавления частицы при её диспергировании в нанобласть. Тугоплавкая платина переходит в разряд легкоплавких металлов, а калий становится жидким уже при температурах жидкого азота или кислорода.

Температура плавления кластера (T_c) как функции ее поперечного размера в виде ребра куба или диаметра шара (d) выражается соотношением:

$$T_c = T_{tab} \exp[-(\gamma M / \Delta H_m d \rho)],$$

где T_{tab} – табличная температура плавления, γ – поверхностная энергия, M – молярная масса, ΔH_m – энтальпия плавления, ρ – плотность.

Известен, также, экспоненциальный характер повышения упругости паров вещества при переходе его в ультрамикросостояние:

$$p_c = p_{tab} \exp[-(4\gamma M / RTd\rho)],$$

где p – соответствующие значения упругости паров, R – газовая постоянная.

Живучесть УДЧ находится под угрозой, что следует из наличия критического размера кристалла или капли, ниже которого они термодинамически неустойчивы

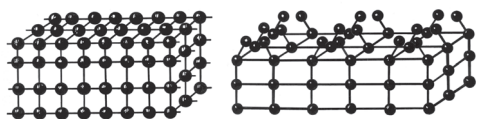


Рис. 6. Схемы вынужденного изменения межатомного расстояния при создании поверхности кристалла: слева – уменьшением межплоскостного расстояния, или, справа – образованием атомных пар.

(Рис.9). В кластерах размером в несколько нанометров суммарная энергия атомов сопоставима с поверхностной энергией объекта, некристалличность которого сохраняется обычно до объединения частиц числом вплоть до 2000.

Вот примеры повышенной активности ультрамикроразмерных объектов и проявления ими «необычных» свойств:

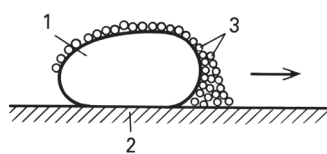
а) кластер из нескольких атомов ртути не проводит электрический ток, а объединение сотен таких атомов (еще не кристалл) проявляет металлические свойства;

б) металлические ртуть и галлий, будучи внедренными в узкие, диаметром в 4 нм, каналцы борсиликатного стекла, существуют в жидком состоянии вплоть до сверхнизких температур 30 – 50 К;

в) УДЧ нитрида титана TiN ($T_{п}$ 2950 °С) способны спекаться при температурах на 900 °С ниже, чем температуры спекания микропорошков этого вещества в классической порошковой металлургии;

г) нанобъекты различной геометрии, полученные

Рис. 7. Схема диффузии УДЧ (1) на твердой поверхности (2) путем перетекания ее поверхностных атомов (3) благодаря градиенту температуры, давления, потенциала или других факторов.



направленной комбинацией атомов углерода (волокна, нанотрубки, мономолекулярные слои и др.) обладают прочностью почти как у алмаза;

д) кристаллы наноалмаза (псевдоалмаз – разновидность углерода, искусственно полученная при детонации смеси тринитротолуола и циклотриметилентринитроамина) обладают тетрагональной структурой ($a = 358,5$ пм, $b = 345$ пм) в отличие от куб. модификации β -C с параметром $a = 355,95$ пм. Частицы его имеют предположительно полую шарообразную форму, в частности, с диаметром ок. 5 нм и толщиной стенок 0,6 нм, т.е. в несколько атомных слоев (размер атома углерода в алмазе 154 пм).

2. Краеугольные камни в развитии нанотехнологии (пионеры и фантасты)

Лауреат Нобелевской премии по физике (1965) Ричард Фейнман еще в 1959 на лекции Американскому физическому обществу представил свое видение будущего в связи с экстремальной миниатюризацией материалов, заявив: «Если мы способны на кончике иглы изобразить текст Нового завета, то почему нельзя поместить туда все 24 тома “*Encyclopedia Britannica*”? При увеличении в 25000 раз головка иглы займет площадь текста энциклопедии». Он отметил также высокую разрушающую и созидующую силу вездесущих микроскопических клеток, носителей информации, которыми необходимо и можно будет манипулировать. Американский физик К. Дрекслер (К. Eric Drexler) начав статьями (1981) и книгами *Engines of Creation* (1986) и *Nanosystems* (1992), был одним из первых в нанонауке. Им получена докторская степень, первая в области молекулярной нанотехнологии. Он описал молекулярное видение мира и предсказал «молекулярные машины» будущего – «конструкторов» (“*assemblers*”), способных манипулировать отдельными атомами, чтобы создать необходимые структуры, а также «размножителей» (“*replicators*”), способных воспроизводить себя, экономя время, работая с миллиардами молекул с целью создания полезного размера изделия. Он отметил в 1990: «Клетки и ткани в теле человека созданы и поддерживаются молекулярной системой машин (*mashinery*), которая в то же время может вести себя неадекватно – размножать вирусы, распространять раковые клетки, старить и разрушать. Новые молекулярные машины и компьютеры субклеточного размера смогут поддерживать собственные механизмы тела. Системы с наноконピューтерами обратятся к молекулярным сенсорам и их рычагам для усиления иммунной системы, ищущей и разрушающей вирусы и раковые клетки. Подобные устройства откроют новые горизонты в медицине».

Некоторые вехи достижений. В лабораториях *Bell-Company* в 1968 изобретена молекулярно-лучевая эпитаксия (*molecular beam epitaxy*), позволившая два года спустя получить контролируемое однослойное атомное покрытие, а, следовательно, и следующие подобные наслаивания на первый слой. Это позволило получать сэндвичевые слои в производстве полупроводников (ПП), представляющих один слой немагнитного сенсорного материала толщиной в 1 нм, заключенный между двумя магнитными слоями в компьютерном диске. При этом значительно увеличивается емкость диска.

В 1981 г. в лаборатории ИВМ в Швейцарии американский

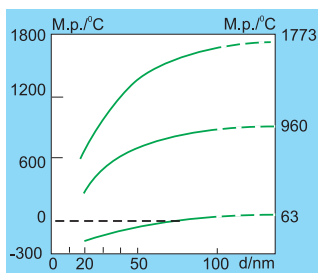


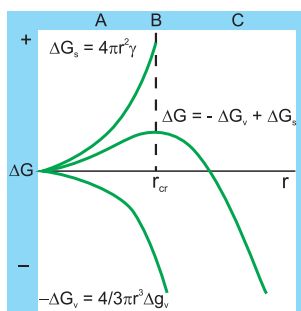
Рис. 8 Температуры плавления УДЧ в зависимости от их размеров. Сверху вниз: платина, серебро, калий.

физик К. Дрекслер (К. Eric Drexler), Г. Винниг (G. Binnig) и Г. Ропер (H. Rohrer) создали сканирующий туннельный микроскоп (Нобелевская

премия по физике 1986), что явилось революционным шагом, позволившим исследователям наблюдать индивидуальные атомы на твердой поверхности.

Принцип работы микроскопа (Рис. 10) основан на квантово-механическом явлении – туннелировании. УДЧ с волновыми свойствами дозволено туннелировать вне поверхности твердого тела туда, куда согласно законам классической физики вход им запрещен. Создатели микроскопа

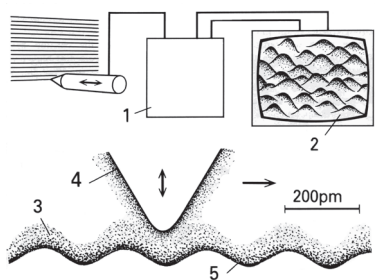
Рис. 9. Изменение энергии Гиббса (ΔG) кристалла в зависимости от его размера r . Области: А – субзародышей; В – критического зародыша; С – сверхзародышей. Индексы v и s относятся соответственно к объемной и поверхностной составляющей изменения энергии; r_{cr} – критический радиус кристаллитов; $\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta H_{np} (\Delta T/T_{np}) + 4\pi r^2 \gamma$, где ΔH_{np} и T_{np} – энтальпия и температура превращения; ΔT – градиент температуры относительно T_{np} ; γ – межфазная энергия.



впервые рассматривали поверхность золотого образца, когда на дисплее наблюдали ровные строи атомов и террасы между ними, изображающие оригинальные ступени роста или декристаллизации. Ступени имели высоту, равную размеру одного атома (ок. 0,3 нм). Далее, микроскоп позволял не только наблюдать атомы, но и перемещать («толкать») их по поверхности. Слабым смещением напряжения, приложенного к игле, стало возможным «приклеивать» отдельные атомы и затем их «скидывать». Таким путем в 1990 в той же компании Д.Эйглеру (Donald Eigler) удалось поместить (перенести) 35 атомов ксенона на определенное место на поверхность никеля.

Важным краеугольным камнем было открытие в 1985 учеными США и Британии фуллеренов, новых структурных модификаций углерода (Рис. 11), отмеченное в 1996 Нобелевской премией по химии. Затем были достигнуты новые успехи, созданы его многочисленные соединения, особенно много с органическими радикалами. В 1991

Рис. 10. Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа: 1 – ЭВМ; 2 – дисплей; 3 – электронное облако; 4 – сканирующая игла; 5 – исследуемая поверхность. Стрелками показаны направления перемещения (сканирование) иглы. Под влиянием регулируемой величины туннельного тока острие иглы удерживается на определенном расстоянии от поверхности атома – уплотнения электронного облака; бугры относятся к отдельным атомам.



японские исследователи создали нанотрубки, у которых кольцеобразные структуры фуллерена вытянуты из сфер в длинные трубки разного диаметра (Рис. 3).

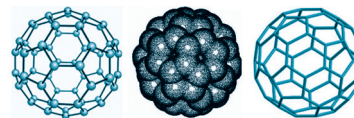
Свойства материалов при наномасштабах. Понятия о составе и структуре вещества, как определяющих факторах для свойств и назначений материала, на наноуровне отходят от обычных представлений ввиду первостепенного проявления квантования и роли величины межфазной границы – соразмерности объекта и волновой функции. Последняя в ПП имеет порядок 10–100 нм и отвечает длинам волн (возбуждению) электронов, фотонов, фононов и магнонов. Возбуждения несут кванты энергии сквозь материю, определяя динамику своего распространения и перехода в другие формы энергии. Квантовая механика эксплуатируется давно в области электроники твердого тела для направленного перемещения электронов. Это – ПП устройства с разнообразной послойной структурой, сверхструктуры сплавов в каскадных лазерах для получения дальних инфракрасных излучений, барьеры для перемещения электронов, туннельный эффект, резонирующие туннельные диоды, квантовые скважины в телекоммуникациях, фотонные кристаллы, сверхструктурные кристаллы с послойной дифференциацией диэлектрических свойств.

Наноматериалы обладают размерозависимыми магнитными, механическими и реактивно-химическими характеристиками. При размерах в несколько нанометров кластеры обладают единичными магнитными доменами. Сильно спаренные магнитные спины на каждом отдельном атоме объединяются с тем, чтобы образовать свой «гигантский» спин. Такой спин ферромагнитного железа в пределах диаметра 16 нм и менее при комнатной температуре вращается свободно. Эффект обозначается как суперпарамагнетизм. В связи с этим отмечено например увеличение прочности тонкой пленки никеля от 0,15 до 5 ГПа при нанесении на него слоя оксида алюминия Al_2O_3 толщиной 2 нм.

Перспективы. Через подражание природным сверхпрочным наноструктурированным ансамблям (ракушки морских улиток, комбинации карбонатов с клейким гликопротеином) будут созданы экономичные по массе и расходу энергии материалы полимер-клей для транспорта. Другое направление – миниатюризация сенсоров (мозги современных контрольных систем). Их десятки в автомобилях – крупных потребителях сырья и материалов, переходящих впоследствии в «шикарный мусор». Другая жизненно важная область назначения будущих микросенсоров – распознавание опасных болезней в организме и лечение.

В области переработки продуктов питания, биоэнергии, в очистке жидких и газовых сред и выделении из них ценных или опасных веществ и создании эффективных топливных элементов необходимы тончайшие фильтры. Важнейшие результаты должны быть получены в изучении роли наночастиц углерода в экологии и охране здоровья. Эти частицы – выхлопы автомобилей, продукты и выбросы предприятий, включая компоненты фото- и печатной техники, износа автомобильных шин, массовое произ-

Рис. 11. Структура фуллерена C_{60} (бакминстерфуллерен) в точечном, шаровом и полидрическом изображении (при 110 К – гранецентрированная кубическая решетка, $a = 1405,2$ нм ($Z = 4$), d (вычисл.) 1,722). Размер молекулы около 1 нм (Encyclopedia..., 2007).



водство которых связано с использованием канцерогенных наночастиц сажи («технический углерод») и аэросилов (высокодисперсный диоксид кремния). Другие наночастицы, например диоксид титана и другие оксиды распространены как пищевые добавки или компоненты лекарств. Их выход в воздух, дыхание ими, адсорбция в организм через кожу и другие органы ставят новые проблемы.

Важна доставка лекарств к нуждающимся в них органам. Более половины создаваемых ежегодно лекарств водонерастворимы, что не гарантирует их полное усвоение. Последнее будет обеспечено предварительным капсулированием их в нанодиспергированном состоянии для последующей доставки по назначению. Особая роль принадлежит дендримерам и фуллеренам с полостями, могущими включать в себе макромолекулы других веществ и отдавать их затем в заранее указанные места организма.

Допускается использование капсул, покрытых тончайшим слоем золота, способным поглощать свет с различными длинами волн. Поскольку инфракрасный свет способен проникать на несколько сантиметров вглубь тканей, то он может прогревом освободить содержимое капсулы (лекарство) в заданном месте для воздействия на пораженный орган. Помимо этого, к внешней поверхности золота могут прикрепляться антитела, специфически связывающие злокачественные клетки и предохраняющие их от «расползания».

Биоанализы. Создание и развитие генноуровневого оборудования, способного иметь дело с отдельными генами, использование наночастичных ПП, например, селенида кадмия CdSe, излучающего волны разной частоты в зависимости от размера частиц, использование наночастиц из золота для раскрепления отдельных сегментов ДНК на разные стороны этой частицы и прикрепления магнитных наночастиц к антителам.

Разработаны микрожидкостные системы (“*labs-on-chips*”) для микробиохимического анализа, все электронные и механические компоненты которых вмещаются в объем, размером не более кредитной карты. Это важно, например при анализе ДНК, весьма чувствительного к энтропийному эффекту. Нанощкалы прибора позволяют дифференцировать их молекулы с разными длинами без их повреждения. В перспективе для корректировки зрения станут реальными микрофотодетекторы, подающие сигнал через оптические нервы от сетчатки глаза в головной мозг. Ряд наносистем предназначается для вживления в нейроны мозга с целью регулирования двигательных функций организма.

Молекулярная электроника. Молекулы органических веществ перечеркиваем в пол-нанометра и длиной в несколько нанометров и ДНК, помещенные на кремниевый чип могут стать основой миниатюризации видеотранзисторов. Для магнитных хранителей информации становятся реальным «плавание» головки над диском на расстоянии всего 10 нм.

Моноэлектронные транзисторы. При наномасштабах величина энергии, необходимая для помещения электрона на отдельный физический островок с преодолением туннельного барьера, становится значительной, что является основой для компоновки моноэлектронного транзистора, что реально при низких температурах, когда малы термические флуктуации. Устройство для работы при комнатной температуре должно быть еще более миниатюризованным, вплоть до размера в 1 нм.

Нанотрубки и нанопровода. Углеродные нанотрубки (Рис. 3) могут быть ПП или эффективными проводниками тока. Совершенные нанотрубки «баллистичны», т.е. ток в них имеет незначительное рассеивание и низкие потери, следовательно, в удельном отношении они являются лучшими проводниками тока. Такой провод диаметром в 1,4 нм в сотню раз меньше, чем ширина заповорв в приспособлениях с кремниевыми полупроводниками. Последние используются в экспериментальных устройствах, таких как «полеэффектные» и биполярные транзисторы, инверторы, светоизлучающие диоды, сенсоры и, даже, в простых образцах искусственного интеллекта.

Печатные устройства. Наномасштабные впечатывания, штамповка и литье способны перейти в диапазоны размеров в 20 – 40 нм, где возможно использование способности органических тиолов прочно адсорбироваться на поверхности золота (тонкие слои его).

Заключение

Спектр современных поисков в России и мире в рассматриваемой области виден, помимо перечисленного выше, и из материалов двух последних Менделеевских съездов по общей и прикладной химии 2003 и 2007 гг., где доклады и сообщения по нанотехнологии были выделены в отдельные секции (Материалы... 2003; Химия... 2007).

Тематика докладов охватывает области получения и изучения УДЧ веществ различных классов многими методами, включая механо-, электро-, биохимическую, лазерную и стандартные химические методы, а также использованием частиц для создания композиционных материалов и покрытий, в том числе композиционных электрохимических покрытий (КЭП), систем с органическими полимерами (растворы и твердые тела), а также нанотрубок и сенсоров на их основе. Исследуются керамические материалы, стекла, фильтры, поверхностные свойства (адсорбция, катализ и др.).

В докладе ВИНТИ РАН на съезде приведены следующие данные: по нано-науке, -технологии, -материалам, -изделиям в 2006 в мире было опубликовано 38 тыс. статей. Периодические издания с этими публикациями включают как классические журналы химического и физического профиля, так и новые 83 журнала, полностью посвященные нанотематике. Среди последних 41 журнал издается в США, 15 в Великобритании, 7 в Германии, 5 в Нидерландах и по несколько журналов в других наукообразующих странах (Россия, Украина, Китай, Япония, Швейцария). В сумме с рассматриваемой тематикой общаются до 300 периодических изданий. Отметим также некоторые новые монографии (Уайтсайдс, Эйглер, 2002; Гусев, 2005) и учебные пособия (Кобаяси, 2005; Андриевский, Гоголя, 2005; Сергеев, 2006) в области нанохимии и нанотехнологии.

В заключение следует отметить и личные области интересов авторов в нанотехнологии. В течение последнего десятилетия группой исследователей развивалось важное направление в области прикладной электрохимии – теория и практика композиционных электрохимических покрытий (КЭП). Рожденное в КХТИ еще в начале 1960-х, оно использует сегодня (в отличие от прошлого) в качестве дисперсной фазы в тонких металлических слоях наночастицы простых веществ (B, C, Si), оксидов (Al₂O₃, SiO₂, TiO₂), боридов, карбидов, нитридов. Рождение и развитие этого направления отражено в подробной статье в

Школьный геологический музей – 10 лет



Исполнилось 10 лет со дня основания школьного геологического музея в 15-ой татарской гимназии Кировского района города Казани. Коллектив гимназии с преподавателями геологического факультета КГУ проводят большую работу по формированию коллекций образцов, их классификации по различным разделам геологии. Проводятся занятия по природоведению, географии с углубленным изучением основ геологии. Учеников интересуют проблемы: от вопросов мироздания до вопросов строения минералов и полезных ископаемых. Особый интерес

представляют экспозиции, связанные с геологией и полезными ископаемыми Волжско-Камского региона, одного из древнейших регионов развития цивилизации. Именно этот регион являлся одним из центров металлургического производства, основу которого составляли медные руды, разрабатывавшиеся еще в 3-ем тысячелетии до н.э. племенами фатьяновской культуры. Их разработка способствовала развитию торгово-культурных связей древнего Татарстана с другими регионами.

Интересны витрины геолого-палеонтологических коллекций, где представлены ископаемые остатки девонской, каменноугольной, пермской систем. Это и коллекции мезозоя Татарстана – белемниты («чертовы пальцы»), остатки аммонитов, гигантских раковин симберскитосов – остатков головоногих моллюсков юрского моря. Большим вниманием пользуются бивни и зубы мамонта, остатки рогов древних оленей. Особой значение в экспозициях музея уделено главному богатству Татарстана – нефти. Большой вклад в организации экспозиции внесли сотрудники ТГРУ ОАО «Татнефть», ЦНИИГеолнеруд. Знакомство с геологическими экспозициями расширяет кругозор учеников гимназии и демонстрирует значение Татарстана как одной из мощных минерально-сырьевых баз России.

Созданию школьного геологического музея способствовала инициатива директора гимназии Ф.Ф. Харисова, к.пед.н, завуча Ф.С.Садыковой, зав.библиотекой И.С. Гарафутдиновой, а также всего преподавательского коллектива гимназии, оказавшего поддержку при решении трудных организационных вопросов. В настоящее время на базе музея гимназии периодически проводятся семинары для учителей школ и другие мероприятия, способствующие как развитию педагогического процесса, так и делу формирования у молодого поколения осознанного патриотического отношения к родному краю.

В.Г.Изотов, Л.М.Ситдикова

Окончание статьи Р.С. Сайфуллина и др. «Нанонаука и ...»

сборнике (Сайфуллин, 2007). Ряд результатов исследований опубликован, в частности, в (Сайфуллин и др., 2004; 2006) и в ежегодных, начиная с 2004, материалах Международных конференций (Сайфуллин и др., 2007).

Литература

Андривский Р. А., Гоголя А. В. *Наноструктурные материалы*. М.: Изд. центр «Академия». 2005. 192.

Гусев А. И. *Наноматериалы, -структуры, -технологии*. М.: Физматгиздат. 2005. 414.

Кобаяси Г. Н. *Введение в нанотехнологию*. М.: Бином. 2005. 134. *Материалы и нанотехнологии. 17 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тез. докл.* Казань. Т.2. 2003.

Натансон Э. М. *Коллоидные металлы*. Киев: Изд. АН УССР. 1959. 348.

Сергеев Г. Б. *Нанохимия*. М.: Книжный дом «Университет». 2006. 336.

Сайфуллин Р. С. *Неорганические композиционные материалы*. М.: Химия. 1983. 304.

Сайфуллин Р.С. *Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов*. М.: Химия. 1990. 240.

Сайфуллин Р.С. *Рождение нового научного направления в кн.: Лидеры научных школ КХТИ-КГТУ*. Казань: ЗАО «Новое знание». 2007. 203-223.

Сайфуллин, Р. С. Сайфуллин А.Р. *Универсальный лексикон: Химия, физика, технология*. М.: Логос. 2001; 2002. 448.

Сайфуллин Р.С., Абрамовская Е.С., Агеева Е.А. и др. Сер. статей: *Наноструктурированные композиционные электрохимические покрытия. Сб.: «Современные проблемы специальной технической химии*. 2007. 311-319.

Сайфуллин, Р.С. Водопьянова С.В., Мингазова Г.Г., Фомина Р.Е. *Наноконпозиционные электрохимические покрытия с матрицами из меди и хрома. Изв. вузов Сев.-Кавказского региона. Технич. науки. Спец. вып.* 2004. 31-38.

Сайфуллин, Р. С., Водопьянова С. В., Сайфуллин А. Р. *Достижения естественных наук и эра Нобелевских премий*. Казань: Фэн. 2005. 364.

Сайфуллин Р.С., Гревцев В.А., Водопьянова С.В. и др. Сер. статей: *Композиционные электрохимические покрытия с матрицами из цинка и олова. Вестник КГТУ*. 2006. № 3. 97-133.

Уйтсайде Д., Эйглер Д. *Нанотехнология в ближайшем де-*

сятилетии (прогнозы, направление исследований). М.: Мир. 2002. 249.

Химия материалов, наноструктуры и нанотехнология. *18 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тез. докл.* М. 2007. Т.2.

Encyclopedia Britannica. 19-th Ed.: Encyclopedia Britannica Inc. Chicago. Vol. 1-26. 2007.

Noriaki Oyabu, Oscar Custance et al. Mechanical vertical manipulation of selected single atoms by soft nanoindentation using near contact atomic force microscopy. *Phys. Rev. Lett.* 90. 2003. 176102.

Saifullin R. S. *Physical Chemistry of Inorganic Polymeric and Composite Materials*. Ellis Horwood Ltd. 1992. 240.

R.S.Sayfullin, A.R.Sayfullin. **Nanoscience and Nanotechnology. Common Outlook – From Past to Future.**

Various aspects, achievements, perspectives and problems of nanoscience and nanotechnology are considered. The nanoscience and technology are part of natural sciences including physicochemistry of ultramicroparticles of substances, molecules, two-dimensional systems and other objects with sizes in 1–100 nanometres. Nanotechnology as a consequence of nanoscience operates with subjects of above-named sizes and their precursors, i.e. atoms with sizes up to 500 picometres (decimal parts of nanometres).

Key words: molecules, particles and objects of nanometric dimensions, nanoterminology and its history, interface and catalysis, anomalous physical properties of objects and their quantum mechanical evaluation.

Ренат Саяхович Сайфуллин

докт. техн. наук, проф. каф. технологии неорганических веществ и материалов

Адель Ренатович Сайфуллин

канд. хим. наук.

Казанский гос. технологический университет
420015, Казань, К.Маркса, 68. Тел.: (843) 272-80-20

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Геотермальные ресурсы являются важнейшим источником развития энергетики, редкометальной и химической промышленности, санаторно-бальнеологического и агропромышленного комплексов. Россия обладает огромными запасами гидрогеотермальных, т.е. аккумулированных в подземных водах, и петротермальных, аккумулированных в горных породах, ресурсов. В то же время в России они используются далеко недостаточно. Быстрый рост энергопотребления, ограниченность и удорожание ресурсов невозобновляемого топлива, обострение экологических проблем заставляют мировую экономику широко использовать альтернативные источники энергии.

Ключевые слова: геотермальные ресурсы, геотермальная энергетика, гидроминеральное сырье, комплексное использование, устойчивое развитие.

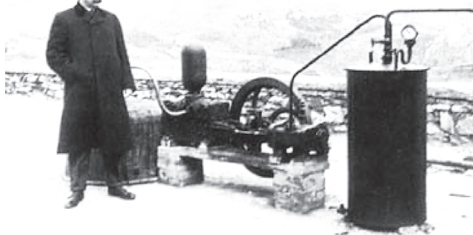
Эффективное использование энергии является важным показателем научно-технического и экономического уровня развития страны. Сопоставление показателей энергоэффективности экономики России с другими странами показывает, что удельная энергоемкость нашего внутреннего валового продукта (ВВП) в несколько раз выше, чем в высокоразвитых странах. Так, уровень энергопотребления в расчете на единицу сопоставимого ВВП в России в 4 раза выше, чем в США, в 3,6 раза выше, чем в Японии, в 2,5 раза выше, чем в Германии. Резервы экономии энергоресурсов в России могут составить 40 – 50 % от уровня потребляемых топлива и энергии. Проблема эффективного использования энергоресурсов во многом может быть решена за счет использования альтернативных источников энергии.

1. Введение

Использование внутреннего тепла Земли насчитывает много столетий. Сначала оно применялось в бытовых и лечебных целях в местах наиболее активного проявления глубинной геотермальной активности, а затем уже в XX веке использование геотермальной энергии приобрело широкие промышленные масштабы (Svalova, 1998; 1999; 2000). Во многих развитых странах геотермальные ресурсы стали основой для развития высокотехнологичных отраслей индустрии.

В июле 2004 года геотермальная общественность широко отметила столетие геотермальной энергетики. 4 июля 1904 года в Лардерелло, Италия, Пьеро Джинори Контти (Prince Piero Ginori Conti (1865 – 1939)) провел первый в мире эксперимент по производству электроэнергии из геотермального пара (Рис. 1). А через 9 лет, в 1913 г. в Италии в Лардерелло была пущена в промышленную эксплуатацию первая геотермальная электрическая станция мощностью 250 кВт, действующая до сих пор (Рис.2).

Рис. 1. Устройство, использованное в Лардерелло в 1904 г. в первом в мире эксперименте по производству электроэнергии из геотермального пара, и его изобретатель Пьеро Джинори Контти.



В 2004 году отмечалось также 50-летие Российской геотермальной энергетики. 15 марта 1954 г. Президиум Академии Наук СССР принял решение создать Лабораторию по исследованию геотермальных ресурсов в Петропавловске-Камчатском. А уже в 1966 г. на Камчатке была построена и пущена в эксплуатацию первая геотермальная электрическая станция на реке Паужетка мощностью 5 МВт с традиционным циклом. К 1980 г. мощность Паужетской ГеоЭС была доведена до 11 МВт. Станция и сейчас успешно работает. В 1967 г. заработала Паратунская ГеоЭС с бинарным циклом, построенная на основе разработанной и запатентованной С. Кутателадзе и Л. Розенфельдом уникальной технологии бинарного цикла для получения электроэнергии. Патент у СССР был тогда куплен многими странами. Особенно преуспели в развитии этой технологии в Израиле, куда позже эмигрировала группа советских специалистов и основала компанию «Ормат».

Низкие цены на углеводородное сырье в 70-е годы и кризис 90-х надолго затормозили развитие геотермальной энергетики в России. Высокие цены на нефть и газ требуют незамедлительного развития альтернативной энергетики. Во-первых, невозобновляемые ресурсы быстро истощаются, особенно при нынешнем состоянии экспорта нефти и газа. Во-вторых, на внутреннем рынке цены на топливо неизбежно приближаются к мировым. Экономить энергию придется всеми возможными способами. Отягчающим обстоятельством для развития геотермальной энергетики является также углеводородная ориентированность Российской экономики. Новые месторождения нефти и газа долго не разведывались и не осваивались, а вновь открытые в Арктике и на шельфе Дальнего Востока экономически малорентабельны. Их освоение потребует огромных затрат, а экономическая целесообразность эксплуатации сохранится только при высоком уровне цен на углеводороды. Даже небольшое снижение мировых цен на нефть и газ потребует от России огромного напряжения для выполнения взятых на себя международных обязательств по уровню продаж. Предвидя экономические риски, правительство может еще больше сосредоточиться на углеводородном сырье. Разведка, бурение, освоение потребуют новых капиталовложений в нефтегазовый сектор, а геотермальная энергетика может опять оказаться в стороне. Этого нельзя допустить. Создание стабильной экономики и устойчивого развития требует организа-



Рис. 2. Геотермальная электростанция в Лардерелло, Италия (Фото В. Сваловой).

ции многовекторной энергетики, способной обеспечить потребности промышленности и общества на разных уровнях: глобальном, региональном, локальном. Необходимо использовать имеющийся зарубежный опыт, когда страны с развитой экономикой и недостатком сырьевых ресурсов были вынуждены развивать инновационные технологии для освоения альтернативной энергии.

2. Геотермальные станции на Камчатке и Курилах

Наиболее ярких успехов в развитии геотермальной энергетики Россия достигла на Камчатке. Это неудивительно, т.к. это фантастический край с уникальными природными ресурсами и необыкновенной красоты проявлениями геотермальной активности в виде вулканов, гейзеров, горячих источников. Еще со времен Степана Крашенинникова (1711 – 1755), участника Второй Камчатской экспедиции (1733 – 1743), и его «Описания земли Камчатки» (1756) к этому притягательному месту приковано внимание как научной геологической общественности, так и любителей необычных природных явлений и путешествий.

Камчатская область обладает богатейшими геотермальными ресурсами, позволяющими полностью обеспечить энергетические потребности края на сто лет вперед. Наиболее перспективным является Мутновское геотермальное месторождение, разведанные запасы которого оцениваются в 300 МВт. Новейшая история освоения Мутновского месторождения пережила несколько этапов: от геологической разведки, оценки запасов, проектирования и строительства первых геотермальных станций Паужетской и Паратунской до строительства Верхне-Мутновской и Мутновской ГеоЭС мощностью 12 и 50 МВт, соответственно.

Для осуществления строительства была создана проектная компания ЗАО «Геотерм», зарегистрированная 30 августа 1994 г. в Петропавловске-Камчатском. Также в строительстве принимали участие АО «Камчатскэнерго», КУГИ (Комитет по управлению городским имуществом) Камчатской области, АО «Наука». Проект осуществлялся за счет кредита Европейского Банка Реконструкции и Развития (99,9 млн. US\$), а также средств Российских инвесторов, включая РАО «ЕЭС России». В 1999 году была пущена в эксплуатацию пилотная Верхне-Мутновская ГеоЭС. 21 декабря 2001 г. был пущен первый энергоблок Мутновской ГеоЭС мощностью 25 МВт. 17.09.2002 г. первый энергоблок был включен в сеть, а 27.09.2002 был введен в эксплуатацию второй энергоблок, что позволило довести общую мощность Мутновской ГеоЭС до 50 МВт (Рис. 3, 4).



Рис. 3. Мутновская ГеоЭС. (Фото из архива В. Сваловой).



Рис. 4. Мутновская ГеоЭС. Сепараторный зал. (Фото В. Сваловой).

Таким образом, общая мощность энергообъектов на Камчатке, включая Паужетскую ГеоЭС, оценивается в 73 МВт. Это составляет 25 % потребности региона в электроэнергии, что позволяет даже в случае прекращения поставок мазута на полуостров решить стратегическую задачу обеспечения электроэнергией жилого сектора и жизненно важных объектов.

На Курилах работают две ГеоЭС – мощностью 2,6 МВт (на о. Кунашир) и 6 МВт (на о. Итуруп). Таким образом, общая мощность ГеоЭС России составляет 81,6 МВт.

Интересно сравнить производство электроэнергии из геотермальных источников по странам (Табл.1) (данные International Geothermal Association –IGA (Huttrer, 2000)).

3. Геотермальные исследования в России

Систематические и целенаправленные геотермические и геотермальные научные исследования на территории нашей страны начались в середине XX века. Для координации этих работ в 1964 г. Отделением наук о Земле АН СССР был создан Научный Совет по геотермическим исследованиям, преобразованный затем в Научный Совет РАН по проблемам геотермии. Первым председателем его был один из крупнейших математиков мира академик А.Н. Тихонов.

С 30-х до начала 60-х годов прошлого столетия геотермальное теплоснабжение в СССР развивалось в основном по пути создания мелких объектов отопления, горячего водоснабжения и бальнеологии на базе термальных вод, полученных из нефтегазовых скважин. Важной вехой в развитии геотермального производства в СССР можно считать 1964 год, когда была создана Северокавказская разведочная экспедиция по бурению и реконструкции нефтегазовых скважин для геотермального теплоснабжения. В 1966 г. в Махачкале было создано Кавказское промышленное управление по использованию глубинного тепла Земли, а в 1967 г. – аналогичное Камчатское промышленное управление в Петропавловске-Камчатском в системе Мингазпрома.

Геотермические и геотермальные исследования ведутся в России более чем в 60 научных учреждениях, принадлежащих к различным ведомствам.

Геотермальные ресурсы России хорошо изучены (Вартанян и др., 1999; Кононов и др., 2005; Kononov et al., 2000) (Рис. 5). Еще в 1983 г. сотрудниками ВСЕГИНГЕО при участии региональных центров был составлен «Атлас ресурсов термальных вод СССР» с объяснительной запиской, содержащий 17 карт, в том числе «Карту термальных вод СССР», «Карту потенциальных запасов термальных вод СССР» (обе в масштабе 1:10 млн.), а также карты эксплуатационных запасов термальных вод основных водоносных комплексов по наиболее перспективным районам (Западная Сибирь, Пред-

Страна	1990, МВт	1995, МВт	2000, МВт	2005, МВт
Аргентина	0.67	0.67	0	0
Австралия	0	0.17	0.17	0.2
Австрия	0	0	0	1
Китай	19.2	28.78	29.17	28
Коста Рика	0	55	142.5	163
Сальвадор	95	105	161	151
Эфиопия	0	0	8.52	7
Франция (Гваделупа)	4.2	4.2	4.2	15
Германия	0	0	0	0.2
Гватемала	0	33.4	33.4	33
Исландия	44.6	50	170	322
Индонезия	144.75	309.75	589.5	797
Италия	545	631.7	785	790
Япония	214.6	413.71	546.9	535
Кения	45	45	45	127
Мексика	700	753	755	953
Новая Зеландия	283.2	286	437	435
Никарагуа	35	70	70	77
Папуа Новая Гвинея	0	0	0	39
Филиппины	891	1227	1909	1931
Португалия (Азорские о-ва)	3	5	16	16
Россия (Камчатка)	11	11	23	73
Тайланд	0.3	0.3	0.3	0.3
Турция	20.6	20.4	20.4	20.4
США	2774.6	2816.7	2228	2544
Всего	5831.72	6833.38	7974.06	9058.1

Табл. 1. Производство электроэнергии из геотермальных источников в мире.

Кавказе, Камчатка, Курилы) в масштабе 1:5 млн. и 1:1,5 млн.

В 1991 г. под редакцией Ю.Д. Дядькина была составлена в масштабе 1:10 млн карта петрогеотермальных ресурсов нашей страны на глубинах до 6 км. Практически везде имеются возможности для создания систем теплоснабжения с температурами 70 °С на входе и 20 °С на выходе, а примерно на 70% территории России – с температурным режимом 90/40 °С. Потенциал такой ресурсной базы в Российской Федерации составляет $1,77 \times 10^{15}$ т.у.т.

В 2000 г. вышел Геотермический атлас России (электронная версия), составленный сотрудниками Санкт-Петербургского горного института (технического университета) и ФГУП НПЦ «Недра» под редакцией А.А. Смыслова.

По данным ВСЕГИНГЕО и ВНИИКТЭП (Вартанян и др., 1999) на территории России разведано 47 месторождений природных теплоносителей с запасами термальных вод 242,4 тыс. м³/сутки и парогидротерм 103,2 тыс. т/сутки. При этом запасы утверждены лишь по 12 месторождениям термальных вод (135,4 тыс. м³/сутки) и по 5 месторождениям парогидротерм (34,5 тыс. т/сутки в пересчёте на пар). Это крайне мало, учитывая огромные потенциальные гидротермальные ресурсы России.

Гидротермальные ресурсы используют преимущественно для теплоснабжения и обогрева городов и населённых пунктов на Северном Кавказе и Камчатке с общим числом населения около 500 000. В некоторых районах страны глубинным теплом обогреваются теплицы общей площадью около 465 000 м². Широко используются термоминеральные воды в бальнеологии и курортологии, но и здесь резервы еще очень велики. Наиболее перспективными регионами для практического использования геотермальных ресурсов на территории России являются Северный Кавказ, Западная Сибирь, Прибайкалье, Курило-Камчатский регион, Приморье, Охотско-Чукотский вулканический пояс. Практически повсеместно внутреннее тепло Земли может осваиваться с помощью тепловых насосов.

Использованием и усовершенствованием тепловых насосов для утилизации геотермальных ресурсов занимается целый ряд организаций. Пионерами их использования в России явились НПО «Недра» в Ярославле и Группа Компаний «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в Москве. На тепловых насосах работают экспериментальная школа в деревне Филиппово Ярославской области, демонстрационный комплекс «Экопарк-Фили», энергоэффективный жилой дом в Москве на улице Академика Анохина. Использование тепловых насосов в России имеет очень большие перспективы.

Для сравнения приведем данные IGA по прямому использованию геотермальных ресурсов в мире (Табл. 2) (Lund & Freeston, 2000).

В области использования геотермальной энергии Россия тесно сотрудничает с Международной Геотермальной Ассоциацией (International Geothermal Association – IGA).

IGA – научно-образовательная, культурная, просветительская, негосударственная, неполитическая, некоммерческая организация, координирующая деятельность по использованию геотермальных ресурсов в мире, созданная в 1989 г. IGA управляется Советом Директоров в количестве 30 человек, избираемых на конкурсной основе один раз в 3 года. Согласно Уставу IGA, члены Совета Директоров не могут избираться больше двух сроков подряд. В разное время членами Совета Директоров от СССР и России избирались Г.И. Буачидзе, В.И. Кононов, Ю.Д. Дядькин, В.Б. Свалова, К.О. Поваров. В качестве коллективного члена от России в IGA входила Российская Геотермальная Ассоциация, а затем Геотермальное Энергетическое Общество, созданное в 2003 г. под рук. О.А. Поварова.

Каждые пять лет IGA проводит Всемирные Геотермальные Конгрессы (World Geothermal Congress - WGC), собирающие более тысячи участников. Российские ученые бывают представлены там большими делегациями. Так WGC-1995 состоялся в Италии (Флоренция), WGC-2000 – в Японии (Хюсю-Тохоку), WGC-2005 – в Турции (Анталья). WGC-2010 состоится в Индонезии на острове Бали.

Успехи России в освоении тепла Земли на Камчатке придали импульс дальнейшему международному сотрудничеству в области геотермальной энергетики. В 2001 – 2002 гг. Всемирный Банк и Глобальный Экологический Фонд разработали стратегию развития геотермальной энергетики для стран Европы и Центральной Азии. Международная программа в рамках этой стратегии стимулировала подготовку и развитие новых проектов во многих регионах России. Было отобрано 5 первоочередных геотермальных проектов: 1) Камчатка: «Полное тепло- и электроснабжение Елизовского района на основе геотермальных ресурсов»; 2) Калининградская область: «Тепло- и электроснабжение на основе геотермальных ресурсов»; 3) Камчатка: «Расширение Верхне-Мутновской ГеоЭС. Создание энергоблока № 4 с бинарным циклом мощностью 6,5 МВт»; 4) Краснодарский край: «Геотермальное теплоснабжение г. Лабинска»; 5) Омская область: «Полное геотермальное теплоснабжение с. Чистово Оконешниковского района».

4. Комплексное использование геотермальных ресурсов

Термальные воды используются для многих целей: для выработки электроэнергии, для теплофикации и хладоснабжения, для горячего водоснабжения, в земледелии,

Страна	1995	1995	2000	2000
	Мощность, МВт	Энергия, Т Дж/год	Мощность, МВт	Энергия, Т Дж/год
Алжир	100	1657	100	1586
Аргентина			25.7	449
Армения			1	15
Австралия			34.4	351
Австрия	21.1	200	255.3	1609
Бельгия	3.9	101.6	3.9	107
Болгария	133.1	778.5	107.2	1637
Канада	1.68	47	377.6	1023
Карибские острова			0.1	1
Чили			0.4	7
Китай	1915	16981	2282	37908
Колумбия			13.3	266
Хорватия			113.9	555
Чехия			12.5	128
Дания	3.5	45	7.4	75
Египет			1	15
Финляндия			80.5	484
Франция	599	7350	326	4895
Грузия	245	7685	250	6307
Германия	32	303	397	1568
Греция	22.6	135	57.1	385
Гватемала	2.64	83	4.2	117
Гондурас			0.7	17
Венгрия	340	5861	472.7	4086
Исландия	1443	21158	1469	20170
Индия			80	2517
Индонезия			2.3	43
Израиль	44.2	1196	63.3	1713
Италия	307	3629	325.8	3774
Япония	319	6942	1167	26933
Иордания			153.3	1540
Кения			1.3	10
Корея			35.8	753
Литва			21	599
Македония	69.5	509.6	81.2	510
Мексика			164.2	3919
Непал			1.1	22
Нидерланды			10.8	57
Новая Зеландия	264	6614	307.9	7081
Норвегия			6	32
Перу			2.4	49
Филиппины			1	25
Польша	63	740	68.5	275
Португалия			5.5	35
Румыния	137	2753	152.4	2871
Россия	210	2422	308.2	6144
Словакия	99.7	1808	132.3	2118
Словения	37	761	42	705
Швеция	47	960	377	4128
Швейцария	110	3470	547.3	2386
Тайланд			0.7	15
Тунис			23.1	201
Турция	140	1987	820	15756
Великобритания			2.9	21
США	1874	13890	3766	20302
Венесуэла			0.7	14
Йемен			1	15
Югославия	80	2375	80	2375
Всего	8604	112441	15145	190699

Табл. 2. Прямое использование геотермальной энергии в мире.

животноводстве, рыбоводстве, в пищевой, химической и нефтедобывающей промышленности, в бальнеологии и курортологии, в рекреационных целях.

Термальные воды, особенно хлоридные рассолы, содержат в своем составе огромный комплекс металлических и неметаллических микрокомпонентов. Насыщенность рассолов микрокомпонентами находится в тесной зависимости как от генетической сущности самих рассолов, так и от литолого-структурных и геотермических особенностей вмещающих пород.

Термальные воды с высокой минерализацией (М) расположены на большей территории России и б. СССР. Они известны почти во всех районах. Рассолы с М выше 200 г/л известны в Пермской и Самарской областях, Татарии, Московской, Рязанской и других центральных областях. В Москве, например, на глубине 1650 м встречены хлоридные рассолы с М = 274 г/л. В Западной и Восточной Сибири существуют крупные месторождения рассолов с высокой температурой. Отдельные месторождения имеют М=400 – 600 г/л. Много термальных рассолов в Средней Азии, Казахстане, на Украине, Камчатке, Курильских островах, Сахалине.

Есть химические элементы, которые возможно извлекать только из подземных вод. Так йод добывается из рассолов, т.к. йодистые соединения хорошо растворимы и в породах йод не накапливается. В больших количествах йод концентрируется морскими водорослями, но добывать их как промышленное сырье эффективно лишь при большом их скоплении. Бром можно добывать из некоторых солей и водорослей, но традиционно бром также получают из сверхкрепких хлоридных рассолов (Антипов и др., 1999).

Значительная часть месторождений термальных вод высокоминерализована и представляет собой рассолы, содержащие от 35 до 400 и более г/л солей. Они являются минеральным сырьем на многие химические элементы. Многие рассолы, находящиеся на большой глубине, могут стать месторождениями ценнейших химических элементов: цезия, бора, стронция, тантала, магния, кальция, вольфрама и др. По дешевой технологической схеме из природных растворов в основном можно извлекать йод, бром, бор, хлористые соли аммония, калия, натрия, кальция, магния. Извлечение других химических элементов затруднено из-за дороговизны технологии. Перспективным методом является использование ионообменных смол для избирательного извлечения определенных компонентов из природных вод. В основе метода лежит принцип избирательной сорбции ионов полезных элементов или их комплексов со специально введенными в раствор соединениями.

В то же время в разряд актуальных проблем выдвигается задача наиболее эффективного использования природных сырьевых ресурсов, включая термоминеральные воды и рассолы. Вовлечение этих вод в хозяйственную деятельность может способствовать решению ряда социально-экономических и экологических проблем.

Работы ряда научных учреждений в России позволяют создать процессы химической переработки гидроминерального сырья и расширить сферы его хозяйственного применения. Большой объем лабораторных и натурных испытаний по извлечению ценных компонентов из термальных вод подтверждает необходимость и возможность комплексного использования этого нетрадиционного сырья.

Интерес к минерализованным водам и рассолам в ка-



Рис. 5. Геотермическое районирование России. а – районы пригодные для теплоснабжения зданий с помощью тепловых насосов; б – перспективные для «прямого» использования; с – районы современного вулканизма наиболее перспективные для «прямого» использования, выработки тепла и электроэнергии на бинарных установках, а также создания крупных ГеоЭС на парогидротермальных месторождениях. 1 – Северный Кавказ (платформенная провинция), 2 – Северный Кавказ (альпийская провинция), 3 – Западная Сибирь, 4 – Прибайкалье, 5 – Курило-Камчатский регион, 6 – Приморье, 7 – 8 – Охотско-Чукотский вулканический пояс.

чество минерального сырья связан с рядом преимуществ этого вида сырья перед твердыми источниками рассеянных элементов, металлов и минеральных солей. Промышленные подземные воды характеризуются широким региональным распространением и большими геологическими и эксплуатационными запасами (Бондаренко, 1999). Они являются поликомпонентным сырьем и могут одновременно использоваться в бальнеологии и теплоэнергетике. Добыча этого сырья требует проведения относительно небольших капитальных работ и осуществляется скважинными водозаборами, позволяющими извлекать гидроминеральное сырье с больших глубин.

Минерализованные воды и рассолы характеризуются большим разнообразием общей минерализации, химического состава, содержания полезных компонентов и коли-

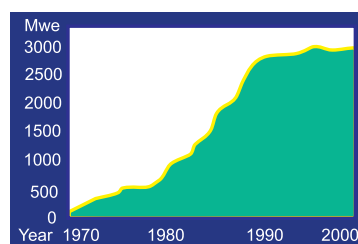


Рис. 6. Рост производства геотермальной энергии в США с 1980 по 1990 гг. вследствие принятия федеральных законов, заставляющих коммунальные предприятия покупать электроэнергию у независимых производителей.

чественного их соотношения, а также газового состава и температуры. Из всего многообразия минерализованных вод к числу наиболее распространенных типов гидроминерального сырья относятся: термальные рассолы межконтинентальных рифтовых зон; термальные воды и рассолы островных дуг и областей альпийской складчатости; воды и рассолы артезианских бассейнов; рассолы (рапа) современных эвапоритовых бассейнов морского или океанического происхождения и континентальных озер; морские воды.

Рентабельность промышленного получения тех или иных компонентов из гидроминерального сырья определяется не только их концентрацией, но и глубиной залегания подземных вод и эксплуатационных скважин, фильтрационными свойствами водовмещающих отложений, дебитами и т.д. На экономические показатели эксплуатации

существенно влияет способ сброса отработанных вод, что определяет затраты на охрану природной среды.

Исходя из общих условий и закономерностей распространения подземных минерализованных вод и рассолов, содержащих редкие элементы, а также с учетом опыта использования таких вод в качестве гидроминерального сырья в России и за рубежом установлены следующие пределы концентраций элементов, при которых воды представляют промышленный интерес (мг/л): I – 10, Li – 10, цезий – 0,5, Ge – 0,5, Br – 200, рубидий – 3, стронций – 300.

Еще перед второй мировой войной за рубежом, в частности, в США, была разработана технология извлечения из гидроминерального сырья одного из его компонентов – лития. В 70-х годах около 85% мировой добычи Li осуществлялось именно таким способом (Кременецкий и др., 1999).

В Японии из термоминеральных подземных рассолов в промышленных масштабах добываются I, Br, B, Li, As, Ge, W и ряд минеральных солей, а в Израиле из рассолов Мертвого моря – карналлит, бром, хлориды магния и кальция, а также сырье для производства лекарственных препаратов и парфюмерии. В 80-е годы из гидроминерального сырья получали 30% мировой добычи лития, 31% – цезия, 8% – бора, 5% – рубидия, а также в значительных масштабах Ca, Mg, Na, K, S, Cl, U, Ra, Cu.

Огромные запасы редкометалльного сырья заключены в минерализованных подземных водах и рассолах на территории России и СНГ – в них содержится свыше 55% общих запасов лития, 40% рубидия и 35% цезия.

В зависимости от состава и свойств термальных вод выделяются два основных направления использования геотермальных ресурсов: теплоэнергетическое и минерально-сырьевое.

Теплоэнергетическое направление является основным для пресных и слабоминерализованных вод, когда ценные компоненты в промышленных концентрациях практически отсутствуют, а общая минерализация не препятствует нормальной эксплуатации системы. Если высокопотенциальные воды характеризуются повышенной минерализацией и склонностью к солеотложениям, то утилизация минеральной составляющей рассматривается как попутный процесс, способствующий эффективному теплоснабжению.

Минерально-сырьевое направление является основным для геотермальных вод и парогидротерм, содержащих ценные компоненты в промышленных количествах. При этом обоснование промышленных концентраций обусловлено уровнем технологий. Для таких вод теплота является попутным продуктом, использование которого может повысить эффективность процесса получения ос-

Рис. 7. «Дом возобновляемой энергии» в Брюсселе, Бельгия. (Фото В. Сваловой).



новой продукции и даже сэкономить топливо.

Доминирующим при проектировании таких систем должен быть процесс выделения ценных компонентов. Комплексное использование термальных вод в минерально-сырьевом направлении экономически может быть значительно эффективней, чем в теплоэнергетическом. Выбор направления комплексного использования термальных вод должен определяться не только их составом и свойствами, но и уровнем развития комплексных технологических процессов добычи и переработки гидроминерального сырья и технологией теплоэнергетических процессов. Решающую роль при этом играет наличие потребителей и потребности в термальной воде (Свалова, 2005; 2007; Svalova, 2006 a, b, c).

5. Проблемы и перспективы использования геотермальных ресурсов в России

Доля нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергобалансе России ничтожно мала – меньше 1%. Более интенсивное использование возобновляемых источников энергии предусмотрено в «Энергетической стратегии РФ»: к 2010 г. их доля должна возрасти до 3–4%, а к 2020 – до 6–7%. Однако развитие альтернативной энергетики зависит от поддержки государства.

Существует много препятствий, мешающих увеличению использования геотермальных ресурсов. Наибольшие препятствия связаны с управлением геологическими рисками. Инвесторы готовы взять на себя экономические, финансовые и технологические риски. Однако часто они не обладают специальными знаниями, которые требуются для оценки и управления геологическими рисками, что снижает возможность инвестиций в дорогостоящие геотермальные проекты. Без гарантий государства здесь не обойтись.

Опыт ведущих промышленно развитых стран показывает, что использование возобновляемых источников энергии на промышленном уровне невозможно без государственной поддержки со стороны законодательной и исполнительной власти. Так в Германии в 2003 г. был принят закон о стимулировании развития геотермальной энергетики, в соответствии с которым для всех геотермальных электрических станций устанавливается стоимость 1 кВт/ч в 15 Евроцентов, при этом все местные энергетические компании обязаны забирать всю вырабатываемую этими электростанциями электроэнергию. В США был принят ряд федеральных законов, заставляющих коммунальные предприятия покупать электроэнергию у независимых производителей, что привело к интенсивному росту производства геотермальной энергии с 1980 по 1990 гг. (Рис. 6).

Европейская директива по возобновляемым источникам энергии, которая возведена в статус закона, демонстрирует подход к структуре энергетики будущего со стороны ведущих европейских держав. Уже к 2010 году Европа планирует увеличить долю возобновляемых источников энергии в общем энергопотреблении до 12%.

Стимулировать развитие малой и альтернативной энергетики в России можно путем создания соответствующей законодательной базы. РАО «ЕЭС России» разрабатывало закон «О возобновляемых источниках электроэнергии», который должен был определить права собственности на различные виды соответствующих ресурсов, а также разделить полномочия федеральной и региональной властей по их управлению. Необходимо принятие такого закона и

соответствующих постановлений Правительства РФ, предусматривающих стимулирующие мероприятия на государственном и региональном уровнях. Стимулом для производителей нетрадиционной энергии могли бы стать поправки в Налоговый кодекс, предоставляющие налоговые льготы для производителей оборудования, используемого в малой и возобновляемой энергетике. Также необходимо соответствующее финансирование Федеральной целевой программы «Энергоэффективная экономика» в подпрограмме «Энергообеспечение регионов России, в том числе северных и приравненных к ним территорий на основе использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии и местных видов топлива».

Необходима большая просветительская и научно-образовательная работа по пропаганде использования экологически чистых инновационных технологий для освоения альтернативных источников энергии, включая геотермальные ресурсы (Свалова, 2002; 2003; 2004; Svalova, 2002 a, b; 2005). Широкая общественность зачастую плохо информирована о возможностях и перспективах использования внутреннего тепла Земли на федеральном, региональном и локальном уровне, включая индивидуальное строительство и теплоснабжение. В этом плане интересным примером, достойным подражания, может служить создание «Дома возобновляемой энергии» в Брюсселе, Бельгия (Рис. 7).

В 2000 г. несколько энергетических ассоциаций решили разместить свои офисы в одном здании – так и родилась идея «Дома возобновляемой энергии» (ДВЭ). В ДВЭ находятся следующие организации:

- **EREC** – Европейский совет по возобновляемой энергии;
- **AEBIOM** – Европейский биотопливная ассоциация;
- **EGEC** – Европейский совет по геотермальной энергии;
- **EPIA** – Европейская ассоциация фотоэлектрической промышленности;
- **ESTIF** – Европейская федерация производителей солнечных теплоустановок;
- **EUBIA** – Европ. ассоциация производителей биомассы;
- **EUREC Agency** – Европейское агентство по возобновляемой энергетике;
- **EWEA** – Европейская ассоциация ветроэнергетики;
- **EUFORES** – Европейский форум по ВИЭ;
- **GWEG** – Всемирный совет по ветроэнергетике.

«Дом возобновляемой энергии» – это не просто офисное здание. Это действующая выставка энергосберегающих технологий и технологий ВИЭ в черте города. ДВЭ демонстрирует существенное сокращение потребления энергии на отопление, освещение и кондиционирование за счет энергосберегающих мер, а также максимально возможное использование ВИЭ для удовлетворения энергетических потребностей. В здании реализованы следующие технические решения по энергосбережению: теплоизоляция фасада и крыши; двойное остекление; экономичные системы освещения; вентиляция с рекуперацией тепла; система отопления на паллетах; система солнечного теплоснабжения и адсорбционная система солнечного кондиционирования; геотермальное теплоснабжение и кондиционирование.

Демонстрационный комплекс «Экопарк-Фили» в Москве близок по идеологии к «Дому возобновляемой энергии» в Брюсселе. И подобную работу следует всячески поддерживать и развивать.

ЗАГАДКИ КОМЕТЫ ХОЛМСА: 1. ОТКРЫТИЕ

В связи с регистрацией в 2007 г. новой неожиданной вспышки яркости кометы Холмса изучена история открытия этой кометы, эволюция ее орбиты и орбиты ее возможного метеорного роя за последние сто лет.

Ключевые слова: комета, орбита, метеорный рой.

Неожиданная вспышка кометы Холмса в 2007 г., наблюдавшаяся практически всем астрономическим сообществом, поставила перед исследователями ряд вопросов, для разрешения которых, по-видимому, недостаточно провести анализ последнего десятого ее появления. Необходимо обратиться к истории поведения кометы в прошлом.

6 ноября 1892 года лондонский любитель астрономии Эдвин Холмс открыл новую комету, которая позднее по традиции была названа его именем. Комета находилась в созвездии Андромеды вблизи туманности с тем же названием, имела кому (голову) около 5 угловых минут и блеск 4–5 звездной величины. Затем яркость кометы стала бы-

стро падать, а диаметр комы – возрастать; 5 декабря он равнялся 42'. При расстоянии от Земли в 1,8 а.е. линейный размер головы кометы составлял 3,3 млн. км, что более чем в 2 раза превышает диаметр Солнца.

У кометы наблюдался небольшой хвост и некоторая диффузная масса. Деландр отметил 21 ноября раздвоение ядра, однако этот факт более никем не был подтвержден. Яркость кометы медленно падала до 10–11^m, однако 16 января произошла вторая вспышка: за 4 часа поперечник кометы увеличился в 2 раза, яркость возросла до 5^m. Таким образом, комета вновь стала видна невооруженным глазом. Далее повторилось то же, что и в ноябре: попе-

Окончание статьи В.Б. Сваловой «Комплексное использование...»

Литература

- Антипов М.А., Бондаренко С.С., Стрепетов В.П., Каспаров С.М. *Минеральное сырье. Бром и иод*. М.: Геоинформмарк. 1999. 30.
- Бондаренко С.С. *Минеральное сырье. Воды промышленные*. М.: Геоинформмарк. 1999. 45.
- Вартанян Г.С., Комягина В.А., Плотникова Р.И., Суостова Т.Н., Шпак А.А. *Использование и перспективы освоения минеральных, термальных и промышленных вод*. М.: Геоинформмарк. 1999.
- Кононов В.И., Поляк Б.Г., Хуторской М.Д. *Гидрогеотермальные ресурсы России. Георесурсы*. 2(17). 2005. 29-33.
- Кременецкий А.А., Линде Т.П., Юшко Н.А. и др. *Минеральное сырье. Литий*. М.: Геоинформмарк. 1999. 49.
- Свалова В.Б. Использование геотермальной энергии и проблемы устойчивого развития. *Мат-лы Межд. научно-техн. семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза стихийных бедствий» «Стихия-2002»*. Севастополь. 2002.
- Свалова В.Б. Геотермальные ресурсы России, проблемы экологии и устойчивого развития. *Мат-лы конф. «Возобновляемая энергетика –2003: состояние, проблемы, перспективы»*. Санкт-Петербург. 2003.
- Свалова В.Б. Учебно-научный консультационный центр по экологии и возобновляемым видам энергии. *Мат-лы. Межд. семинара «Российская программа развития возобновляемых источников энергии»*. Рыбинск. 2004.
- Свалова В.Б. Термальные воды России. Комплексное использование. *Мат-лы конф. «Извлечение минеральных компонентов из геотермальных растворов»*. Петропавловск-Камчатский. 2005.
- Свалова В.Б. Комплексное использование гидротермальных ресурсов. *Доклады VIII Межд. конф. «Новые идеи в науках о Земле»*. М. Т. 6. 2007. 384-386.
- Huttrer G.W. The status of world geothermal power generation 1995-2000. *Proceed. of the World Geothermal Congress*. Vol. 1. 2000. 23-37.
- Kononov V.I., Polyak B.G., Kozlov B.M. Geothermal development in Russia: Country update report 1995-1999. *Proceedings of the World Geothermal Congress*. Japan. Vol. 1. 2000. 201-206.
- Lund J.W., Freeston D.H. World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Proceed. of the World Geothermal Congress*. Vol. 1. 2000. 1-21.
- Svalova V.B. The History of Geothermal Resources Use in the Former USSR. *Proceed. of the 1998 GRC Annual Meeting*. USA. 1998.
- Svalova V.B. Geothermal legends through history in Russia and the former USSR: a bridge to the past. Stories from a Heated Earth. Our Geothermal Heritage. *GRC, IGA*. Sacramento, USA. 1999. 336-355.
- Svalova V.B. The history of geothermal resources use in Russia

and the former USSR. *Proceed. of the World Geothermal Congress. Japan*. 2000.

Svalova V. B. Geothermal energy use in Russia and environmental parks. *Proceed. of 2002 Beijing Int. Geothermal Symposium*. 2002.

Svalova V. B. Geothermal Energy Use in Russia and Sustainable Development. *Proceed. of Int. Geothermal Workshop*. New-Zealand. 2002.

Svalova V.B. Geothermal energy use in Russia and environmental problems. *Proceed. of the World Geothermal Congress*. Turkey. 2005.

Svalova V.B. Geothermal energy use in Russia: progress and future. *Proceed. of the First East African rift geothermal conference: Geothermal energy: an indigenous, environmentally benign and renewable energy resource*. Addis Abeba, Ethiopia. 2006.

Svalova V.B. Geothermal resources and thermal waters of Russia: complex use. *Proceed. of the Geothermal Resources Council 2006 Annual Meeting "Geothermal Resources Securing Our Energy Future"*. San Diego, USA. 2006.

Svalova V.B. Mineral resources of geothermal waters and brines. *Proceed. of the Int. conf. "Mineral extraction from geothermal brines"*. Tucson, USA. 2006.

V.B. Svalova. Complex use of geothermal resources.

Geothermal resources are one of the most important sources of power systems development, rare metal and chemical industry, medical and agriculture complexes. Russia has rich hydro geothermal and petro thermal resources, that use is not enough. Great growth of energy consumption, limitation and appreciation of non-renewable fuel, strengthen of environmental problems force world economics to use widely the alternative energy resources.

Key words: geothermal resources, geothermal energy, hydro mineral raw material, complex use, sustainable development.

Валентина Борисовна Свалова
к.физ.-мат. н., вед. научный сотрудник
Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, ученый секретарь Научного совета РАН по проблемам геотермии.



Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. 101000, Москва, Уланский переулок, 13, п.я. 145.
Тел.: (495) 607-47-26

речник быстро рос, яркость уменьшалась. Обе вспышки представлены на Рис. 1. Очевидно, что вторая вспышка обусловлена выбросом вещества со значительно большей скоростью. Голчек заметил в феврале еще одну небольшую вспышку, но других наблюдений этого нет. Далее комета Холмса была видна только в крупные телескопы и наблюдалась до апреля 1893 года. Все наблюдения яркости кометы в описанный период приведены на Рис. 2.

Рис. 1. Изменение радиуса головы кометы со временем T (кружки – ноябрь 1892 г., треугольники – январь 1893 г., ноль на горизонтальной оси соответствует моменту вспышек 6 ноября и 16 января).

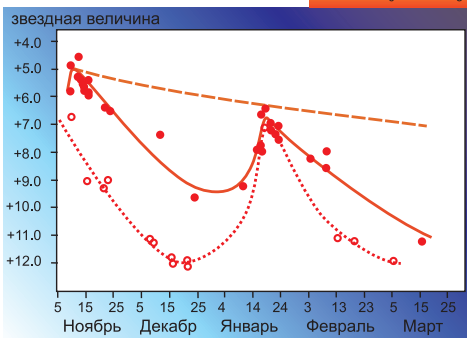
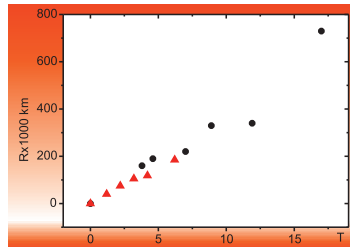


Рис. 2. Вариации яркости кометы от 6 января 1892 г. до 16 марта 1893 г. (темные кружки – полная яркость комы, открытые кружки – яркость ядра).

Необходимо отметить интересный факт: Кемпбелл и Фогель 8 – 13 ноября проводили спектральные наблюдения и не обнаружили линий – только непрерывный спектр. Очень важный, быть может наиважнейший, факт свидетельствует о том, что выброс вещества из ядра кометы состоял из твердых частиц, а не из газа. А огромная и симметричная кома при слабо выраженном хвосте свидетельствует о выбросе пылевого вещества во все стороны. Это наталкивает нас на идею обратиться к результатам изучения кометы Темпеля 1, которая, как и комета Холмса, принадлежит к группе комет Юпитера. НАСА осуществляет обширную программу по зондированию комет: это и более ранние исследования комет Галлея и Джакобини-Циннера, и эксперименты по забору вещества в окрестностях комет Вильда-2 и Темпеля-1. Полет к последней комете был назван «Deep Impact», и его программа заключалась в бомбардировке ядра, заборе обломков и их доставке на Землю. Однако разбить ядро кометы не удалось, его корка оказалась весьма твердой. Но через образовавшиеся трещины произошел выброс вещества самого ядра, что прекрасно видно на снимке (Рис. 3). Американские ученые подобрали для этого вещества точный термин – тальк: прежде всего это мельчайшие частицы твердого вещества с небольшой примесью газовой фракции, а не наоборот, как принималось для комет ранее. Именно из таких мелких частиц и состоят метеорные рои.

Таким образом, мы должны предположить, что наши

№ п/п	Год сближ.	Взаимное расст., а.е.	№ п/п	Год сближ.	Взаимное расст., а.е.
1	1600	1.0	7	1719	0.6
2	1624	1.3	8	1743	0.2
3	1655	1.7	9	1766	0.9
4	1659	1.9	10	1825	0.7
5	1683	1.6	11	1861	1.3
6	1715	1.7			

Табл. Сближения кометы Холмса с Юпитером.

представления о строении кометных ядер были не совсем верны. По крайней мере, это относится к кометам семейства Юпитера. Следовательно, и модель кометного ядра, разработанная Ф. Уипплом, нуждается в коррекции. А ведь именно на нее опирается мнение о небольших – порядка десятков метров в секунду – скоростях выброса вещества из кометных ядер.

Исходя из этого, обратимся к работам, в которых собраны наблюдения кометы Холмса 1892/93 гг. Наиболее полные сведения о вспышках содержатся в работах Барнарда. Много позднее они были независимо обработаны С.В. Орловым (1940) и Н.Т. Бобровниковым (1943). Орлов приводит усредненные значения скоростей движения вещества:

- 1892, ноябрь 6 – 9 – 0,95 км/с первый галос
- 8 – 21 – 0,42 км/с второй галос
- 1893, январь 16 – 2,06 км/с первый галос
- 17 – 22 – 0,38 км/с второй галос.

Н.Т. Бобровников, по-видимому, оперировал более детальными сведениями. Приведем его результаты по вспышке 16 января 1893 года:

- От 8 час. 15 мин. до 9 час. 50 мин. – 0,45 км/с
- 9 50 – 10 30 – 3,60 км/с
- 10 30 – 10 43 – 7,16 км/с
- 10 43 – 11 14 – 0,23 км/с.

Он также указывает, что анализ наблюдений Барнарда дает на 8 ноября в интервале 8 час. – 9 час. 40 мин. значение скорости, равное 1,52 км/с.

Наблюдения Барнарда подробно анализировались и в одной из работ основоположника русской метеорологии Ф.А. Бредихина (1954). Его основной вывод состоит в том, что при столкновении двух астероидов должна быть выделена большая масса газа, которая давала бы соответствующий спектр. Анализируя наблюдения, Бредихин признавал кометную природу наблюдавшегося тела.

Все это позволяет нам построить модель движения роя частиц, выброшенных из ядра кометы Холмса в ее первом появлении. Но прежде всего обратимся к орбите самой кометы. Элементы, ее характеризующие, были довольно тривиальными: аргумент перигелия $\omega = 14^\circ$, долгота восходящего узла $\Omega = 333^\circ$, наклон орбиты $i = 21^\circ$, большая полуось $a = 3.62$ а.е. и эксцентриситет $e = 0.41$. К группе Юпитера относятся десятки ко-



Рис. 3. Миссия «Deep Impact» к комете Темпеля-1.

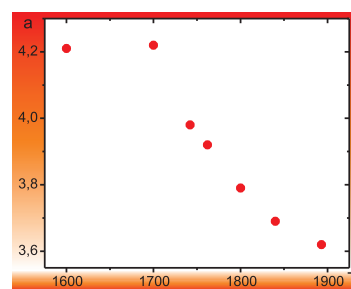


Рис. 4. Изменение большой полуоси орбиты кометы за 1600 – 1900 гг.

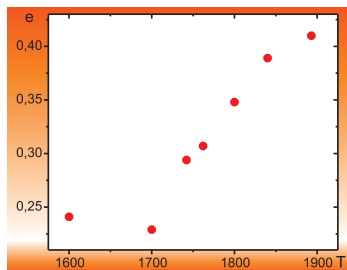


Рис. 5. Изменение эксцентриситета орбиты кометы за 1600 – 1900 гг.

уравнения движения кометы Холмса от 1893 г. на 300 лет назад – это время, когда яркие кометы или их вспышки уже наблюдались по всей Европе и неординарное событие на небосводе обязательно было бы отмечено. Учет возмущения от всех 7 планет, хотя основное влияние надо, конечно, ожидать от Юпитера. Кроме этого, нас будут интересовать сближения кометы с Землей – ведь в 19 веке они не приближались друг к другу на расстояние, меньшее 1.5 а.е. Как показали вычисления (Табл.), в указанный интервал времени комета имела 11 сближений с Юпитером на расстоянии менее 2 а.е.

Как и следовало ожидать, изменения орбиты наиболее значительны после тесного сближения 1743 г. и умеренных сближений в 1719, 1766 и 1825 гг., хотя постоянное накопление изменений происходит и в остальных случаях. Вся эволюция орбиты направлена в сторону уменьшения большой полуоси с 4.21 до 3.62 а.е. и увеличения эксцентриситета с 0,24 до 0,41 (Рис. 4, 5). Аргумент перигелия меняется от 329° до 14°, а долгота узла с 353° до 333° при почти не изменяющемся угле наклона орбиты. Таким образом, влияние Юпитера сделало орбиту кометы более вытянутой и меньшей по размеру, значительно развернув ее при этом. Изменения орбиты имеют эволюционный, а не катастрофический характер. Таким образом, можно сделать вывод, что за период с 1600 по 1893 г. комета Холмса существовала как единое тело, и каких-либо предпосылок для вспышек мы пока не обнаружили.

Перейдем к моделированию эволюции метеорного роя. Рассмотрим движение частиц по трем направлениям: по

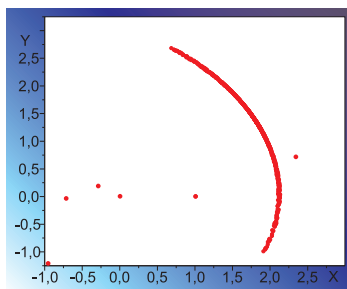


Рис. 6. Растяжение роя по орбите в проекции на плоскость эклиптики через 7 лет после выброса в 1893 г. (ось x направлена в точку весеннего равноденствия, темные кружки задают положение Солнца (0, 0) и планет Земли, Юпитера, Меркурия, Венеры).

радиусу-вектору кометы от Солнца (вектор S), по перпендикуляру к радиусу-вектору против движения кометы (вектор T) и по перпендикуляру к плоскости орбиты в направлении на северный полюс эклиптики (вектор W). Скорость выбросов рассматривалась в преде-

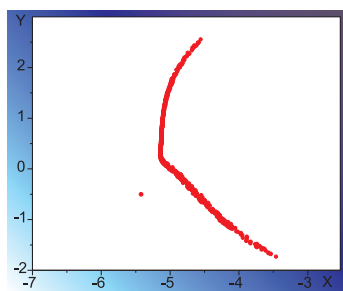


Рис. 7. Влияние Юпитера на орбиту роя.

лаха от 100 м/с до 2000 м/с. Вычисления показали, что метеороиды имеют достаточно стабильные орбиты ввиду отсутствия тесных сближений с Юпитером и другими большими планетами. В основном, эволюция роя происходит за счет первоначальной дисперсии скоростей. Так, частица, отделившаяся от ядра кометы в 1893 году со скоростью 100 м/с по вектору S, отстала от кометы за 50 лет почти на месяц, за 100 лет – на два. При скорости выброса 2000 м/с отставание соответственно составит 4 месяца и 1 год. Эволюция орбит моделируемого роя наглядно представлена на Рис. 6, 7 и 8.

Таким образом, изучение истории открытия кометы Холмса не дает нам ответа на главный вопрос – какова природа вспышек 1892 – 1893 гг. Зарегистрированная вспышка кометы в 2007 г. тоже была неожиданной, но, возможно, ее дальнейшее изучение позволит разгадать ее природу и расширит наши представления о процессах дезинтеграции комет.

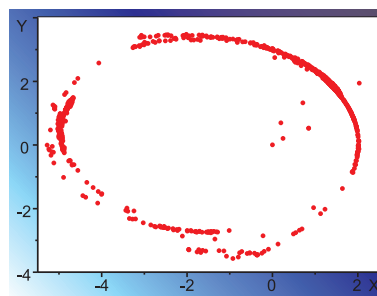


Рис. 8. Структура роя через 115 лет (1892 – 2007 гг.).

Эволюция орбит моделируемого роя наглядно представлена на Рис. 6, 7 и 8.

Таким образом, изучение истории открытия кометы Холмса не дает нам ответа на главный вопрос – какова природа вспышек 1892 – 1893 гг. Зарегистрированная вспышка кометы в 2007 г. тоже была неожиданной, но, возможно, ее дальнейшее изучение позволит разгадать ее природу и расширит наши представления о процессах дезинтеграции комет.

Литература

Беляев Н.А. *Каталог короткопериодических комет*. Братислава. 1968. 395.
 Бредихин Ф.А. *Этюды о метеорах*. М. 1954. 607.
 Всехсвятский С.К. *Физические характеристики комет*. М. 1958. 575.
 Орлов С.В. Исключительные кометы. *Астроном. журнал*. Т. 17. Вып. 1. 1940. 8-12.
 Bobrovnikoff N.T. The periodic comet Holmes (1892 III). *Popular astronomy*. V. 51. 1943. 542-550.

G.V. Zukov, M.G. Ishmukhametova, E.D. Kondrat'eva, V.S. Usanin. Mystery of comet Holms (1892 III): 1. Discovery.

The comet Holms again unexpectedly in 2007. The history of the discovery of the comet, evolution of its orbit and orbit of its possible meteor stream is investigated.

Key words: comet, orbit, meteor stream.

Георгий Викторович Жуков

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры астрономии. Область научных интересов: оптические методы наблюдений в астрономии.

Марина Геннадьевна Ишмухаметова

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры астрономии. Область научных интересов: кометно-метеорная астрономия, исследование эволюции и структуры метеорных роев.

Екатерина Дмитриевна Кондратьева

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры астрономии. Область научных интересов: кометно-метеорная астрономия, моделирование образования метеорных роев.

Владимир Сергеевич Усанин

аспирант кафедры астрономии.

Казанский государственный университет
 420008, Россия, Казань, Кремлевская, 18.
 Тел./Факс: (843) 292-77-97

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ В ЗОНАХ ДЕСТРУКЦИЙ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

На основе результатов экспериментального моделирования выявлена возможность генерации из метана в зонах деструкций кристаллического фундамента древних платформ углеводородных систем, включающих соединения газовой и жидкой фаз, под влиянием каталитической активности тонкодисперсных глинистых минералов этих зон в присутствии пластовых вод. Наличие в глинистых минералах межслоевых промежутков – своеобразных природных нанореакторов способствует протеканию процесса в достаточно мягких условиях (температура 300°C, давление 8 – 10 атм).

Ключевые слова: катализ, метан, глинистые минералы, зоны деструкций, фундамент, экспериментальное моделирование.

Кристаллический фундамент Татарстана, подстилающий продуктивные горизонты осадочного чехла в пределах Ромашкинского месторождения является, как свидетельствуют результаты исследований последних лет, потенциальным генератором углеводородов нефтяного ряда (Ситдикова, Изотов, 1999; Муслимов, 2006). Возможным механизмом такой генерации могут быть процессы каталитического синтеза соединений нефтяной природы непосредственно в мощных и регионально развитых зонах деструкций, локализованных в теле кристаллического фундамента (Косачев и др., 2002). На это указывает наличие в составе этих зон потенциальных катализаторов – тонкодисперсных глинистых ассоциаций (Фрост, 1956; Ситдикова, 2005), а также поглощенного углеводородного комплекса в виде асфальто-битумных смесей в количествах, превышающих значения рассеянного органического вещества (Муслимов, Лапинская и др., 1996; Косачев, Гордадзе, 2003). Потенциальным источником углеводородов на этих глубинах могут быть низкомолекулярные алканы, присутствие которых в земной коре в составе газовых флюидов не вызывает сомнений (Паршикова и др., 2001; Валяев и др., 2007). Реализация же прямого синтеза с их участием в зонах деструкций термодинамически невозможна, так как для активации связи С-Н в молекулах низших парафинов необходима температура более 1000°C (Жоров, 1985), недостижимая на этих глубинах.

Для проверки гипотезы каталитической генерации углеводородов в зонах деструкции кристаллического фундамента была проведена серия модельных экспериментов, имитирующих условия

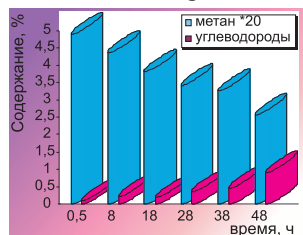


Рис.2. Изменение состава газообразных продуктов моделирования в ходе каталитического процесса в присутствии водного раствора с рН 2,51.

этих зон (температура 250 – 300°C и давление 8 – 10 атм.), с использованием стального реактора. В качестве исходного соединения применялся метан, молекулы которого в силу своего небольшого геометрического размера и относительной химической инертности составляют большую часть глубинных углеводородных флюидов. В роли катализатора использовались пробы природных глин, содержащие идентичный по составу глинистым ассоциатам зон деструкций фундамента комплекс минералов: монтмориллонит – 70%; смешанно-слоистая фаза слюда-сметтит – 23%; каолинит – 4%; хлорит – 3%.

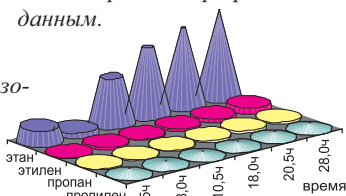


Рис.1. Динамика изменения компонентов газовой фазы в ходе модельных экспериментов по газохроматографическим данным.

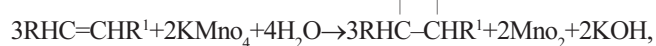
Для повышения их каталитической активности в автоклав вводились водные растворы минеральных солей, моделирующих глубинные пластовые воды (Муслимов и др., 1996) с различной концентрацией ионов водорода. Результаты исследований показали, что в ходе экспериментов в этих условиях образуется новая углеводородная газовая фаза с выходом менее 1% и с одновременным снижением содержания метана (Рис. 1).

Состав образованных газообразных продуктов идентифицировался с помощью газовой хроматографии путем сопоставления времен удерживания пиков полученных соединений с известными литературными данными, а также при помощи метода внутреннего стандарта. Таким способом были определены этилен, этан, пропилен и пропан, углекислый газ, окись углерода, а также значительное количество водорода (Табл. 1).

Достоверность природы полученных ненасыщенных углеводородных соединений подтверждалась качественной реакцией Вагнера: обесцвечивание раствора перманганата калия в слабощелочной среде газообразными продуктами реакции:

где R, R¹ = H или CH₃; а также пропуском газовой реакционной смеси через раствор серной кислоты (реакция сульфатации) с последующей газохроматографической идентификацией компонентов на выходе:

3RHC=CHR¹+2KMnO₄+4H₂O→3RHC-CHR¹+2MnO₂+2KOH,



где R, R¹ = H или CH₃; а также пропуском газовой реакционной смеси через раствор серной кислоты (реакция сульфатации) с последующей газохроматографической идентификацией компонентов на выходе:

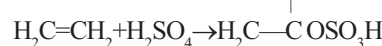




Рис. 3. Зависимость конверсии метана от навески глинистых ассоциатов (300°C , 28 ч, рН раствора = 2,51).

промежутки будут играть роль реакционного объема – своеобразного нанореактора. Молекулы метана, находящиеся в них в качестве «гостя», будут подвергаться более интенсивному воздействию за счет увеличения частоты взаимодействия со «стенками» слоя поверхностных атомов глинистой матрицы – «хозяина», что приводит к разрыхлению связи С-Н этих молекул в более мягких условиях и трансформации метана при температуре около 300°C .

Косвенным подтверждением такого механизма процесса может служить прямо пропорциональная зависимость конверсии метана от навески глинистых ассоциатов (Рис.3), а также преобладание до 70% в составе газообразных продуктов (Рис. 2) более подвижных и относительно инертных молекул этана, способных покидать межслоевые промежутки. Другие реакционноспособные соединения, вероятно, претерпевают дальнейшие превращения в высокомолекулярные продукты и остаются в составе глинистых минералов.

Способность наноразмерных полостей интенсифицировать реакции C_1 -субстратов, в том числе метана, описана в литературе (Магсумов и др., 2006; Бадмаева, 2005).

Таким образом, в результате проведенных модельных экспериментов показана возможность образования из метана в условиях зон деструкций кристаллического фундамента древних платформ газообразных и жидкофазных углеводородов нефтяного ряда в присутствии пластовых вод. Процесс трансформации метана осуществляется под влиянием каталитической активности природных тонкодисперсных глинистых ассоциатов, межслоевые пространства которых могут выступать в роли природных нанореакторов, содействующих снижению температуры активации молекул до 300°C .

Такие зоны кристаллического фундамента могут выступать в роли своеобразного «химического реактора» по генерированию углеводородных систем, суммарный выход и состав которых будет определяться продолжительностью контакта исходных компонентов.

Литература

- Арутюнов В.С., Крылов О.В. *Окислительные превращения метана*. М.: Наука. 1998. 361.
- Бадмаева С.Н. Синтез Al-, Fe/Al- интеркалированных монтмориллонитов и исследование их физико-химических свойств. *Автореф. дисс. канд. хим. наук*. Иркутск. 2005. 20.
- Валяев Б.М., Смирнов М.Н., Юркова Р.М. Глубинные углеводородные флюиды в процессах нефтегазоаккумуляции. *Сб. науч. тр. «Фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа и развитие нефтегазового комплекса России»*. М.: Геос. 2007. 47-55.
- Жоров Ю.М. *Термодинамика химических процессов*. М.: Химия. 1985. 464.
- Катализ в C_1 -химии*. Под ред. В. Кайма. Л.: Химия. 1987. 46-91.
- Косачев И.П., Романов Г.В., Изотов В.Г., Ситдикова Л.М. Образование углеводородов нефтяного ряда в зонах деструкций кристаллического фундамента. *Мат-лы 6 между. конф. «Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. К созданию общей теории нефтегазоносности недр»*. М.: Изд-во МГУ. 2002. 279-281.
- Косачев И.П., Гордадзе Г.Н. и др. Новые данные о составе органического вещества кристаллического фундамента Татарстана. *Наука и технология углеводородов*. № 3. 2003. 48-54.
- Кристаллический фундамент Татарстана и проблемы его*

нефтегазоносности. Казань: изд-во «Дента». 1996. 436.

Кулакова И.И., Оглоблина А.И., Руденко А.П., Теплицкая Т.А., Флоровская В.Н. О возможном механизме синтеза полициклических ароматических углеводородов в процессах эндогенного минералообразования. *Доклады академии наук СССР*. 1982. № 4. Т. 266. 1001-1003.

Магсумов М.И., Федотов А.С., Цодиков М.В. и др. Закономерности протекания реакций C_1 -субстратов в каталитических нанореакторах. *Российские нанотехнологии*. 2006. № 1-2. Т.1. 142-152.

Муслимов Р.Х. Определяющая роль фундамента осадочных бассейнов в формировании и развитии месторождений углеводородного сырья. *Мат. Межд. науч. конф. «Углеводородный потенциал фундамента молодых и древних платформ»*. Казань: Изд-во Каз. ун-та. 2006. 3-9.

Паршикова Н.Г., Войтова Г.И. Некоторые следствия процесса дегазации Земли. *Интервал*. 10(33). 2001. 61-62.

Поршнева Н.В., Мухин Л.М., Бондарев В.Б., Сафонова Э.Н., Калинин В.И. Ароматические фракции гидротермальных проявлений нефти. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). *Доклады академии наук СССР*. 1991. № 2. Т.320. 450-455.

Ситдикова Л.М., Изотов В.Г. Зоны деструкций кристаллического фундамента как потенциальные коллекторы углеводородов больших глубин. *Георесурсы*. № 1(1). 1999. 28-34.

Ситдикова Л.М. *Зоны деструкций кристаллического фундамента Татарского свода*. Казань: Изд-во Каз. ун-та. 2005. 148.

Ситдикова Л.М. Структурно-минералогическая характеристика наноминеральных фаз потенциальных коллекторов кристаллического фундамента татарского свода. *Мат-лы между. конф. «Наноявления при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям»*. 2008. М.: Изд-во «Нефть и Газ». 2008. 209-212.

Флоровская В.Н., Пиковский Ю.И., Оглоблина А.И., Раменская М. Роль гидротермальных факторов в эволюции углеродистых веществ и формировании скоплений нефти и газа. *Журнал ВХО*. 1986. №5. 564-565.

Фрост А.В. *Труды по кинетике и катализу*. М.: Изд-во АН СССР. 1956. 240-389.

I.P. Kosachev, L.M. Sitdikova, V.G. Izotov. **The catalytic mechanism of generation hydrocarbonic systems in zones destructions deep horizons of an earth's crust.**

On the basis of results of experimental simulation the opportunity of realization in zones destructions the crystal base of ancient platforms the catalytic mechanism of generation from methane of the hydrocarbonic systems including connections of gas and liquid phases, under influence catalytic activity fine clay minerals of these zones at presence oil-field brines is revealed. Presence in clay lamellar spaces – original natural nanoreactors promotes realization of process in enough soft conditions (temperature 300°C , pressure 8 – 10 atm.).

Key words: catalysis, methane, clay minerals, zones destructions, base, experimental simulation.

Игорь Павлович Косачев

к. х. н, снс ИОФХ им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН. Сфера науч. интересов: процессы формирования углеводородных скоплений.

420088, Казань, ул. Арбузова, 8. Тел.: (843) 273-93-44.



Ляля Мирсалиховна Ситдикова

к.г.-м.н., доцент КГУ. Сфера науч. интересов: петрология и минералогия глубоких горизонтов земной коры, рентгенография и электронная микроскопия наноминералов зон деструкций.

Виктор Геннадьевич Изотов

к.г.-м.н., доцент КГУ. Сфера науч. интересов: литология нефтеносных формаций.

420008, Казань, ул. Кремлевская, 18. Тел./Факс: (843) 238-84-71.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА GORE-SORBER В КОМПЛЕКСЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Проводятся в комплексе геофизические и геохимические исследования с целью определения перспектив нефтеносности. Геохимическое опробование осуществляется специальными модулями-сорбентами GORE-Sorber. По предлагаемой методике прогноза нефтегазоносности на «пустых» ранее неизученных площадях наличие или отсутствие углеводородных залежей подтверждается с вероятностью 100%. Более сложной представляется аналогичная задача на площадях, где углеводородами в той или иной степени «загрязнены» большие пространства. Вероятность расчленения промышленных участков от углеводородного фона составляет 70 – 75%.

Ключевые слова: геофизические и геохимические исследования, сорбент GORE-Sorber, естественные электрические и магнитные поля, углеводороды, сейсмоподнятия, аномалия, вероятность.

Интенсивная эксплуатация углеводородов (УВ), которая приводит к быстрому истощению залежей с легкоизвлекаемыми запасами, требует поисков и разведки новых промышленных месторождений, уточнения контуров известных залежей, разбраковки площадей с ранее установленной нефтегазоносностью. До недавнего времени такие задачи решались путем применения комплекса геофизических методов, главным образом, регистрацией возмущений естественных электрических и магнитных полей. Однако использование только геофизических методов сегодня не удовлетворяет требованиям достоверности прогноза месторождений УВ.

Более надежные промышленные результаты получены в результате комплексирования геофизических методов с газо-геохимическими (ГГХМ). Первоначально газо-геохимические исследования проводились путем бурения неглубоких (5 – 6 м) скважин по определенной сети с последующим отбором проб грунта с последующей вытяжкой для анализа углеводородов. В дальнейшем оказалось, что более высокие по качеству результаты опробования можно получать специальными модулями-сорбентами GORE-Sorber из шпуров диаметром до 1,5 см с глубины 50 см. В этом случае не требуется бурение скважин, закладка модулей-сорбентов производится вручную, что резко удешевляет полевые работы. Сравнительно новый метод фирмы GORE в 2003 и 2005 гг. был применен на территории Зимницко-Калмаюрской лицензионной зоны Ульяновской области.

В северной части *Калмаюрского* месторождения нефти основная промышленная нефтеносность связана с отложениями визейского терригенного комплекса нижнего карбона, представленного алевролитами и песчаниками. Наиболее выдержанными являются пласты-коллекторы бобриковского горизонта. На *Зимницком* месторождении нефть обнаружена в органогенно-обломочных и оолитовых известняках башкирского яруса. В 2004 году было открыто *Поповкинское* месторождение нефти, в которое входит семь поднятий третьего порядка: Поповкинское, Се-

верное, Крестовое, Мирное, Северо-Камышевское, Западно-Озеркинское и Озеркинское (Рис. 1).

Результаты проведенных работ на Поповкинском и примыкающих к нему поднятиях позволили дать рекомендации для продолжения поисково-разведочных работ. Две пробуренные скважины вскрыли УВ залежи в терригенных отложениях башкирского яруса нижнего карбона и карбонатных отложениях башкирского яруса среднего карбона. Подсчитанные запасы отнесены к категории C_1+C_2 . Таким образом, нефтепродуктивными в исследуемом районе являются терригенные отложения тульского и бобриковского горизонтов нижнего карбона, а также карбонатные отложения каширского и верейского горизонтов башкирского яруса среднего карбона (Рис. 2).

Теоретической базой для использования геохимического метода GORE является представление о вертикальной миграции углеводородных молекул из коллектора к поверхности, т.е. о явлении, которое также известно под названием «микроросачивание». В практическом отношении правомочность данного допущения была доказана в ходе многих геохимических исследований, подтвержденных в широком диапазоне геологических ситуаций.

Естественные электрические и магнитные возмущения возникают, согласно исследованиям известного американского ученого С.Д. Пирсона, в виде электротеллурического потока над углеводородными залежами. Следует предполагать также, что над такими участками всегда должны существовать аномальные восстановительные условия с подавленным потенциалом кислорода. Поэтому такие площади фиксируются электрическими полями с относительно высокой плотностью тока. По мере разрушения залежи, ее отработки, плотность тока должна пропорционально снижаться.

Ранее установлено, что возникающие электрохимические процессы в вертикальных газовых потоках над залежами УВ приводят к концентрации в приповерхностных слоях J, Br, Ni, Zn, V, Fe, Mn, Mo, Co, Cr, Sr, U, Th. Однако на контуры

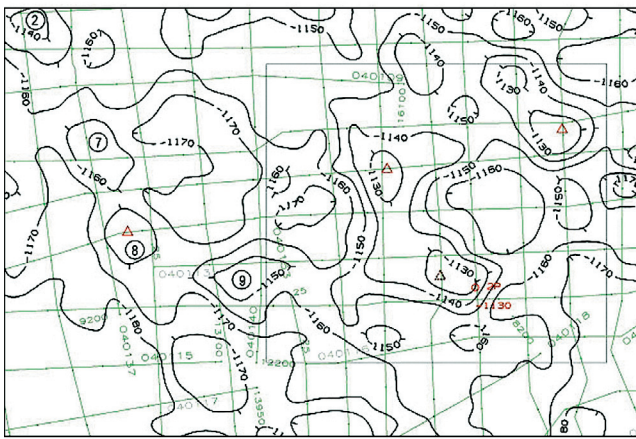


Рис. 1. Фрагмент структурной карты по кровле тульского горизонта нижнего карбона.

горизонтального размещения отмеченного ряда химических элементов существенное влияние оказывают подземные воды. Химические соединения, минералы, представлены здесь, в основном, сульфидами – пиритом, халькопиритом, марказитом, которые образуют вторичную вкрапленность на общем фоне эпигенетических изменений.

Сульфидизация, которая отчетливо фиксируется в нижней зоне углеводородных залежей, на контакте с подстилающими водами приводит к эффекту вызванной поляризации, которая влечет за собой появление природных гальванических элементов. В таких условиях возникают естественные электрические поля, которые хорошо увязываются с вертикальной зональностью окислительно-восстановительных процессов. Преобладание восстановительных условий на глубине (под влиянием повышенных концентраций УВ над их залежами) сменяется окислительными условиями в приповерхностных слоях, где сульфиды, нередко, сменяются сульфатами и оксидами. По всему разрезу возникает градиентная зона окислительно-восстановительного потенциала, обуславливающая разность электрических потенциалов. Сложилось, таким образом, мнение, что геохимическому ореолу УВ соответствует своеобразный геоэлектрический ореол.

Обычным признаком нефтенасыщенных локальных структур в морфологии магнитного поля является сниже-

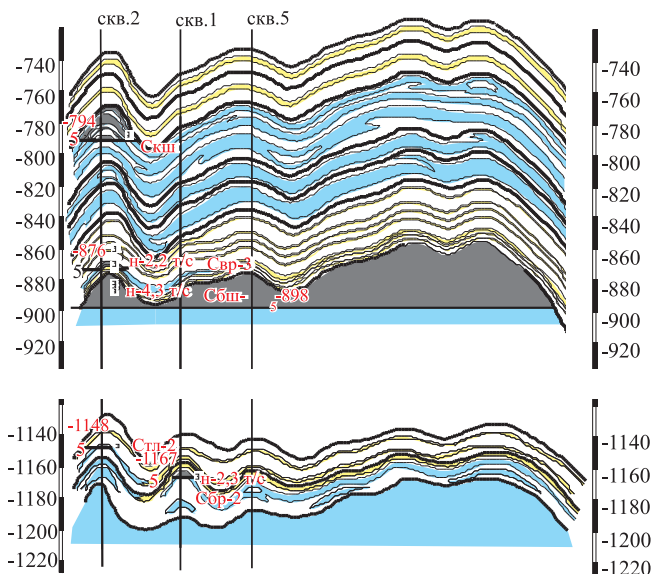


Рис. 2. Геологический профиль по линии (скв. 2, 1, 5) Поповкинского месторождения.

ние амплитуды ΔT (на первые десятки нТл), совпадающее в плане с положением объекта. На интенсивность аномалий, естественно, влияют также литологический состав пород, их первичная намагниченность, а также геометрия структурной ловушки. Появление аномальных электромагнитных полей линейного характера, как правило, увязывается с тектоническими структурами в фундаменте. А мозаичная структура магнитного поля, обычно, формируется в верхней части разреза и обусловлена, в основном, эпигенетическими магнитоактивными новообразованиями. Таким образом, общую электромагнитную картину поля формируют: линейные поля тектонического генезиса, мозаичные градиентные поля эпигенетических новообразований, а также поля электротеллурического потока, наиболее важные в информативном смысле.

Выделение последнего фактора, связанного с подъемом интрателлурических потоков УВ – главная задача исследования. Определение влияния линейно выраженных геофизических аномалий тектонического генезиса не составляет сложной задачи. Более трудным оказывается разделение первичных объемных полей электротеллурического потока от полей эпигенетического генезиса, обладающих преимущественно площадным распространением.

Эпигенетические изменения сопровождаются накоплением битумов и озокеритов. Поэтому здесь наблюдаются интенсивные аномалии вызванной поляризации (ВП), а также отрицательные аномалии естественного электрического поля (ЕП) и повышенный уровень сопротивления. Соответственно, магнитные поля в пределах градиентных ореолов поднимающихся углеводородов всегда обладают сравнительно низкой интенсивностью (напряженностью) на фоне обрамляющего естественного поля. Естественно предположить также, что на общем латеральном поле интрателлурического потока углеводородов окислительный потенциал сравнительно подавлен, что сказывается и на рН подземных вод и степени окисленности минералов. Это обстоятельство влияет также на физические поля и характер эпигенетических изменений.

Подъем УВ по вертикальному разрезу толщ, как правило, происходит диффузионно-фильтрационным способом и, естественно, зависит от литологического состава пород и степени их раздробленности. При этом отмечается следующая закономерность: по разломам фиксируется увеличение доли метана и других «тяжелых» углеводородов. Через монолитные, трудно проницаемые породы легче диффундируют «легкие» разновидности углеводородов. В плане геохимические аномалии также зависят от структур подстилающих пород. При наличии структурных ловушек, типа брахиантиклиналей, такие аномалии нередко имеют площадную форму, в разломных структурах – линейную.

Лучшими ловушками УВ в приповерхностных условиях являются глины, которые в корях выветривания занимают верхнюю часть разреза и перекрыты только рыхлым почвенно-растительным слоем. На глубине 5 – 6 метров глины обычно переходят в структурную кору выветривания или трещиноватые коренные породы, которые легко пропускают глубинные газовые потоки. Поэтому установка ловушек глубинных газов в глинистой коре выветривания является оптимальной.

Модуль GORE представляет собой устройство для пассивного отбора почвенных паров углеводородов. Каждый

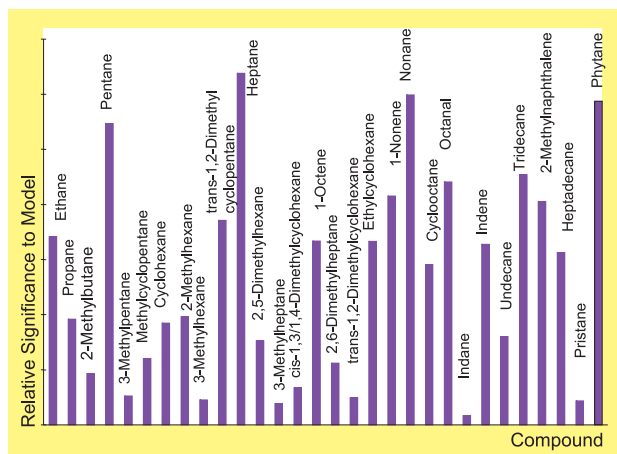


Рис. 3. Гистограмма опознавательных признаков наличия нефти, полученных на нефтяной скважине В-70.

модуль GORE содержит две двойные пробы для последующего анализа. Все пробы грунтового газа анализируются с помощью термодесорбции, сопровождаемой газохроматографическим разделением и масс-спектрометрическим обнаружением широкого профиля органических (включая термогенные) соединений вплоть до C₂₀ (фитан).

В предлагаемой технологии используются модули-адсорбенты GORE – SORBER, которые закладываются вручную на глубину 50 см. Предлагаемая система пассивной адсорбции газовой фракции существенно отличается от предыдущей, использовавшей для отбора проб глубинных газов 5 – 6 – метровые скважины. Эта особенность резко удешевляет выполнение полевых работ. Второй особенностью методики является надежная и детальная диагностика глубинных газов, позволяющая различать углеводороды «фона», разделять газы по генезису: растительные, микробиологические, поверхностного загрязнения, исходной породы и т.д. По сравнению с ранее использовавшимися методиками точность метода GORE повышена на несколько порядков, с 10⁻⁶ до 10⁻⁹ – 10⁻¹². Если ранее существующие методики ограничивались диагностикой УВ в интервале C₁-C₆, то предлагаемая методика способна провести разбраковку УВ в интервале C₂-C₂₀. При этом для гарантированной защиты сорбируемых глубинных флюидов от поверхностных загрязнений применяются специальные технологии. Более совершенная и глубокая геохимическая диагностика углеводородов несколько удорожает эту часть исследований.

Кроме высокотехнологичной начинки модуля-сорбента GORE – SORBER к нему прилагается пакет методик статистической обработки получаемых аналитических материалов. Следует упомянуть, что лаборатория GORE соответствует современному уровню и стандартам качества США и Германии. При статистической обработке геохимических данных используют ряд методик кластерного и отличительного анализ: анализ главных компонент (АГК), иерархический кластерный анализ (ИКА), дискриминантный анализ (ДА), анализ канонических величин (АКВ). Для надежного контроля получаемых результатов существующая методика отбора проб предусматривает обязательное опробование участков с установленной нефтегазоносностью, а также таких участков, где ее отсутствие доказано. И в том и в другом случае пробы отбираются вблизи соответствующих глубоких скважин с надежно установленным наличием или отсутствием УВ.

При помощи иерархического анализа проводят ком-

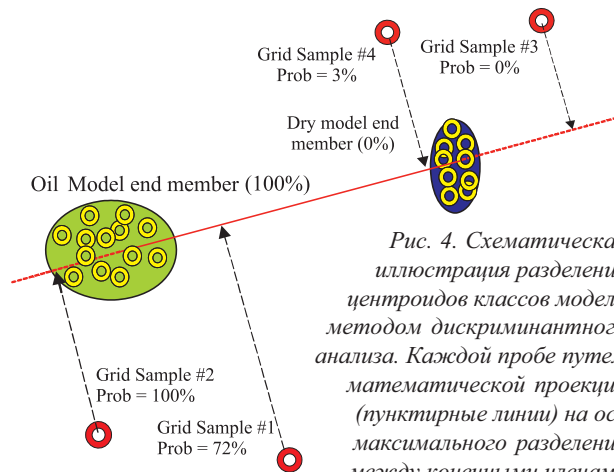


Рис. 4. Схематическая иллюстрация разделения центроидов классов модели методом дискриминантного анализа. Каждой пробе путем математической проекции (пунктирные линии) на ось максимального разделения между конечными членами модели (жирная линия) присваивается значение вероятности.

позиционную группировку аналитических данных, которая представляет собой список подмножеств результатов геохимических исследований. Метод кластерного анализа используют для определения структуры комплекта выборки, когда никакая другая геологическая или геофизическая информация недоступна для перспективной оценки полученных геохимических данных. Отличительный или дискриминантный анализ (ДА) является многомерной технологией классификации данных. Он позволяет определять для различающихся статистических подмножеств особенности физического влияния среды на их формирование и обособление. Вся работа в этом виде анализа базируется на сравнении образца (с ранее установленным содержанием углеводородов) с изучаемым. Метод ДА определяет статистические критерии различия между сравниваемыми образцами. Главный аргумент разделения, который имеет практическое значение, – различие параметров, отделяющие признаки нефтегазовой залежи от колебаний обычного геохимического фона.

Привязка координат всех модулей проводится с помощью спутникового навигатора GPS Garmin-76 и вводится в банк данных компьютера. Время нахождения модулей в грунтах – 17 дней. Лабораторные анализы собранных газов проводились в г. Элктон (штат Мериленд, США). Исследованы углеводородные соединения нефти, газа и нефтепродуктов в диапазоне от C₂ (этан) до C₂₀ (фитан).

Установлено, что почвенные газы несут признаки ни-

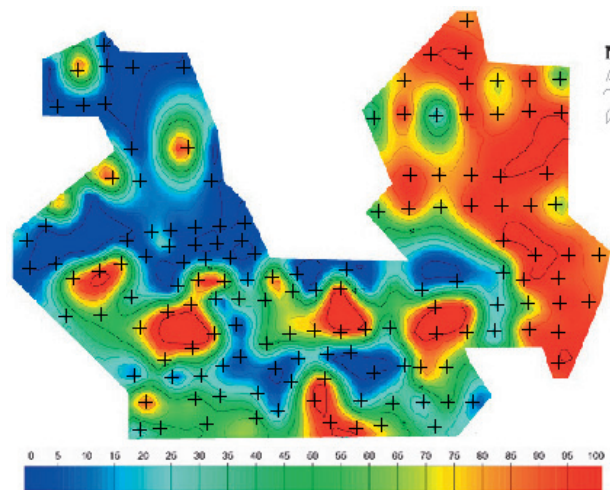


Рис. 5. Распределение нефтеподобной вероятности по типу скважины В-70. + – точка установки модуля-адсорбента GRE-SORBER.

жележащей углеводородной залежи. Их контуры четко фиксируют проекцию углеводородных залежей на дневной поверхности. Выявлены также признаки, увязывающиеся с пороговыми (фоновыми) значениями. В результате полевых и лабораторных исследований построена информационная прогнозная карта. Величиной аномального порога признана вероятность 72 %. Модульные позиции выше 72% считаются характерными для существующих углеводородных залежей. Аналогичные позиции с вероятностью, стремящейся к нулю, считаются фоновыми, указывающими на отсутствие углеводородного накопления.

По нашему опыту модель 1 (Рис. 3) выглядит геохимически устойчивой и представляет собой ореол проявления нефти. Модель устойчива в том смысле, что «нефтепроводная качественная характеристика» не определяется исключительно одним или несколькими соединениями, разработанными в диапазоне анализа.

При дискриминантном анализе каждая проба классифицируется согласно вероятности ее принадлежности к одному из двух классов конечных членов. В случае двухфакторной дискриминантной модели это достигается путем математической проекции каждой пробы на ось, которая разграничивает центроиды классов конечных членов, причем центроиды определяются конкретными пробами, использованными при определении каждого из классов. Центроиды «сухого» класса представляют собой нулевую вероятность присутствия в нефтепробном классе, а центроид нефтяного класса представляет 100 %-ю вероятность членства в нефтепробном классе. Любой пробе, которая «проецируется» за пределы центроида класса, приписывается либо нулевое, либо 100 %-е значения вероятности. Упрощенная иллюстрация этой идеи показана на Рис. 4.

Изображение (не в фактическом масштабе) поверхности распределения вероятности модели обследования показано на Рис. 5. Карта иллюстрирует полученные с помощью статистических программ контурные поверхности значений вероятности, рассчитанных для места взятия проб. Конфигурация оконтуренной поверхности зависит от интервала и плотности расстановки пробоотборников, а также от значений вероятности проб. При рассмотрении оконтуренных поверхностей данных важно осознать, что значения вероятности наиболее точны в местах фактического взятия проб.

Высокие значения вероятности указывают на те области в пределах района обследования, которые имеют качественную характеристику, схожую с моделированными опознавательными признаками нефтяного коллектора, определяемыми совокупностью введенных модельных проб. «Геохимический объект» в данном случае определяется как любой набор оконтуренных значений вероятности, которые выглядят так, как будто им присуще общее геохимическое влияние.

Результаты, полученные с помощью модели наличия нефти по типу скв. В-70, позволили определить в районе обследования несколько геохимических объектов, которые отмечены на Рис.5. Согласно полученным данным аномально высокие значения вероятностей установлены в восточной части участка исследований: в зоне Поповкинско-го, а также в пределах нескольких структур Крестового сейсмоподнятия. Здесь прогнозные данные подтверждаются вероятностями 90 – 100 %. В юго-западной части исследуемой площади процент вероятности несколько ниже.

При этом зоны разломов с «ураганными» концентрациями УВ были исключены, а на картах они показаны как участки нулевой вероятности.

Поповкинский геохимический объект состоит из почти 40 аномальных проб по сети 400 на 400 и 400 на 800 метров и может простирается далее на восток за пределы участка обследования. Существуют дополнительные, вполне возможно самостоятельные, геохимические аномалии, но в связи с их размером они не представляют практического интереса. Для того чтобы получить более детализированное геологическое толкование результатов, геохимические данные должны быть объединены с другой геологической и геофизической информацией по району обследования.

Подводя краткий итог использования предлагаемой методики прогноза нефтегазоносности в основных нефтегазовых провинциях страны, можно констатировать, что на «пустых» ранее неизученных площадях наличие или отсутствие углеводородных залежей подтверждается с вероятностью 100 %. Более сложной представляется аналогичная задача на площадях, где углеводородами в той или иной степени «загрязнены» большие пространства. Вероятность расчленения промышленных участков от углеводородного фона составляет 70 – 75 %.

R.S. Khisamov, P. Harrington, V. German, S.E. Voitovich, M.G. Chernishova. **The using of Gore-SORBER method at complex geophysical and geochemical of the investigations at diagnostics of the oilfields.**

The complex of geophysical and geochemical researches is getting to define prospects of oil. Geochemical studies are realized by special module-sorber GORE-Sorber. By means of this methods on the empty earlier unexplored areas presence or absence hydrocarbon are confirmed with probability of 100%. It's more difficult to confirm this probability where the surface of ground is polluted by oil product. The probability of the dismemberment industrial areas from influence of hydrocarbon is 70 – 75%.

Key words: geophysical and geochemical of the research, sorbent GORE-Sorber, natural electric and magnetic margins, the hydrocarbons, anomaly, probability.

Раис Салихович Хисамов

д.г.м.н., профессор, зам. генерального директора, главный геолог ОАО «Татнефть».

Россия, Татарстан, Альметьевск, ул. Ленина, 75.

Тел./Факс: (8557) 30-71-17

Пол Харингтон

старший геолог W.L.Gore & Associates Inc.

США, Штат Мэриленд, Элктон, Чиспек бульвар, 100.

Тел.: +1-410-3927600

Виктор Герман

геолог НВН.

Германия, Нюрнберг, Ф. Вайхсельгартенштр, 12а.

Тел.: +49-911-4806514

Сергей Евгеньевич Войтович

зам. начальника ТГРУ по НИР, гл. геолог ККГЭ.

Тел.: (843) 292-52-06

Марина Геннадьевна Чернышова

начальник НПЦ ГГХМ ТГРУ ОАО «Татнефть».

Россия, Казань, Чернышевского, 23/25.

Тел./Факс: (843) 292-52-13

ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены частотно-избирательные свойства стратифицированной геологической среды при распространении упругих возмущений. Предложены два способа оценки положения спектральных максимумов амплитудно-частотной характеристики такой среды. На примере сводного геологического разреза РТ показано, что спектр собственных частот многослойной среды крайне неравномерный и отражает строение разреза. Приведенные результаты подтверждают принципиальную возможность изучения геологического разреза осадочно-го чехла по спектрам микросейсмических шумов, в частности, для поисков нефти.

Ключевые слова: спектр микросейсмических шумов, стратифицированная геологическая среда, амплитудно-частотная характеристика, упругая среда распространения.

Экспериментальные исследования сейсмических шумов – микросейсм – имеют почти вековую историю. Изучаемыми параметрами микросейсмических волновых процессов являлись амплитудно-частотные и фазовые характеристики, соотношение амплитуд на различных частотах, а также изменения этих параметров во времени. При этом решаются два класса задач: связь параметров микросейсмического излучения с параметрами возможных первичных источников излучения упругой энергии (Капустян, 2001) и связь параметров сейсмических шумов со структурой, литологией и свойствами геологической среды (Надежка и др., 2003).

По первому классу задач следует отметить, что источники микросейсмического излучения делятся на эндогенные (глубинные) и экзогенные (поверхностные). Вторые, в свою очередь, подразделяются на природные и антропогенные. Каждый тип источников порождает свой тип микросейсм, существенно отличающихся по амплитудно-частотным характеристикам.

Ко второму классу относятся задачи определения по параметрам микросейсмического излучения мощности и свойств осадочного чехла, литологического расчленения верхней части разреза земной коры, выделения аномальных зон на глубинах до 10 км и связь этих зон с тектоническим строением.

В последние годы растет интерес к исследованию параметров микросейсмического фона в нефтегазоносных районах в связи с гипотезой о том, что нефтегазовые залежи вносят возмущения в амплитудно-частотные свойства микросейсмических волновых процессов в диапазоне 1 – 12 Гц (технология АНЧАР (Графов и др., 1996), низкочастотное сейсмическое зондирование (Биряльцев и др., 2005)).

Здесь следует отметить, что нефтегазоносные районы имеют достаточно высокую степень изученности геологического строения осадочного чехла и его упругих свойств: в этих районах широко используются методы сейсморазведки, вертикального сейсмопрофилирования (ВСП) и других сейсмокаротажных исследований глубоких скважин.

В связи с этим повышается актуальность задач о связи параметров геологической среды, полученных при сейсмокаротажных исследованиях глубоких скважин, и параметров микросейсмических волновых процессов.

В данной работе рассмотрены частотно-избирательные свойства стратифицированной геологической среды,

которые могут быть оценены по данным сейсмокаротажных исследований скважин, например, ВСП. Численные оценки получены на примере сводного геологического разреза для Республики Татарстан.

Физическая модель осадочного чехла представляет собой многослойную упругую среду, каждый слой которой характеризуется известной скоростью продольных волн (v), плотностью и толщиной. Верхняя граница осадочного чехла – дневная поверхность, нижняя граница – поверхность кристаллического фундамента. Как известно, коэффициент отражения упругих волн от границы упругих слоев определяется отношением волновых сопротивлений этих слоев (волновое сопротивление z – произведение скорости на плотность).

Наиболее контрастные границы для геологических условий РТ – это границы между терригенными и карбонатными толщами. Терригенные отложения характеризуются скоростями продольных волн от 3000 до 4000 м/сек (для глин – 3000 м/сек, для алевролитов – 3500 м/сек, для плотных песчаников – до 4000 м/сек). В карбонатных отложениях v лежит в пределах 5500 – 6000 м/сек. Для пород кристаллического фундамента v доходит до 7000 м/сек. Толщина осадочного чехла меняется от 1600 до 2000 м.

В сводном геологическом разрезе РТ можно выделить четыре региональные терригенные толщи: верхнепермская, верейская, тульско-бобриковская и девонская, лежащая непосредственно на кристаллическом фундаменте. Территориально мощности терригенных отложений в геологическом разрезе меняются в больших пределах, поэтому для решения конкретных задач необходимо воспользоваться скважинной информацией. Типичный скоростной разрез для условий РТ представлен на Рис. 1.

Частотно-избирательные свойства стратифицированной геологической среды будут определяться отражениями от наиболее контрастных границ и интерференцией упругих волн. В общем случае, спектр измеряемого сигнала при активной или пассивной сейсморазведке $I(f)$ можно представить в виде:

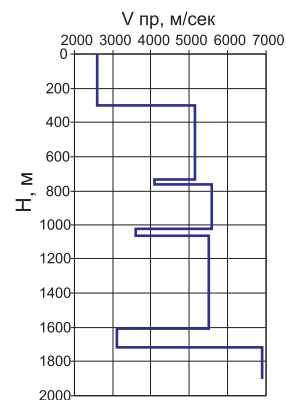


Рис. 1. Типичный скоростной разрез осадочного чехла РТ.

$$I(f) = S(f) \cdot F(f),$$

где $S(f)$ – обобщенный спектр источников сигналов, $F(f)$ – передаточная функция (амплитудно-частотная характеристика) геологической среды, f – частота.

Здесь рассматривается задача оценки положения максимумов амплитудно-частотной характеристики слоистой упругой геологической среды.

В первом приближении поставленную задачу можно решить следующим образом.

Коэффициент отражения (по амплитуде) от границы двух упругих сред с известными волновыми сопротивлениями $z_1 - z_2$ определяется выражением:

$$R = (z_1 - z_2) / (z_1 + z_2).$$

Из этого выражения следует, что при $z_2 > z_1$ отражение происходит в противофазе. В противном случае отраженная волна совпадает по фазе с падающей. (При $z_2 = z_1$ отражение отсутствует, при $z_1 \gg z_2$ имеет место полное отражение при сохранении фазы, что соответствует свободной границе, а при $z_1 \ll z_2$ происходит полное отражение в противофазе, что соответствует жестко закрепленной границе). Дневную поверхность при падении волны из осадочного чехла можно считать свободной границей, а поверхность кристаллического фундамента – жесткой (z фундамента всегда больше чем z пород осадочного чехла, и отражение происходит в противофазе с падающей волной). Промежуточные поверхности разделов геологических толщ можно представить либо свободной, либо жесткой границей, что зависит от соотношения волновых сопротивлений (собственно здесь представляет интерес только фазовый сдвиг между падающей и отраженной волнами на данной границе).

Частотно-избирательные свойства ограниченной среды будут определяться фазовыми соотношениями для нормальной составляющей волнового процесса, ограниченной верхней и нижней границами. Если рассматривать продольную волну, распространяющуюся по вертикали между дневной поверхностью и фундаментом (или другой жесткой границей), то для проявления резонансных свойств среды следует потребовать совпадения фаз прямой и обратной волн на дневной поверхности с учетом того, что отражение от фундамента происходит в противофазе. Для однородной упругой среды, лежащей на жестком фундаменте, это условие дает соотношение для частоты n -ой моды:

$$f_n = (2n - 1)v / 4 \cdot h = (2n - 1) / 4 \cdot t, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

где v – скорость распространения волны, h – толщина упругой полосы (глубина залегания отражающей границы), t – время распространения упругого возмущения от дневной поверхности до отражающей границы.

Если отражение происходит в фазе (отражающая граница «свободная»), то для однородной упругой среды условие совпадения фаз прямой и обратной волн на дневной поверхности дает соотношение для частоты n -ой моды:

$$f_n = n \cdot v / 2 \cdot h = n / 2 \cdot t, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Если рассматриваемая среда неоднородна, то приведенные соотношения являются достаточно грубой оценкой частоты мод, поскольку не учитывают фазовые соотношения на промежуточных границах. Тем не менее, они дают вид связи между интегральными параметрами процесса (полагая, что v – средняя скорость распространения

волны в слоистой среде) и могут быть использованы для первых оценок частотно-избирательных свойств среды. Время распространения упругого возмущения t есть результат прямого измерения ВСП или сейсморазведки.

Для оценки частот мод, порождаемых конкретной границей, полагаем, что вид границы («свободная» или «жесткая») определяется соотношением волновых сопротивлений вышележащего и подстилающего слоев, а нижележащие слои не влияют на оценки.

Уточнить полученные оценки можно, используя более корректную модель для определения собственных колебаний многослойной упругой среды, характеризуемой мощностью h_n , скоростью продольных волн v_n и плотностью ρ_n . Упругие колебания в одномерном случае для каждого слоя описываются гиперболическим (волновым) уравнением:

$$\frac{\partial^2 U_n}{\partial t^2} = v_n^2 \cdot \frac{\partial^2 U_n}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Будем предполагать, что зависимость перемещения U_n от времени гармоническая:

$$U_n(x, t) = u_n(x) \cdot e^{i\omega t},$$

где ω – круговая частота гармонических колебаний. Тогда уравнение в частных производных (3) преобразуется к обыкновенному дифференциальному уравнению:

$$v_n^2 \cdot u_n''(x) + \omega^2 \cdot u_n(x) = 0. \quad (4)$$

Если скорость v_n – постоянная величина, то общее решение уравнения (4) в каждом слое представимо в виде:

$$u_n(x) = A_n \cdot \cos(\omega x / v_n) + B_n \cdot \sin(\omega x / v_n),$$

где A_n, B_n – некоторые константы.

В каждом слое общее решение уравнения (4) удобно представить в виде:

$$u_n(x) = C_1^{(n)} \cdot \cos(\omega(x - a_n) / v_n) + C_2^{(n)} \cdot \sin(\omega(x - a_n) / v_n), \quad (5)$$

где a_n – координата верхней границы слоя, $C_1^{(n)}, C_2^{(n)}$ – некоторые константы.

Из физических соображений (неразрывность среды распространения и равенство силы воздействия и реакции – третий закон Ньютона) на границе раздела сред должны быть непрерывны перемещения и напряжения, которые связаны с перемещением законом Гука: $\sigma(x) = \rho v^2 u'(x)$, где производная u по x имеет вид:

$$u_n'(x) = -(\omega / v_n) \cdot C_1^{(n)} \cdot \sin(\omega(x - a_n) / v_n) + (\omega / v_n) \cdot C_2^{(n)} \cdot \cos(\omega(x - a_n) / v_n), \quad (6)$$

Таким образом, получены условия сопряжения искомым функций $u_n(x)$, которые дают систему линейных уравнений, из которой определяются неизвестные константы $C_1^{(n)}, C_2^{(n)}$ для каждого слоя:

$$u_n(a_n) = u_{n-1}(a_n),$$

$$\rho_n \cdot v_n^2 \cdot u_n'(a_n) = \rho_{n-1} \cdot v_{n-1}^2 \cdot u_{n-1}'(a_n). \quad (7)$$

Нашу модель (4), (7) необходимо дополнить однородными граничными условиями. Будем предполагать, что верхняя граница свободная ($u_n'(a_1) = 0$). Отсюда следует, что $C_2^{(1)} = 0$, а $C_1^{(1)}$ – произвольная постоянная (например, $C_1^{(1)} = 1$), то есть все константы в (7) определены.

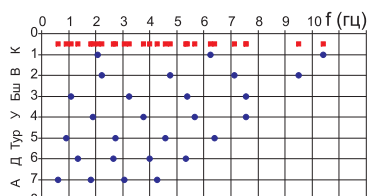


Рис. 2. Распределение мод собственных колебаний по отражающим границам (грубая оценка).

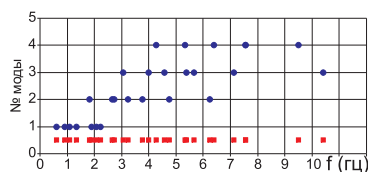


Рис. 3. Распределение мод собственных колебаний по номерам (грубая оценка).

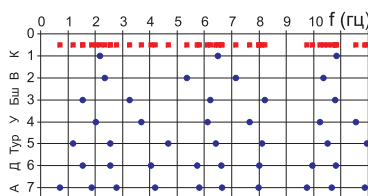


Рис. 4. Распределение мод собственных колебаний по отражающим границам (точная оценка).

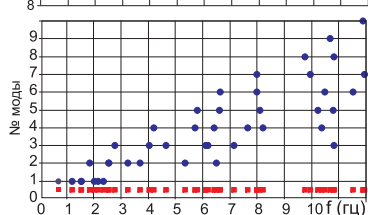


Рис. 5. Распределение мод собственных колебаний по номерам (точная оценка).

Нижняя граница по предположению либо свободная ($u'_N(h_N) = 0$), либо жестко закрепленная ($u_N(h_N) = 0$). Это условие, поскольку все константы определены, приводит к характеристическому уравнению относительно ω . Таким образом, граничные условия уравнения (4) удовлетворяются только при определенных частотах ω , которые удовлетворяют характеристическому уравнению и являются собственными частотами многослойной упругой среды.

Далее, используя описанный подход для определения вида конкретной отражающей границы («свободная» или «жесткая») и решая характеристическое уравнение, получим оценки частот мод, порождаемых данной границей.

На рисунке 4 приведены результаты расчетов частоты мод с использованием соотношений уточненной модели для скоростного разреза, показанного на Рис.1. На рис. 5 те же результаты перекомпонованы по номерам мод. Основное отличие от более грубых оценок (Рис. 2, 3) заключается в том, что интервалы между соседними модами для данной отражающей границы не постоянны, и чем глубже залегает отражающая граница, тем более сложной

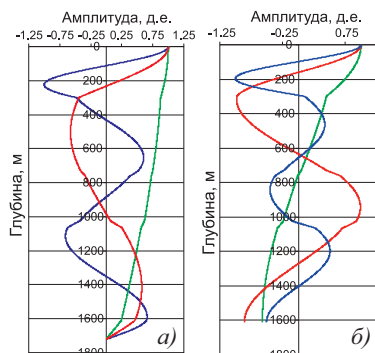


Рис. 6. Формы собственных колебаний многослойной геологической среды: а) отражения от «жесткой» границы, б) отражения от «свободной» границы.

становится закономерность в последовательности мод. Это связано с тем, что форма собственных колебаний слоистой среды терпит разрывы гладкости (фазы) на границах слоев (Рис. 6). Полученные оценки подтверждают вывод, что спектр собственных частот многослойной среды крайне неравномерный. Наиболее выра-

женные группировки максимумов находятся в районе частот 2,2 Гц, 4 Гц, 6,2 Гц, 8 Гц и 10,5 Гц, причем кластер в районе 2.2 Гц содержит первые моды от всех рассмотренных отражающих границ геологического разреза РТ за исключением кристаллического фундамента и кровли турнейских отложений. В районе этой частоты должен потенциально находиться основной интегральный максимум спектра микросейсмического шума.

Приведенные результаты показывают принципиальную возможность изучения геологического разреза осадочного чехла по спектрам регистрируемых микросейсмических шумов в диапазоне частот 0,5 – 12 Гц. При этом объектом анализа могут быть любые параметры геологической среды, влияющие на упругие свойства отдельных слоев, включая зоны разуплотнения и насыщения пластами флюидами.

Литература


Биряльцев Е.В., Рыжов В.А., Шабалин Н.Я. Особенности интерпретации спектральных характеристик природных микросейсм для локального прогноза нефтеносности в условиях республики Татарстан. Прием и обработка информации в сложных информационных системах. Выпуск № 22. Казань. 2005. 113-120.
 Графов Б.М. и др. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АНЧАР. Геофизика. № 5. 1996. 24-28.
 Капустян Н.К. Техногенные механические вибрации: параметры воздействий и наведенные процессы в земной коре. Электронный научно-информ. журнал «Вестник ОГГН РАН». № 4(19). 2001.
 Надежка Л.И., Орлов Р.А., Пивоваров С.П. и др. О связи параметров сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями Воронежского кристаллического массива. Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. № 2. 2003. 179-185.

Kipot V. L., Tumakov D. N. Frequency-selective properties of the stratified geological space.


This paper is concerned with frequency-selective properties of stratified geological space at propagation of elastic perturbations. Two ways to value the location of spectrum peaks of gain-frequency characteristic in such medium are suggested. On the sample of the geological column of the Republic of Tatarstan it is shown that a spectrum of the eigenmodes is extremely irregular and reflects the structure of a geological column. Given results confirm the fundamental possibility to study a geological column of a sedimentary cover by analysis of the microseismic noise spectrum, in particular for oil prospecting.

Key words: microseismic noise spectrum, stratified geological space, gain-frequency characteristic, elastic propagation medium.

Виктор Леонидович Кипоть
 вед. науч. сотрудник НИИ ММ им. Н.Г. Чеботарева, к.т.н. Область научных интересов – моделирование геолого-геофизических систем и процессов.
 420008, Казань, ул. Проф. Нужина, д. 1.
 Тел./Факс: (843) 238-22-61.



Дмитрий Николаевич Тумаков
 ст. науч. сотрудник НИИММ им. Н.Г. Чеботарева, к.ф.-м.н. Область научных интересов – распространение и дифракция упругих и электромагнитных волн.
 420008, Казань, ул. Проф. Нужина, д. 1.
 Тел./Факс: (843) 238-22-61.



ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА ЗЕМЛИ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В 2001 – 2005 гг.

Изучен характер движения среднего полюса Земли в связи с сильнейшими землетрясениями 2003 – 2004 гг. Оказалось, что значительные (около 0,6 м) смещения среднего полюса произошли в 2000 – 2002 гг., т.е. предшествовали сильнейшим сейсмическим событиям. Выявлено также, что моменты землетрясений тесно связаны с фазой периодического движения полюса на данном меридиане и происходят чаще всего вблизи максимумов и минимумов этого движения. Из 21 сильных землетрясений 2001 – 2005 гг. 16 (76 %) произошли вблизи экстремумов движения полюса. Полученные результаты могут быть полезны при прогнозировании землетрясений.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмическая активность, движение полюса, неравномерности вращения Земли.

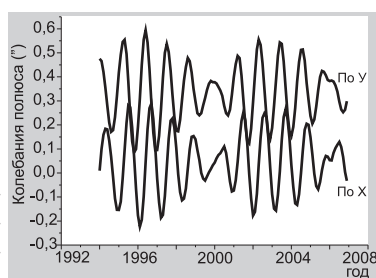
Дискуссия о связи движения полюсов и неравномерности вращения Земли с сейсмичностью активно велась в 60 – 70-х гг. прошлого столетия (Яцкив и др., 1976). Как правило, рассматривалось влияние землетрясений на движение полюса, в частности, вопрос о сейсмическом возбуждении чандлеровского движения полюса. Действительно, сильнейшие землетрясения могут вызывать движение земной коры, перераспределять океанические массы, а, следовательно, изменять положение оси вращения внутри Земли. Были получены противоречивые результаты и сделан вывод, что точность наблюдений того времени была недостаточна для решения этого вопроса. С тех пор точность наблюдений значительно возросла, а в 2003 – 2004 гг. произошли два сильнейших землетрясения – в Горном Алтае (27 сентября 2003 г.) и вблизи острова Суматра (25 декабря 2004 г.). Магнитуда обоих землетрясений достигала 9. Первое из них, хотя и прошло практически незамеченным из-за малонаселенности места события, является неординарным. По данным Института геофизики Сибирского отделения РАН, подобной силы толчки в сибирской зоне могут происходить с частотой раз в 150 лет. Второе было катастрофическим и привело к многочисленным жертвам в странах Юго-Восточной Азии. Это пятое по мощности землетрясение, зафиксированное на Земле с 1900 года, и самое сильное после стихийного бедствия в 1964 г. на Аляске.

Произошли ли изменения в положении полюса Земли в результате этих событий? Ответ на этот вопрос следует искать в изучении вариаций так называемого «среднего полюса» – изменений, которые остаются после исключения периодических колебаний с амплитудой 0,1" – 0,3".

Для анализа были рассмотрены координаты полюса (X и Y) Международной службы вращения Земли за 1995 – 2007 гг. (IERS..., 1994 – 2007). Характер движения полюса отдельно по X и Y за этот период времени дан на Рис. 1.

Изменения амплитуды периодического движения полюса происходит из-за интерференции двух основных колебаний с близкими периодами – годовичного и чандлеровского с периодом 1,2 года. Заметим, что амплитуды

Рис. 1. Координаты полюса Земли по данным Международной Службы вращения Земли.



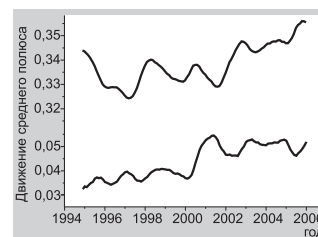
и начальные фазы этих составляющих движения полюса не постоянны и меняются со временем. На рисунке 1 видно, что суммарная амплитуда периодического движения полюса после 2000 г. несколько уменьшилась. Для исключения периодического движения было применено линейное преобразование Орлова-Сахарова (Сахаров, 1972), в результате чего были вычислены положения среднего полюса (непериодического движения оси вращения в теле Земли) с интервалом 0,1 года. Изменения положения среднего полюса отдельно по координатам X и Y приведены на Рис. 2.

Для большей наглядности масштаб по вертикальной оси увеличен в несколько раз по сравнению с Рис. 1. Оказалось, что резкие изменения в направлении, скорости и величине смещения среднего полюса произошли в 2000 – 2002 гг. В интервале с 2000,2 по 2001,2 произошло смещение полюса на 0,051" (0,57 м) по оси X (вдоль меридиана), а затем с 2001,8 по 2002,6 г., полюс сместился на 0,019" (0,57 м) к западу по оси Y. С 2003 года движение среднего полюса практически прекратилось. В интервале 2003 – 2006 гг. оно не превышает 0,001" (0,03 м). Обычно периодическое движение полюса (полодию), а также движение среднего полюса на графиках дают в векторном виде. Такое представление (Рис. 3) делает сказанное выше особенно наглядным. На рисунке 3 даны осредненные для каждого года отклонения значений среднего полюса от средних величин X и Y за 1995 – 2007 гг., равных 0,043" и 0,337" соответственно.

Таким образом, изменения в положении среднего полюса Земли предшествовали, а не следовали за самыми значительными сейсмическими событиями начала 21 века. Да и в целом нарастание сейсмической активности началось после 2002 года. В 2001 г. произошло 2 сильных землетрясения с магнитудой 7 и более (Сальвадор, Индия), в 2002 – 2 землетрясения (Таджикистан, Тайвань), в 2003 их было уже 5 (в том числе и землетрясение в Горном Алтае), в 2004 – 5 землетрясений (в том числе и вблизи о. Суматра), в 2005 – 4 (опять Суматра, Иран, Япония, Пакистан).

Следует расширить временной интервал для изучения связи сильнейших землетрясений с флуктуациями в движении среднего полюса насколько это возможно. Подтверждение такой их

Рис. 2. Движение среднего полюса Земли (в секундах дуги) по X и Y.



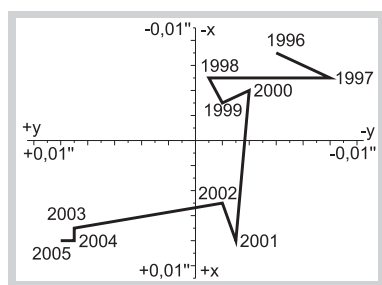


Рис. 3. Движение среднего полюса.

связи было бы полезно для среднесрочного прогноза сильнейших землетрясений.

Выявлен еще один интересный аспект взаимосвязи

движения полюса и землетрясений. Оказалось, что моменты землетрясений тесно связаны с фазой периодического движения полюса на данном меридиане, и происходят чаще всего вблизи максимумов или минимумов этого движения (Рис. 4). На рисунке 4 для трех пунктов приведены графики изменения астрономической широты (проекция движения полюса на данный меридиан), вычисленной по известной формуле Костинского:

$$\Delta\varphi = X \cos\lambda + Y \sin \lambda,$$

где X и Y – координаты полюса; λ – долгота пункта землетрясения.

Моменты землетрясений на графиках изменения широты показаны черточками. Конечно, не все землетрясения происходят вблизи экстремумов. Некоторые из них попадают и в среднюю часть синусоиды, которой приближенно описывается изменения широты пункта землетрясения. Для количественной оценки были рассмотрены все сильные землетрясения 2001 – 2005 гг., о которых сообщалось в средствах массовой информации. Характеристики 21 землетрясения и их связь с периодическим движением полюса приведены в таблице. Здесь даны только предварительные оценки магнитуд и приближенное значение долготы, определенное по географической карте для места сообщенного эпицентра землетрясения.

В последнем столбце таблицы приведены интервалы времени в долях года от ближайшего экстремума (максимума или минимума) до момента землетрясения. Величина же самого интервала между соседними экстремумами (половина периода) несколько меняется в течение 6-летнего цикла биений основных годовой и четырнадцатимесячной составляющих движения полюса (Рис. 1). Не вдаваясь в подробности этого сложного явления, отметим, что в 2001 – 2005 гг. величина половины периода была

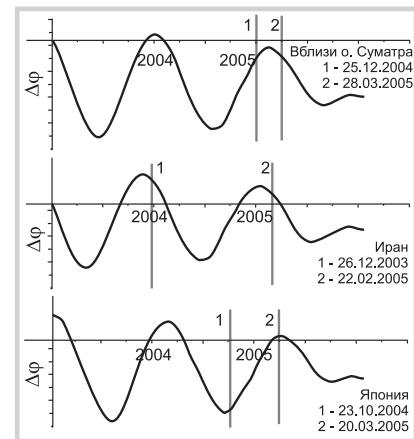


Рис. 4. Связь моментов землетрясений с периодическим движением полюса.

иногда чуть больше, но не менее 0,55 года (приблизительно 200 суток). Разделим эту величину на 3 части: середина, равная половине времени между соседними экстремумами (0,28 года) и два интервала по 0,14 года, отсчитываемых от соседних экстремумов к середине, в сумме также равные половине интервала между соседними экстремумами.

По данным таблицы даты 16 землетрясений (76 % от общего их числа), находятся в интервале 0,14 года (50 суток) от ближайшего экстремума. В средней же части интервала между соседними экстремумами (0,15 – 0,24 г.) лежат моменты только 5 землетрясений, в том числе и сильнейшего землетрясения в Горном Алтае с амплитудой 9.

Рассмотренная выборка (21 землетрясение) не столь значительна, чтобы делать какие-либо выводы, но и не столь мала, чтобы не обращать внимания на полученный результат. Требуется изучить эту зависимость на большом статистическом материале. Указанная зависимость могла бы играть определенную роль при краткосрочном прогнозе моментов землетрясений.

Литература

Яцкив Я.С., Миронов Н.Т., Корсунь А.А. и Тарадий В.К. Движение полюсов и неравномерность вращения Земли. *Астрономия. Итоги науки и техники*. 12. Ч. 1, 2. 1976.
Сахаров В.И. Результаты наблюдения широт (1948 – 1954 гг.) и анализ широтных рядов (1948 – 1967гг.), полученных с ЗТФ-135 в Пулковке. *Тр. ГАО АН СССР*. С. 2. С. XXIX. 1972. 51-61.
IERS Annual Report, 1994 – 2007.

V.V. Lapaeva, U.A. Nefediev, M.V.Kutlenkov. Movement of a pole of the Earth and seismic activity in 2001 – 2005.

The character of the movement of the average a pole of the Earth in connection with the strongest Earthquakes in 2003 – 2004 has been studied. It has appeared that the significant (nearby 0,6 m) displacements of the average pole have occurred in 2000 – 2002, i.e. preceded the strongest seismic events. It is also revealed, that the moments of the earthquakes are closely connected with the phase of periodic movement of the pole on the given meridian and occur more near the maxima and minima of this movement. From 21 strong earthquakes in 2001 – 2005 16 (78%) have occurred near the extrema of movement of poles. The received results can be useful for forecasting earthquakes.

Key words: earthquakes, seismic activity, moving the pole, unevenness of the rotation of the Earth.

№ п/п	Дата землетрясения	Место землетрясения	Магнитуда	λ эпицентра	Связь с периодическим движением полюса
1	13.01.2001	Сальвадор	7	89,4?	0.12 г. до макс.
2	26.01.2001	Индия	7-8	-72,8	0.08 г. до мин.
3	13.02.2001	Сальвадор	7	89,4	0.05 г. до макс.
4	10.01.2002	Таджикистан	7	-72	0.20 г. до мин.
5	26.02.2002	Тбилиси	6	-44,9	0.04 г. до мин.
6	31.03.2002	Тайвань	7	-121,8	0.15 г. до мин.
7	30.04.2003	Турция	Сильное	-40,4	0.04г. после мин.
8	22.05.2003	Алжир	7	-4,0	0.24г. после мин.
9	22.05.2003	Казахстан	не сильн	-72,5	0.01 г. до мин.
10	26.05.2003	Япония	6	-139	0.20 г. до мин.
11	27.09.2003	Горн. Алтай	9	-87,5	0.20 г. до мин.
12	26.09.2003	Хоккайдо	7,8	-144,5	0.13г. после мин.
13	26.12.2003	Иран	7	-58,5	0.09г. после макс.
14	6.02.2004	Индонезия	7	-135,6	0.02 г. до макс.
15	24.02.2004	Марокко	6,5	5	0.09 г. до мин.
16	23.10.2004	Япония	Сильное	-139,1	0.11г. после мин.
17	25.12.2004	Суматра	9	-95,2	0.14 г. до макс.
18	28.03.2005	Суматра	8,7	-96,6	0.11г. после макс.
19	22.02.2005	Иран	6,5	-57,1	0.10г. после макс.
20	20.03.2005	Япония	7	-132,6	0.01г. после макс.
21	8.10.2005	Пакистан	7,5	-74	0.13г. после макс.

Валентина Васильевна Лапаева, с.н.с.
Юрий Анатольевич Нефедьев, директор
Кутленков Михаил Вячеславович, аспирант

Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта Казанского государственного университета
РТ Зеленодольский р-он, ст. Обсерватория. АОЭ.
Тел. (84371) 6-55-75

ДИСТАНЦИОННОЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Рассматривается технология тепловизионного зондирования Земли на основе космических и авиационных данных с использованием новой методики обработки снимков и дешифрирования геоинформационных аномалий теплового поля.

Ключевые слова: тепловизионное зондирование, тепловой поток, геологическая среда, снимок, аномалия.

1. Введение

Предлагается технология дистанционного тепловизионного зондирования Земли, которая основана на обработке космических и авиационных снимков в инфракрасном диапазоне, что позволяет рассчитать объемную модель теплового излучения среды для решения геологических (изучение глубинного строения Земли, поиск нефти, газа и подземных вод), техногенных и экологических задач. Существенная новизна метода состоит в получении непрерывной картины распределения тепловых характеристик поля. Снимки являются полноценным источником информации для проведения всестороннего анализа и построения моделей, принятия решения при изучении природных ресурсов Земли. Используя фактически только данные дистанционного зондирования на предварительно неизученную территорию (лицензионный блок) можно оперативно дать прогноз наличия потенциальных ресурсов углеводородов (УВ) или других полезных ископаемых. По существу это один из геофизических методов, который обладает рядом преимуществ: относительная дешевизна при анализе больших территорий, высокая производительность и информативность, независимость от рельефа и условий местности, экологическая чистота.

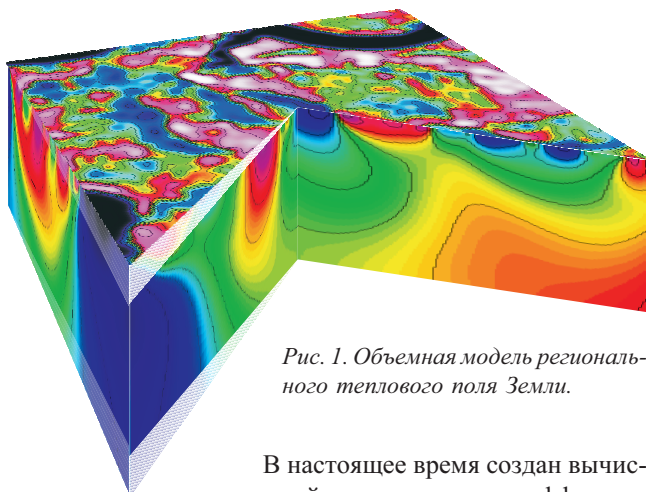


Рис. 1. Объемная модель регионального теплового поля Земли.

В настоящее время создан вычислительный алгоритм расчета эффективной плотности потока теплового излучения на заданных глубинах, программно-методический комплекс, отличающийся быстродействием и высокой формализацией решения, получил развитие метод тепловизионной генерализации для решения геологических задач в различных условиях Волго-Уральского и Сибирского регионов.

2. Дистанционное тепловизионное зондирование среды

В основу технологии положено дистанционное непрерывное зондирование Земли с получением разновременных космических и разновысотных авиационных снимков теплового излучения в инфракрасной области электромагнитного спектра (8 – 14 мкм). В качестве исходных данных для проведения исследований используются космические снимки со спутников «Landsat-7», «Landsat-5», «Terra» изображения с дирижабельных и вертолетных комплексов высокого разрешения, имеющие обширный спектр сфер применения.

Метод математического моделирования используется для вычисления по тепловому полю (ТП) поверхности Земли эффективной плотности потока теплового излучения (суммарной энергетической яркости излучающего тела) на заданных глубинах. При этом происходит осреднение контуров неоднородностей при повышении точности оценок их усредненных температурных характеристик. Практически реализован эффект непрерывного зондирования и выявления в объеме аномалий по величине плотности потока теплового излучения Земли. Тепловое (или температурное) излучение представляет собой электромагнитное излучение, испускаемое веществом, и возникающее за счет его внутренней энергии. Аномальные характеристики получают с использованием генерализующей функции, на основе отображения вклада теплового излучения элементов среды в результирующее излучение элемента поверхности δ . В этом случае имеет место фундаментальное соотношение $\delta/\Delta T_p = \text{const}$, где δ – элемент пространственного разрешения, ΔT_p – эквивалент шумовой радиационной температуры аппаратуры, $l=2,5\div 2,72$ (Мухамедяров, 2002). Это ведет к ухудшению пространственного разрешения температурной чувствительности, а параметры модели определяют глубину проникновения. Тепловизионная съемка привязана к радиометрической температу-

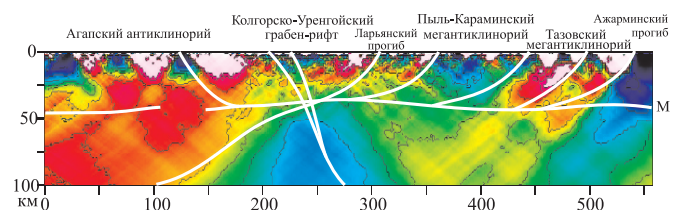


Рис. 2. Модель регионального теплового поля по геотрансверсу в пределах Западно-Сибирской плиты (данные MODIS «Terra»).

ре $T_{PB} = \sqrt[4]{\varepsilon T_{TB}}$, где ε – излучательная способность объекта поиска, T_{TB} – термодинамическая температура, $\delta^2 \times (1, 4, 9, 16, 25$ и др.) определяют эффективную глубину при моделировании.

3. Методика обработки снимков и представление данных

В качестве исходных данных для обработки используется тепловизионное изображение, представленное множеством значений теплового поля, каждый элемент которого несет в себе информацию о собственной излучательной способности земной поверхности, измеряемой в Вт/(м²·ср·мкм). Такое множество назовем слоем проникновения и обозначим $L_n, n = \overline{0, N}$, где n – номер слоя проникновения.

Необходимо отметить, что исходное тепловизионное изображение уже обладает определенной проникающей способностью вглубь Земли. Оно представляет собой первый слой проникновения (L_1) и составляет $h_1 = 30$ м (ETM+), 60 м (TM) и 500 м (MODIS). За нулевой слой проникновения (L_0) принимаем изображение видимого диапазона электромагнитных волн, отвечающее солнечному излучению, которое отражено от земной поверхности. Для оценки глубины проникновения h_n на уровне слоя n используется следующее соотношение (Мухамедяров, 2002):

$$h_n = \frac{H^2}{h_r + H} \left(\frac{n\delta_{yзл}}{2} + \frac{n^2\delta_{yзл}^2}{4} \right),$$

где h_r – предполагаемое расстояние от объекта исследования до земной поверхности; H – расстояние от датчика съемочной аппаратуры до земной поверхности; $\delta_{yзл}$ – угловое пространственное разрешение аппаратуры.

Глубины проникновения по слоям для космических снимков представлены в таблице. Объемная модель теплового поля описывается следующим уравнением: $L_n = G(L_p, n)$, где n – номер горизонтального слоя, который необходимо получить; L_n – n -ый слой; $G(L_p, n)$ – некоторая функция, зависящая от исходного слоя L_1 и требуемого уровня проникновения.

При построении модели могут использоваться функции, вычисляющие среднее арифметическое, среднее гармоническое и распределение теплового поля по закону Гаусса. Применяя функцию среднего арифметического

$$G(L_1, n) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n L_1(i, j)}{n^2}$$

можно получить наиболее точную картину глубинного строения среды.

Структура теплового поля, рассчитанная с использованием функции распределения Гаусса, приводит к сглаживанию объектов в пространстве, глубина проникновения отвечает логарифмическому закону, а как следствие – снижение чувствительности метода к изменению глубинных аномалий.

Спутник (прибор)	Номер слоя, $n...$						
	1	3	5	10	20	30	50
«Terra» (MODIS)	500	1500	2500	5000	10000	15000	25000
«Landsat-5» (TM)	60	180	300	600	1200	1800	3000
«Landsat-7» (ETM+)	30	90	150	300	600	900	1500

Табл. Глубина проникновения по слоям (в метрах).

В процессе обработки по алгоритму эквипотенциальной термометрии (Гонсалес, 2005) последовательно вычисляют слои $L_n, n = \overline{2, N}$ и выстраивают трехмерный образ теплового поля. При этом шаг глубинной дискретизации зависит от характеристик аппаратуры, которой получены исходные данные, выбора функции G и ее параметров.

Для наглядного представления результатов обработки строят карты-срезы на определенных глубинах и вертикальные разрезы в рамках горизонтально-слоистых и/или градиентных сред, по которым устанавливается общая схема тепловых потоков, основные их направления и неоднородности (Рис. 1).

Технология дешифрирования материалов зондирования нацелена на выявление следующих факторов: селективного отображения блоково-морфоструктурного строения (геодинамических блоков и граничных разрывов); внутренних термодинамических неоднородностей блоков; зон сжатия, растяжения и разуплотнения пород с улучшенными коллекторскими свойствами, в состав которых входят зоны флюидоперетоков и флюидонакопления (Каримов, 2007). Выявляемые в разрезе геотермические аномалии, как правило, позволяют формализовать их в реальные модели сред, так как температурный режим пород (ниже нейтрального слоя) определяется восходящим эндогенным тепловым потоком, динамикой геологической среды и тепловыми свойствами пород (Рис. 2). К поверхности тепло передается через горные породы посредством кондуктивной (молекулярной) теплопроводности, конвекцией флюидов и излучением.

Для геофизической интерпретации к данным применяют различные фильтры. Например, использование «максимизирующего» фильтра позволяет контрастировать термодинамические аномалии и выявлять зоны разуплотнения среды. При интерпретации вертикальных моделей используют дифференциальные трансформации, характеризующие градиент изменения и скорость эндогенного потока теплового излучения. По ним дешифрируются геотермические этажи и крупные разрывные нарушения.

При изучении детального строения осадочного чехла рассчитывается локальное тепловое поле. В качестве функции тренда при построении используют сферические (шаровые) функции, отвечающие региональным или локальным поверхностям относимости. В этом случае остатки между наблюдаемыми и вычисленными (прогнозируемыми) значениями аномалий, можно интерпретировать как проявления возмущений, порожденных изменением состояния (плотности) геологических тел.

Через структуру теплового поля и ее геодинамическую интерпретацию с привлечением априорных геологических данных можно определить форму и механизм тепловых потоков, слоистость среды, возможности накопления и сохранность глубинных флюидов (в частности углеводородов).

4. Геотермические модели Токмовского и Жигулевско-Пугачевского сводов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции

На рисунке 3 показана центральная часть Токмовского свода, которая характеризуется резко выраженной гетерогенностью со сложным пространственным распределением интенсивно расслоенных по различным направ-

лениям и тепловой прозрачностью зон, дискретности и штриховатости среды. Свод обладает высокой плотностью потока теплового излучения (красный цвет), который разделен относительно холодными врезами, насыщенными низкотемпературным флюидом.

Континентальная земная кора региона по своей природе неоднородна и зональность основных структурно-формационных зон отчетливо проявляется в тепловом поле. Ее неоднородности обусловлены чередованием блоков, испытавших последующую тектоно-магматическую активизацию с образованием рассланцованных, раздробленных структурно-формационных зон, которые являются по существу подвижными поясами. Границы геоблоков поэтому ступенчатые, нерезкие. Подошва верхней части консолидированной коры выделяется на глубинах до 10 – 12 км. Граница Мохоровичича фиксируется на 37 – 47 км. Участки яркого проявления инверсионного слоя на глубинах от 15 км до 24 км.

В пределах модели прослеживаются вертикальные и листрические зоны разуплотнения среды (геодинамически активные зоны флюидоперетоков и флюидонакопления), отражающиеся в тепловом поле в виде интенсивных линейных отрицательных аномалий. Крутопадающие разломы располагаются в основном в верхней части разреза, а пологие (по своей сути это листрические) разломы, постепенно выполаживающиеся и рассеивающиеся в земной коре, сохраняют следы латерального сдвига и шарьирования блоков фундамента.

На рисунке 4 приведен глубинный разрез северного склона Жигулевско-Пугачевского свода. Строение земной коры представляется валобразными структурными зонами, которые трансформируются в блоки и гряды различного простирания. Геотермические горизонты имеют закономерное чередование низко- и высокотемпературных слоев, которые представляют собой клинообразные формы. Они отождествляются с аллохтонными литопластинами, содержащими в промежутке серпентинитовую смазку, по которой происходили латеральные смещения крупных блоков коры. Зона скольжения характеризуется пологим падением. При этом прослеживаемый относительно холодный горизонт (синий цвет) имеет сложную конфигурацию, часто бывает очень отчетливым, но проявляется не везде.

Образование слоев может быть описано механизмом вклинивания, согласно которому их зарождение и развитие происходит на границе реологического слоя путем расщепления вдоль пластичного горизонта (низкотемпературного с конвективным теплопереносом) и внедрения в него жестких пластин (высокотемпературных с кондуктивным теплопереносом). Разрывные деформации, секущие выше лежащие отложения, на глубине затухают и рассеиваются. В этих условиях движущиеся пластины не прорываются к дневной поверхности, а, по-видимому, перемещаются в ограниченном интервале, образуя аллохтонные клинья.

Анализ строения и формирования клиновидных надвигов позволяет рассматривать многие из них как высокоперспективные для нефтепоисковых работ. Область формирования известных месторождений смещена относительно осевой линии глубинного вала, совпадает с зонами надвигов геоблоков, контролируемых разломной тектоникой, способствующей эффективной миграции флюидов.

5. Методика дешифрирования материалов при нефтепоисковых работах

В результате обработки строят с разным пространственным разрешением карты-срезы и модели регионального и локального теплового поля, дифференциальные характеристики плотности потока теплового излучения, разрезы блоково-разрывных (разломных) структур в теневом отображении. При этом решают следующие задачи: районирование по интенсивности теплового поля геологических объектов; построение геотермических отражающих границ по глубинам; определение природы аномалии образующих объектов; изучение флюидодинамических условий с целью выявления нефтегазоперспективных ситуаций.

Формальными критериями выделения неоднородностей геотермического поля могут быть их размеры, форма, контрастность, положение осей аномалий, линии и плоскости, по которым происходит смещение осей аномалий, характер рисунка исходного поля и его производных.

Принятая форма представления материала позволяет обеспечить систематизацию разрывных нарушений и районирования территории исследований по характеру их пространственного распределения. На таких моделях выделяются области стационарного расчетного параметра и разделяющие их градиентные зоны, вычисленные по высокочастотной составляющей поля. Последняя процедура чаще всего отражает положение в разрезе глубинных шовных зон, границ блоков коры, отдельных разрывных нарушений (Рис. 5). В ходе дешифрирования выделяются видеотоновые особенности изображений, опосредовано характеризующие разрывную и блоковую тектонику. В этой системе роль базовой информации, определяющей основные черты результирующего разреза коры, играют градиентные модели. Структуры сжатия и растяжения различаются по качественным показателям – интенсивности ТП и плановым положением линий градиента для характерных глубин (Рис. 6). Максимальная величина ТП связана с увеличением плотности горных пород и характеризует кондуктивный теплоперенос.

Многочисленными исследованиями, проведенными в различных регионах, установлены признаки условий для накопления УВ в осадочном чехле: особенности строения регионального и локального тепловых полей, планового изменения интенсивности холодных локальных зон, особенности формирования глубинных структур, характеристика блоково-разрывной тектоники (с ранжированием оперяющих разломов на геодинамические активные зоны флюидоперетоков и флюидонакопления).

В качестве термодинамических критериев выделения перспективных зон служат: расположение объектов вблизи восходящих линейных тепловых потоков, но вне геотермических холмов, где сохранность покровов маловероятна; наличие асимметричных «kozyрьков» на моделях теплового поля в интервалах потенциально нефтегазоносных глубин; ситуация встречного направления отрицательных и положительных векторов теплового потока; резкие латеральные отклонения тепловых потоков от вертикального направления, связанные с геологическими объектами; расположение объектов вне геотермических ям и отрицательных линейных потоков; относительно более высокое гипсометрическое положение прогнозируемого объекта.

Наиболее интересный геологический результат состо-

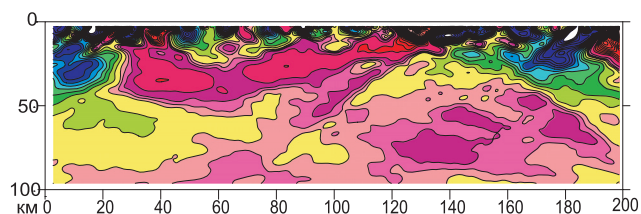


Рис. 3. Модель изменения потока теплового излучения литосферы Токмовского свода.

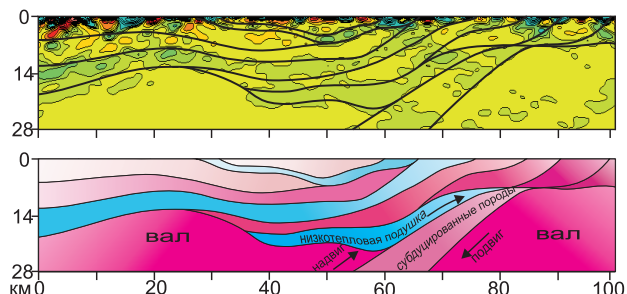


Рис. 4. Модель изменения потока теплового излучения земной коры Жигулевско-Пугачевского свода.

ит в выделении относительно низкотемпературных аномалий и их градиентных зон осадочного чехла (Рис. 7, 8). На рисунках физическая среда представляется в виде моделей с конфигурацией контрастного изменения скорости потока теплового излучения. Поэтому о крупных и разнотипных структурах можно косвенно судить по очень высокой и/или низкой скорости изменения поля. Однородные по морфологии блоки окрашены равномерно, с незначительным увеличением или уменьшением цвета. Некоторое различие поля внутри объекта в виде локальных тел указывает на сильную расслоенность, т.е. изменчивость внутренней конструкции среды.

Характеристика блоково-разрывной тектоники. Она позволяет установить линейно ориентированные (гряды, разломы) и кольцевые структуры осадочного чехла, глубинные валообразные формы геоблоков. В линейных зонах, обусловленных разломами и трещиноватостью среды как субвертикального простирания, так и субгоризонтального расслоения, несомненно, ведущая роль принадлежит конвективным потокам. Увеличение объема открытой трещиноватости будет происходить не по всей толще, а по горизонтам, имеющим наименьшие прочностные характеристики. По глубинным зонам разломов тепло распространяется наклонно вверх в виде флюидногазовых эманаций. Исходя из схемы дешифрирования, блоково-разрывная тектоника контролирует расположение благоприятных участков. В разломах, которые распространяются с больших глубин и состоят из повсеместно иерархически соподчиненных систем с затуханием до нефтеперспективных стратиграфических горизонтов чехла, формируются благоприятные условия для скопления УВ (Рис. 7). В этом случае, возникают геологические ситуации, при которых опережающие разломы либо сходятся в пространстве, обуславливая систему сжатия геоблоков, либо расходятся, создавая зону растяжения (разуплотнения блоков пород). А в разломах, имеющих региональный характер распространения и пронизывающих толщи фундамента и осадочного чехла, формирование ловушек УВ маловероятно из-за нарушения целостности среды.

Формирование локальных тепловых полей. На картах теплового поля с помощью цветовой раскраски выделя-

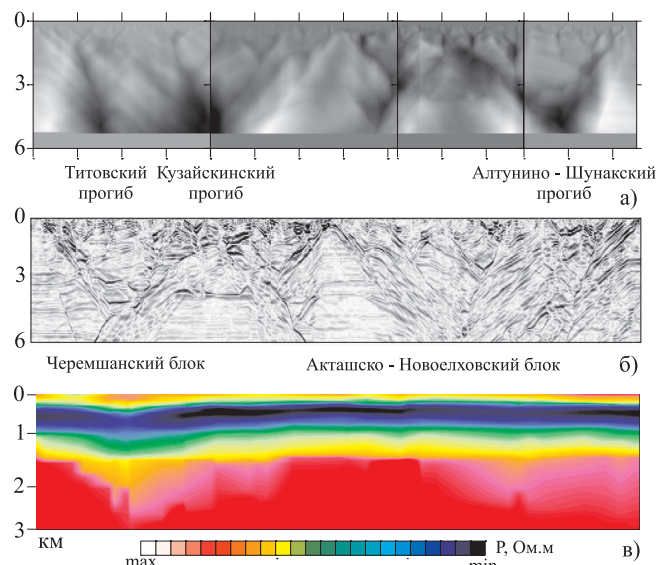


Рис. 5. Результат сопоставления блоково-разломных структур в теневом отображении (а,б) и электропроводности МТЗ по разрезу Южно-Татарского свода (в).

ются различные по интенсивности горячие и холодные зоны, которые в ряде случаев можно дешифрировать как структурные формы поднятий и опусканий (Рис. 8). В местах интенсивных положительных тепловых аномалий, разделенных между собой холодной зоной, происходит образования зоны растяжения с уступообразными участками и слабым градиентом поля. Плановое изменение поля и графики наглядно обрисовывают эти явления. В местах расположения интенсивных холодных участков условия нефтенакопления отсутствуют в силу активной циркуляции флюидов. Относительно приподнятые блоки (благоприятные для накопления УВ) непосредственно прилегают к зонам флюидоперетоков. На основе применения данного подхода наиболее перспективные участки могут быть оконтурены для дальнейшего опоискования сейсморазведкой.

Изменение интенсивности холодных локальных зон. Из рассмотрения карт-срезов в интервале заданных глубин следует обращать внимание на форму в плане и интенсивность аномальных холодных участков. Они встречаются по форме двух видов – изометричной и линейно-вытянутой. Устанавлива-

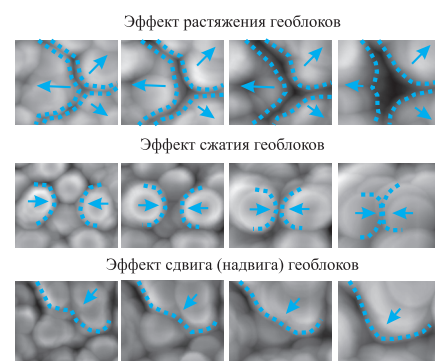


Рис. 6. Структурные схемы отображения блоков и граничных разрывов осадочного чехла и фундамента в тепловом поле.

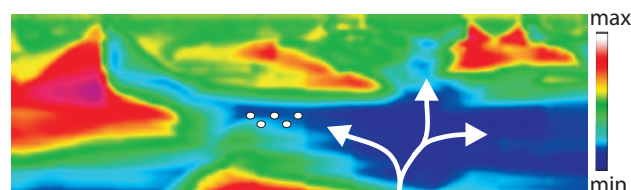


Рис. 7. Формирование блоково-разрывной тектоники в благоприятных условиях флюидонакопления (шкала – интенсивность изменения плотности пород).

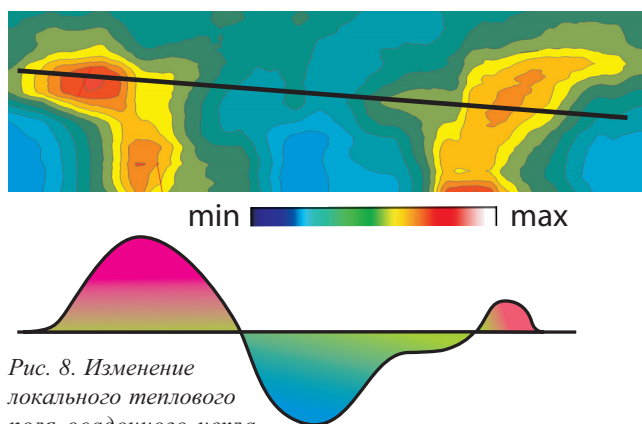


Рис. 8. Изменение локального теплового поля осадочного чехла при ранжировании объектов по относительной перспективности на залежи углеводородов (в единицах Вт/(м²·ср·мкм).

ется некоторая закономерность в формировании перспективных объектов и линейно-вытянутых структур пониженного теплового поля, отражающая водонефтяной контакт. По мере убывания интенсивности поля происходит сужение зоны, на склоне которой появляются перспективные участки на УВ при наличии прочих благоприятных условий.

Районирование участка с благоприятной обстановкой для нефтенакопления. В соответствии с характером изменения теплового поля можно проводить ранжирование объектов на четыре типа: высокоперспективные; перспективные; перспективы неясны; бесперспективные. Структурные зоны первой и второй категорий пространственно совпадают с геотермическими седловинами (участками с неопределенным направлением и малым градиентом векторов теплового излучения в местах сочленения положительных и отрицательных линейных тепловых потоков) и возможно в пределах геотермических террас. Они отвечают всем признакам формирования условий для флю-

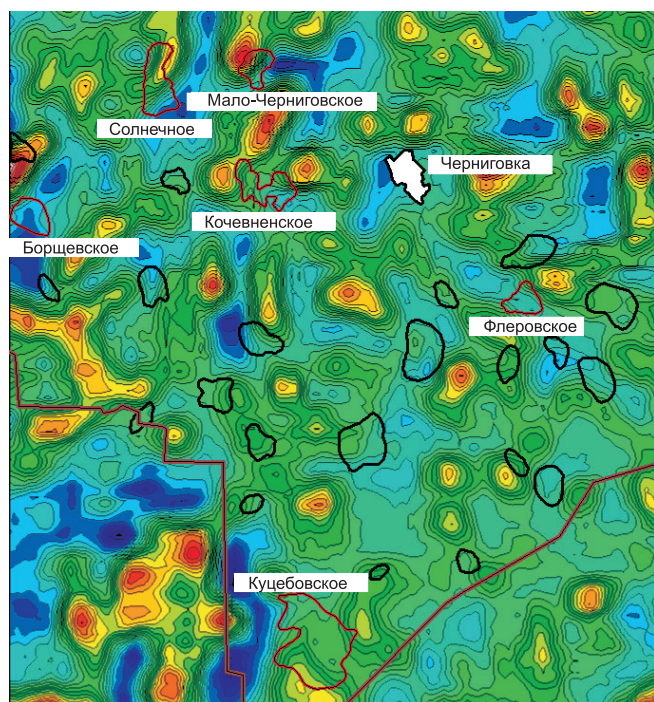


Рис. 9. Карта-срез локального теплового поля на глубине 2 км по данным «Landsat-7». Контуры нефтеперспективных структур для проведения поискового бурения (черным цветом) и разрабатываемые месторождения (красным цветом).

идонакопления. Структуры третьей категории (условно можно отнести к малоперспективным участкам) находятся в зонах высокого градиента теплового поля и не отвечают двум и более признакам формирования УВ. Структурные зоны четвертой категории совпадают с геотермическим штоком (однородным, не дифференцированным участком относительно теплового потока) или с геотермической ямой (участком, в котором сходятся отрицательные тепловые векторы, «отрицательная» часть геотермических структур).

На рисунке 9 приведен пример регионального районирования осадочного чехла при поисках нефти на южном погружении Бузулукской впадины (Самарская область). Динамика тепловой картины локального поля в совокупности с ранее установленными нефтегазоносными месторождениями и структурами, подготовленными к бурению, наглядно подтверждает выше описанную методику интерпретации. В частности, все перспективные объекты располагаются в переходных зонах теплового поля, которые связаны с разломной тектоникой, способствующей эффективной миграции флюидов.

Литература

Мухамедяров Р.Д. Метод видеотепловизионной генерализации и его аэрокосмическое аппаратное освещение. *Интервал*. № 9 (44). 2002. 59-62.

Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. М.: Техносфера. 2005.

Каримов К.М., Мухамедяров Р.Д., Онегов В.Л., Кокутин С.Н. Дистанционное видеотепловизионное зондирование при нефтепоисковых работах на Токмовском и Жигулевско-Пугачевском сводах. *Тезисы в кн. «Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов»*. Казань. ФЭН. 2008. 226-230.

K.M.Karimov, V.L.Onegov, S.N.Kokutin, V.N.Sokolov, V.F.Vasev. **Remote thermal image sensing of the earth in geological exploration.**

This paper reviews the technology of thermal image sensing of the Earth based on aerospace data and using a new technique of image processing and interpretation of thermal geoinformation anomalies.

Key words: thermal image sensing, thermal flux, geological environment, image, anomaly, model.

Камиль Мидхатович Каримов

директор по науке. Доктор геолого-минералогических наук, академик РАЕН. Область научных интересов – геофизика, геотектоника.

Вадим Леонидович Онегов

ведущий научный сотрудник. Область научных интересов – математическое моделирование геофизических полей.

Сергей Николаевич Кокутин

ведущий научный сотрудник. Область научных интересов – приборы и методы дистанционного зондирования Земли.

Валерий Федорович Васев

директор. Область научных интересов – разработка авиационных технологий контроля окружающей среды.

Владимир Николаевич Соколов

генеральный директор. Область научных интересов – разработка авиационных технологий контроля окружающей среды.

ООО «ТРАНС-СЕРВИС»

187110, Ленинградская обл., г. Кириши, ул. Волховская набережная, 18. Тел.(факс): (843) 567-53-63.

О ПРОЦЕССАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ МЕХАНИЗМ ИНТЕГРИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЯНОЙ ПЛАСТ

В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности интегрированного воздействия на процесс извлечения нефти из недр. Определены направления исследований и пути совершенствования процесса добычи.

Ключевые слова: нефть, пласт, интегрированное воздействие, излучатель, колебания.

1. Введение

Обеспечение сырьевой базы нефтяной промышленности является основой ее развития. При этом прирост запасов, в первую очередь, должен быть обеспечен за счет увеличения коэффициента нефтеотдачи. Вместе с тем, современное состояние нефтедобывающей отрасли таково, что значительная доля трудноизвлекаемых запасов, а также высокий коэффициент обводненности диктует необходимость совершенствования методов добычи. При этом решение проблемы осложняется, во-первых, тем, что свойства нефти, геолого-физические характеристики месторождений существенно различаются. Во-вторых, в процессе разработки нефтяных месторождений эти показатели кардинально меняются, что в совокупности влечет за собой значительное снижение эффективности поначалу удачно выбранных методов и режимов добычи.

Таким образом, решение проблемы рентабельного освоения располагаемых запасов нефти связано с разработкой концептуально нового подхода к выбору методов и средств воздействия на процессы, протекающие в продуктивных пластах.

2. Интегрированные методы воздействия на процесс извлечения нефти

В основу интегрированного воздействия на процесс извлечения углеводородов из недр положено явление интенсификации различных процессов в поле упругих колебаний (Алемасов и др., 2001).

Изучением вопросов волнового воздействия на нефтяные пласты занимаются как ученые страны (Институт физики Земли РАН, ВНИИнефть и др.), так и за рубежом. Значительные результаты в этой области достигнуты Вахитовым Г.Г., Гадиевым С.М., Ганиевым Р.Ф., Дыбленко В.П., Ефимовой С.А., Камаловым Р.Н., Кузнецовым О.Л., Муфазаловым Р.Ш., Николаевским В.Н., Симкиным Э.М., Сургучевым М.Л., Туфановым И.А., Шарифуллиным Р.Я., Хавкиным А.Я. и др.

При исследовании колебаний обнаружены следующие явления (Дыбленко и др., 2000; Кузнецов, Ефимова, 1983):

- упругие низкочастотные колебания ускоряют процесс релаксации механических напряжений;
- при воздействии высокоамплитудными колебаниями происходит необратимое увеличение абсолютной проницаемости насыщенных пористых сред;
- изменяются реологические свойства вязкоупругих и вязкопластичных неньютоновских жидкостей. Наблюдается снижение вязкости среды (до 30%), которое восстанавли-

вается после воздействия упругими колебаниями;

- наложение волнового поля приводит к дегазации пластовых жидкостей как при высоких, так и при низких частотах;
- повышается эффективная температуропроводность;
- наблюдается внутривязкая конвекция;
- изменяются условия фазового перехода в системах нефть – газ, гидраты – газ;
- при наложении интенсивных колебаний на порядок увеличивается скорость фильтрации;
- уменьшается гистерезис процесса смачивания;
- происходит более интенсивное и глубокое проникновение жидкостей в узкие щели и капилляры;
- интенсифицируются процессы капиллярной пропитки;
- изменяется фазовая проницаемость нефти и воды;
- возрастает степень вытеснения нефти из пористой среды.

Кроме того, получены данные, свидетельствующие об интенсификации различных химических реакций в волновом поле. Так, в частности, наложение волнового поля значительно интенсифицирует процесс горения.

Одновременно установлено, что эффективность использования волнового поля для увеличения нефтеотдачи зависит как от частоты возбуждаемых колебаний, так и от амплитуды. При этом установлено, что существует определенный диапазон этих параметров, за пределами которого интенсификация определяющих процессов не наблюдается. Например, лабораторные исследования показали, что при низкой интенсивности колебаний влияние упругих волн на процесс фильтрации не происходит. При очень высоких амплитудах колебаний наблюдаются явления, которые приводят к ухудшению состояния и снижению показателей добычи.

Построение полной картины влияния волнового воздействия на пласт практически невозможно. Но сам факт влияния упругих волн на фильтрацию флюидов бесспорен и имеет явные перспективы. Поэтому в отсутствие полной теории актуальным является выделение в конкретных ситуациях доминирующего механизма воздействия.

Анализ явления позволяет сделать следующие выводы:

1. Применяемые методы извлечения эффективны при воздействии на определяющие факторы процесса. Поэтому в процессе разработки месторождений и их эволюции эффективность воздействия снижается.

2. С помощью волнового воздействия могут быть интенсифицированы многие из реализуемых при добыче процессов: гидродинамические, физико-химические, тепломассообмен и т.д. Вопрос, следовательно, состоит в выявлении доминирующих факторов, механизма и оптималь-

ных режимов воздействия.

3. Для осуществления подобной технологии необходимо установить факторы, определяющие эффективность изначальной технологии добычи, определить оптимальный режим волнового воздействия на внутрипластовые процессы и создать технические средства его реализации. Для определения оптимального режима необходимо, чтобы в определенной области продуктивного пласта, где происходят те или иные процессы, амплитудно-частотные характеристики волнового поля соответствовали заданному диапазону.

Так при паротепловом воздействии определяющими факторами являются температура нагрева флюида в пласте и охват последнего, а определяющим механизмом – процесс теплообмена, от которого, в совокупности, и зависит эффект воздействия. Следовательно, оптимальный режим волнового воздействия (частота, амплитуда акустических колебаний и их изменение в процессе разработки пласта) и, в итоге, успешность интегрированного воздействия определяется тем, сколь значимо интенсифицирует процесс теплообмена в продуктивном пласте.

При внутрипластовом горении определяющим фактором является количество теплоты, выделяющейся при нагнетании в пласт окислителя (воздуха). Определяющим механизмом – процесс горения. И, следовательно, при формировании в зоне внутрипластового горения волнового поля оптимальный режим определяется тем, насколько интенсивно протекает процесс горения.

Еще в большей мере различаются определяющие факторы: механизм и оптимальный режим интегрированного воздействия при совмещении других технологий.

Решение названных задач при совмещении различных технологий на разных стадиях разработки месторождений является основополагающим условием обеспечения эффективности и достижения синергетического эффекта.

3. Технологическая схема. Методы интегрированного воздействия

Сущность метода интегрированного воздействия авторами исследована на примере разработки Мордово-Кармальского месторождения природных битумов (ОАО «Татнефть»). При этом рассмотрено совмещение процессов внутрипластового горения и волнового воздействия на зону горения и фронт вытеснения. В изначальном процессе определяющим фактором являлся процесс горения. Как следует из представленной на Рис. 1 технологической схемы, в центре разрабатываемого участка расположена нагнетательная скважина, по которой

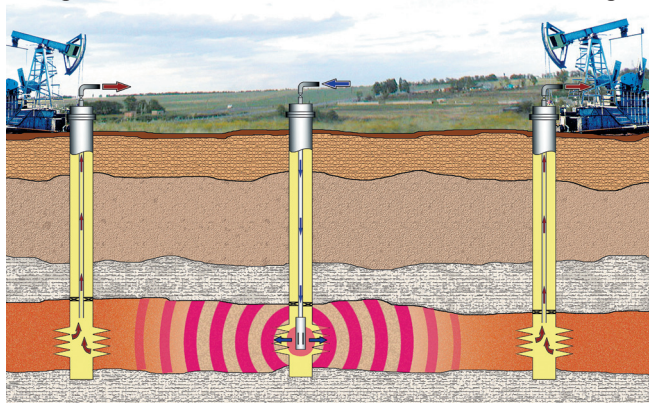


Рис. 1. Технологическая схема интегрированного воздействия на пласт.

нагнетается в пласт воздух для поддержания процесса горения. По периферии участка размещены добывающие скважины, к которым продуктами сгорания вытесняется пластовый флюид. На забое нагнетательной скважины располагается излучатель колебаний давления, с помощью которого в пласте формируется волновое поле. Как установлено испытаниями интегрированного воздействия определяющими факторами являются процессы смещения, горения и теплопереноса.

Режим волнового воздействия соответствует структурному уровню влияния на среду (частота колебаний $f = 250 - 3000$ Гц). Возбуждение колебаний давления в потоке нагнетаемого в пласт воздуха осуществляется в специально созданных технических средствах за счет преобразования части энергии потока в энергию колебаний. При этом в пласте интенсифицируются процессы горения и теплообмена, повышается эффективность теплофизического воздействия. Последнее расширяет зону влияния (охват пласта), повышает подвижность флюида и, в итоге, интенсифицирует процесс фильтрации. В результате суммарный эффект интегрированного воздействия значительно превосходит сумму эффектов раздельного применения методов – достигается синергетический («сверхсуммарный») эффект воздействия.

4. Технические средства

Проведенные авторами исследования позволили создать оригинальные технические средства интегрированного воздействия. Апробация предложенных технологии и технических средств на промысле подтвердила их эффективность.

Основные достоинства предложенных устройств: 1. Возможность формирования с их помощью в пласте и призабойной зоне волнового поля во всех случаях нагнетания в пласт сжимаемой и несжимаемой жидкостей и, благодаря этому – обеспечения эффективности интегрированного воздействия; 2. Конструктивная и технологическая простота совмещения технологий; 3. Отсутствие в устройстве подвижных элементов, что позволяет обеспечить высокую надежность и большой ресурс эксплуатации; 4. Исключена потребность в дополнительном источнике энергии для формирования в пласте волнового поля: используется незначительная часть (5 – 10 %) энергии потока нагнетаемой в пласт жидкости. Тем самым достигается высокая степень энергосбережения; 5. Обеспечен широкий диапазон значений частоты и амплитуды колебаний.

5. Результаты промышленной апробации

Удачно решенные задачи выбора объекта интегрированного воздействия, разновидностей совмещаемых методов и режимов воздействия, а также создание оригинальных технических средств их реализации позволили достичь синергетического эффекта их применения (Муслимов и др., 2003). Результаты промысловых исследований показали, что даже при оптимальном режиме внутрипластового горения дебит скважин не превышает 1 тонны в сутки. Наложение на зону внутрипластового горения волнового поля, характеризуемого частотой колебаний давления 1000 Гц, позволило повысить дебит 3-кратно, а при частоте колебаний давления 2000 Гц дебит скважин повысился 6-кратно.

Показательно также, что во всех рассмотренных случаях прослеживается режим оптимального расхода воздуха, при котором достигается максимальный дебит скважин.

Наблюдаемая зависимость эффективности процесса от характеристик волнового поля подтверждает предположение о влиянии частоты и амплитуды колебаний на протекающие внутри пласта процессы. Важным при этом является исследование процесса распространения упругих волн из скважины в пласт и в самом пласте. Наличие резонанса в технических системах (НКТ, перфорированная обсадная колонна и др.) и резонансное поглощение колебаний в значительной мере меняет характеристики поля в зоне воздействия (Марфин, Кравцов, 2007). Аналитически определенные частотные характеристики перфорированной обсадной колонны скважины позволяют оценить потери энергии волн при распространении в системе «скважина-пласт». Для подтверждения полученных данных необходимо проведение экспериментальных исследований.

Заключение

1. Наиболее перспективным направлением совершенствования процесса добычи углеводородов представляется применение интегрированных методов воздействия на продуктивные пласты. Благодаря интенсификации внутрипластовых процессов и оптимизации условий применения метода может быть достигнут сверхсуммарный (синергетический) эффект.

2. Интегрированное воздействие представляет собой сложный наукоемкий процесс, эффективность применения которого зависит от понимания механизма воздействия на пласт совмещаемых технологий, выявления доминирующих факторов и режимов воздействия, а также механизма взаимовлияния. При этом необходимо учитывать, что оптимальное сочетание последних меняется в процессе эволюции пласта. Установлением всей совокупности доминирующих факторов и определяется успешность применения интегрированных методов воздействия.

3. Как следует из изложенного, для достижения необходимого уровня успешности и рентабельности интегрированных методов при их применении в осложненных геолого-промысловых условиях эксплуатации скважин, необходимо проведение целого ряда теоретических, лабораторных и промысловых исследований, а также выполнение конструкторских и технологических изысканий.

* Работа выполнена при поддержке Фонда содействия отечественной науке, Российского фонда фундаментальных исследований (грант №06-08-01398-а) и гранта Президента Российской Федерации (№НШ-4334.2008.8).

Литература

Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Муслимов Р.Х., Хавкин А.Я. Комбинированные энергосберегающие технологии разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и природных битумов. *Матлы докладов Российского национального симпозиума по энергетике*. Казань: Изд-во КГЭУ. Т.2. 2001. 342-344.

Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шарифуллин Р.Я., Туфанов И.А. *Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия*. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2000. 381.

Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. *Применение ультразвука в нефтяной промышленности*. М.: Недра. 1983. 286.

Муслимов Р.Х., Волков Ю.В., Хавкин Ф.Я., Петраков А.М., Алемасов В.Е. и др. Анализ эффективности термоволнового воздействия на Мордово-Кармальском месторождении. *Бурение и нефть*. № 1. 2003. 18-22.

Марфин Е.А., Кравцов Я.И. Резонансные характеристики перфорированной обсадной колонны скважины. *Труды Академэнерго*. Казань. №2. 2007. 120-131.

Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та. 2007. 320 с.

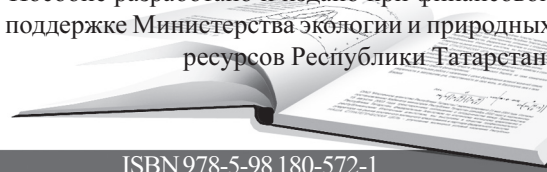
Методы прогноза, поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений

Учебное пособие

Р.Х. Муслимов, В.В. Ананьев,
В.М. Смелков, Р.К. Тухватуллин

В учебном пособии описаны принципы прогнозирования и основные критерии оценки нефтегазоносности недр. Рассмотрены две основные теории происхождения нефти и газа: осадочно-миграционная и абиогенная, являющиеся основой прогноза нефтегазоносности недр, приведены различия и новейшие достижения в области развития этих теорий. Даны представления о рациональной последовательности стадий поисково-разведочного процесса на нефть и газ. Описаны методы поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений, применяемых на различных стадиях поисково-разведочного процесса. Рассмотрены принципы организации и геолого-экономической оценки геолого-разведочных работ на нефть и газ.

Пособие разработано и издано при финансовой поддержке Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан.



ISBN 978-5-98 180-572-1

Kravtsov J.I., Marfin E.A., Butorin E.A., Gataullin R.N. **About the processes determining the mechanism of integrated influence on an oil formation.**

In paper the problems of a heightening of performance of the integrated affecting on the process of withdrawal of oil from bowels are reviewed. The directions of studies and path of perfecting of the process of a mining are determined.

Key words: oil, layer, integrated influence, oscillator, fluctuations.

Яков Исаакович Кравцов

докт. техн. наук, зав. Лабораторией основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив Исследовательского центра проблем энергетике КазНЦ РАН

Евгений Александрович Марфин

к.т.н., научный сотрудник Лаборатории основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив

Эдуард Афанасьевич Буторин

канд. техн. наук, в.н.с. Лаборатории основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив

Рустем Наилевич Гатауллин

младший научный сотрудник Лаборатории основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив

Исследовательский центр проблем энергетике КазНЦ РАН. 420111, Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31, а/я 190.

Тел./Факс: (843) 292-75-05/92-77-45

НЕФТЕПОДВОДЯЩИЕ КАНАЛЫ И СОВРЕМЕННАЯ ПОДПИТКА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

Кривые выработки нефтяных месторождений могут быть интерпретированы иным образом и свидетельствовать о наличии их современной подпитки. Иллюстрируется возможность прогнозирования нефтеподводящих каналов по данным сейсморазведки. Степень их активности может быть оценена гравиразведкой НГП. Для получения весомых фактических данных, подтверждающих или опровергающих высказанную гипотезу, предлагается бурение специальных глубоких скважин и последующий мониторинг промысловых, геохимических и геофизических параметров

Ключевые слова: нефтеподводящие каналы, современная подпитка нефтяных месторождений.

В предшествующих работах нами приводились фактические данные, свидетельствующие о том, что каждое нефтяное месторождение состоит из трех основных компонентов: 1 – ловушки, заполненной нефтью, 2 – глубинного резервуара, являющегося основным поставщиком углеводородного флюида, и 3 – нефтеподводящего канала, соединяющего глубинный резервуар с залежью (Трофимов, 2003; Трофимов, Корчагин, 2002). Приводились также данные о том, что по нефтеподводящим каналам происходит современный подток глубинных углеводородных флюидов, подпитывающих нефтяные месторождения.

Одними из наиболее весомых аргументов, доказывающих эти положения, явились данные сверхглубокого бурения, глубинных сейсмических исследований, промысловые данные и длительные сроки эксплуатации некоторых месторождений (до 50 – 100 лет и более). Остановимся на данных о динамике разработки подробнее.

Хорошо известная, классическая схема выработки месторождения подразумевает, что вначале добыча растет, затем достигнет максимума и позднее происходит ее неизбежное снижение (Рис. 1). Причем считалось (Hubbert, 1956), что объем добываемой нефти на этапе подъема (Q_1)

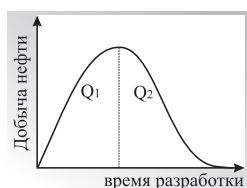


Рис. 1. Предполагаемая схема выработки нефтяных месторождений (Hubbert, 1956).

равен таковому на этапе снижения (Q_2). Это положение отражало представления о конечном объеме нефти, как на отдельном месторождении, так и в мире в целом. Однако, как показывает многолетний опыт, по мере выработки месторождений, нефть в них не кончается. На позднем этапе разработки, когда запасы нефти в ловушке на целом ряде месторождений были практически исчерпаны, добыча нефти продолжалась. Как правило, это объяснялось применением более эффективных систем заводнения, применением методов увеличения нефтеотдачи (МУН), внедрением новых технологий и технологических решений. Несомненно, влияние этих мероприятий существует и именно они обеспечивают уменьшение темпов падения добычи. Но полностью объяснить фактические данные о динамике добычи, а именно о ее стабилизации с определенного момента, эти мероприятия не могут. Так, на некоторых мелких по запасам месторождениях Северного Кавказа, Азербайджана, Средней Азии и других

регионов добыча производится с конца позапрошлого века до настоящего времени. В Татарстане крупные месторождения (в том числе, Ромашкинское) разрабатывались весьма интенсивно на протяжении более полувека, в результате чего из недр извлечено нефти значительно больше, чем числилось на балансе (Муслимов, 1997). Однако добыча на месторождениях продолжается и сейчас, а их годовые уровни колеблются от 3 до 20 % от максимального. Таким образом, добыча нефти на заключительном этапе не прекращается, а годовые объемы добываемой нефти остаются неизменными на протяжении многих десятилетий, что отображено на хорошо известной типичной кривой добычи (Рис. 2), где 1 – начало разработки, 2 – максимальный уровень добычи, 3 – стабилизация уровня добычи на позднем этапе.

Основываясь на изложенных ранее положениях о том, что каждое нефтяное месторождение связано нефтеподводящим каналом с глубинным резервуаром покажем, что типичная кривая добычи может быть интерпретирована иным образом (Рис.3).

До начала разработки между залежью, нефтеподводящим каналом и глубинным резервуаром устанавливается равновесное состояние. С началом разработки (точка 1) ловушка частично освобождается, равновесие нарушается и по каналу, если он сохранил активную связь с глубинным резервуаром, начинают частично поступать новые порции нефти.

С начала разработки до времени стабилизации (точка 3), включая максимальный уровень (точка 2), добыча нефти осуществляется преимущественно из ловушки. На позднем этапе (после точки 3) добыча производится преимущественно за счет подтока нефти по нефтеподводящему каналу (точка 4). На этом этапе на месторождении устанавливается равновесие между объемами добываемой нефти и ее подтока. Именно на этом этапе нефтеподводящий канал находится в наиболее активном состоянии, а уровень добычи в этот период можно рассматривать как дебит нефтеподводящего канала данного месторождения.

Очень важным для прогнозирования ресурсной базы на длительную перспективу, для решения вопросов социально-экономического развития старых нефтедобывающих районов является то, что типичная кривая добычи (Рис. 3) отображает динамику добычи нефти не только на отдельных месторождениях, но как показал анализ факти-

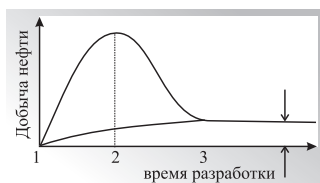


Рис. 2. Фактическая схема выработки нефтяных месторождений.

ческих данных, и в нефтегазоносных районах, областях, провинциях. Так, в Татарстане добыча стабилизировалась на уровне 25 – 27 млн. т. нефти в год (Рис. 4). Некоторые колебания этого уровня могут быть связаны как с внедрением технологий повышения нефтеотдачи, так и с реализацией определенных политических, административных или экономических решений. Например, наблюдаемое в Татарстане в 1998 – 2000 гг. увеличение добычи нефти на 1 – 3 млн. т. связано с внедрением определенных налоговых льгот для малых нефтяных компаний, осваивающих новые месторождения и трудноизвлекаемые запасы. Можно предполагать, что уровень же подтока глубинных углеводородных флюидов составляет величину несколько меньшую уровня стабилизации и для Татарской НГО вероятно составляет порядка 20 – 22 млн. т. в год.

В Волго-Уральской нефтегазоносной провинции уровень стабилизации достигнут 10 – 12 лет назад на уровне 110 – 112 млн. т. (Рис. 4). Вероятно, здесь можно прогнозировать уровень добычи несколько меньший этой величины достаточно длительное время.

Важнейшим вопросом является локализация в пространстве (в плане и в разрезе) нефтеподводящих каналов. Это может позволить осуществлять их целенаправленные вскрытие глубокими скважинами и, в дополнение к существующим способам разработки, реализовать способ добычи непосредственно из нефтеподводящего канала (Корчагин и др., 2002).

Нефтеподводящие каналы (НПК), являясь частью тектонических разломов, представляют собой довольно узкие зоны нарушенных, трещиноватых пород, отличающихся по физическим свойствам от вмещающей толщи. Это создает предпосылки для их обнаружения геофизическими методами. Так, на демонстрируемом ранее временном разрезе по глубинному региональному профилю 039511 (Трофимов и др., 2002) кроме объемных динамических аномалий четко выделяются субвертикальные, сужающиеся вниз аномалии. Как правило, они достигают глубин аномалий первого типа и, вероятно, отображают нефтеподводящие каналы, соединяющие глубинный резервуар с ловушками.*

Анализ сейсморазведочных материалов по некоторым месторождениям в доюрских отложениях Западной Сибири показал, что в районе высокодебитных или длительно работающих скважин (Ново-Портовское, Ханты-Мансийское и другие месторождения) наблюдаются наклонные, подходящие снизу оси синфазности. Факт наличия такой оси в районе скважины №5 (Рис. 5), работающей практи-

*Как показали полученные впоследствии результаты по геотраверсу «Татсейс» (Трофимов и др., 2006), субвертикальные аномалии с увеличением глубины могут становиться наклонными и выполаживаться в низах земной коры и верхней мантии.

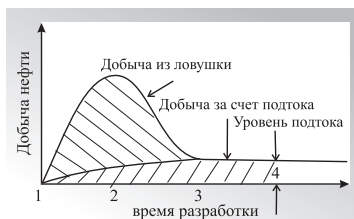


Рис. 3. Фактическая схема выработки нефтяных месторождений, с интерпретацией.

чески с постоянным дебитом более двадцати лет, и их отсутствие в районе «пустых» скважин (а их в окрестности продуктивной скважины пробурено более десяти) позволяет высказать предположение о том, что выявленные наклонные отражатели отображают нефтеподводящие каналы. Таким образом, можно выделить по крайней мере два типа нефтеподводящих каналов: субвертикальные и наклонные. В чем заключается их сходство и различие, как они функционируют – предмет дальнейших исследований.

Чрезвычайно важным для понимания строения, пространственного положения и роли нефтеподводящих каналов является изучение радиально-кольцевых структур (РКС) и связанных с ними радиальных и дуговых тектонических нарушений. Изучение таких структур и их связей с нефтегазоносностью занимались многие ученые. Кольцевые структуры как возможные каналы вторжения углеводородных флюидов рассмотрены в работе (Смирнова, 1997).

Нами на территории Татарстана и прилегающих территорий Самарской и Ульяновской областей была выявлена (Трофимов и др., 2003) приуроченность локальных поднятий и контролируемых ими месторождений нефти к валлообразным зонам, радиально расходящимся из единого центра – Шенталино-Черемшанской РКС, а в центральной ее части – к дуговым линейаментам. Анализ данных сейсморазведки МОГТ позволил установить ее глубинную природу и высказать предположение о том, что с этой крупной кольцевой структурой связано не только размещение, но и формирование нефтяных месторождений. Причем, это касается не только месторождений западного склона ЮТС и восточного борта Мелекесской впадины, где их связь с валлообразными зонами известна и очевидна, но и гигантского Ромашкинского месторождения. В пользу этого предположения говорит и наличие мощной тепловой аномалии, расположенной в юго-западной его части (Христофорова и др., 2000), то есть на относительно небольшом расстоянии от центральной части Шенталино-Черемшанской радиально-кольцевой структуры. Это свидетельствует о необходимости целенаправленного изучения кольцевых структур геофизическими методами и глубоким бурением. (Конкретные предложения по изучению Шенталино-Черемшанской РКС были разработаны в ИГиРГИ и переданы в Департамент природных ресурсов по Приволжскому округу, а также в заинтересованные ГУПРЫ МПР РФ).

Если изучение геометрии каналов, их пространственного положения лучше всего может быть осуществлено сейсморазведкой МОГТ, предпочтительнее в варианте 3Д, то прогнозирование местоположения НПК, а возможно и степени их активности, может быть осуществлено и другими геофизическими методами. Так, разработанный в ИГиРГИ метод изучения неустойчивости гравитационного поля (НГП) (автор А.И. Волгина), успешно применяется для прогноза нефтегазоносности подготовленных сейсморазведкой структур. При этом считается, что наблюдаемые изменения во времени гравитационного поля связаны с влиянием самой залежи. Такое влияние, по-видимому

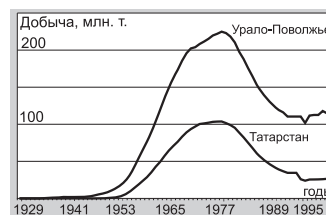


Рис. 4. Добыча нефти в Урало-Поволжье и в Татарстане.

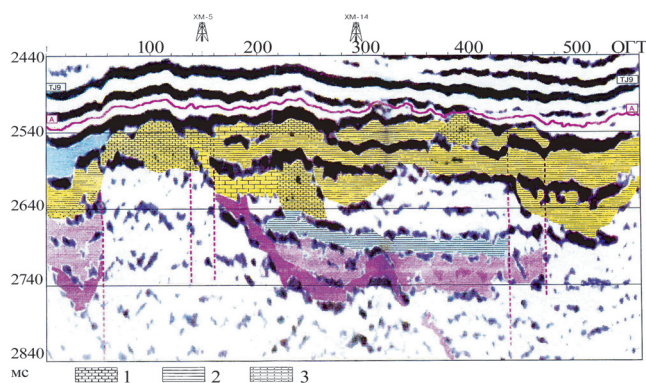


Рис. 5. Отображение предполагаемого нефтеподводящего канала на Ханты-Мансийском месторождении. 1 – карбонаты, 2 – эффузивы, 3 – туфопесчанники. XM-5, XM-14 – скважины глубокого бурения (Задоевко и др., 2001).

му, действительно существует, но по нашему мнению оно полностью не объясняет наблюдаемые эффекты и амплитуды наблюдаемых аномалий. Более вероятно, что они связаны с циклическим движением флюидов по нефтеподводящему каналу.

Весомые факты о наличии современной подпитки и нефтеподводящих каналов могут быть получены на основе анализа промысловых данных и путем комплексирования сейсморазведки и геохимии. Так, выполненные на участке профиля 039511 поверхностные геохимические наблюдения показали на наличие определенной связи субвертикальных динамических аномалий и распределения микроэлементов. На участках расположения этих аномалий наблюдалось повышенное содержание Li, Be, Ge, V, W, Yb (Трофимов и др., 2007). В ряде работ ученых ТатНИПИ-нефть (Ибатуллин и др., 2007) иллюстрируется, что нефти из аномальных по промысловым характеристикам скважин более легкие, чем из контрольной группы.

Таким образом, имеющиеся промысловые геолого-геофизические и геохимические данные свидетельствуют о наличии нефтеподводящих каналов, по которым может происходить подток глубинных углеводородных флюидов, и о принципиальной возможности их прогнозирования по геофизическим данным. В результате доказательства гипотезы современного подтока глубинных углеводородных флюидов, подпитывающих нефтяные месторождения, а также уровня этого подтока, могут быть реализованы следующие принципиальные положения:

1. Может быть кардинально изменен подход к оценке ресурсной базы региона, провинции, страны. На основании динамики добычи нефти, появления устойчивого уровня стабилизации, может быть спланирована добыча нефти, как по отдельным крупным месторождениям, так и по областям и регионам.

2. В дополнение к существующим способам разработки ловушек углеводородов появляется принципиальная возможность разработки месторождений непосредственно из нефтеподводящего канала.

3. Геофизические методы поисков ловушек углеводородов могут быть дополнены прогнозированием нефтеподводящих каналов, что будет способствовать повышению эффективности нефтепоискового бурения.

Чрезвычайно важным является получение весомих фактических данных, подтверждающих (или опровергающих) высказанную гипотезу. Это возможно путем бурения пар скважин: на прогнозируемых по промысловым и гео-

физическим данным нефтеподводящих каналах и за их пределами с последующим мониторингом в этих скважинах промысловых, геохимических и геофизических параметров. Новые представления о формировании месторождений углеводородов могут радикально изменить систему нефтедобычи и методику поисков, а также существенно изменить воззрения на ресурсный потенциал страны и каждого региона в отдельности.

Литература

Задоевко А.Н., Тюнегин С.П., Бобрышев А.Н. и др. Некоторые результаты региональных сейсморазведочных работ МОВ ОГТ в среднем Приобье. *Геофизика. Спец. выпуск к 50-летию «Ханты-Мансийскгеофизики»*. 2001.

Ибатуллин Р.Р., Глузов И.Ф. и др. Промысловые исследования процесса формирования и перемещения нефтяных месторождений (на примере Ромашкинского месторождения). *Мат-лы между. науч.-практ. конф. «Повышение нефтеотдачи пластов на поздней стадии разработки...»*. Казань. 2007. 281-283.

Корчагин В.И., Муслимов Р.Х., Нургалиев Д.К., Трофимов В.А. *Способ добычи нефти*. Пат. РФ №2240700. 2002.

Муслимов Р.Х. Развитие сырьевой базы нефтяной промышленности Татарстана. *Вопросы геологии, разведки и разработки нефтяных и битумных месторождений*. Казань. Изд-во Казанского ун-та. 1997. 5-26.

Смирнова М.Н. Нефтегазоносные кольцевые структуры и научно-методические аспекты их изучения. *Геология нефти и газа*. №9. 1997. 51-55.

Трофимов В.А. Нефтеподводящие каналы и современная подпитка нефтяных месторождений: важнейшие практические следствия. *Генезис нефти и газа*. М. ГЕОС. 2003. 345-347.

Трофимов В.А., Корчагин В.И. Нефтеподводящие каналы: пространственное положение, методы обнаружения и способы их активизации. *Георесурсы*. №1. 2002. 4-9.

Трофимов В.А., Пуланова С.А., Зиньковская А.О. Комплексные геохимические исследования почв в нефтеносных регионах Республики Татарстан. *Геохимия*. №6. 2007. 643-653.

Трофимов В.А., Романов Ю.А., Хромов В.Т. Структурно-тектонический контроль пространственного размещения скоплений углеводородов в Мелекесской впадине и склонах Южно-Татарского свода. *Генезис нефти и газа*. М. ГЕОС. 2003. 347-349.

Христофорова Н.Н., Христофоров А.В., Муслимов Р.Х. Температура и тепловой поток в гранито-гнейсовом слое земной коры (по результатам экспериментальных измерений в скважинах Татарского свода). *Георесурсы*. №1. 2000. 2-11.

Hubbert M. King. Nuclear energy and the fossil fuels. *Drilling and production practice*. American Petroleum Institute. № 95. 1956.

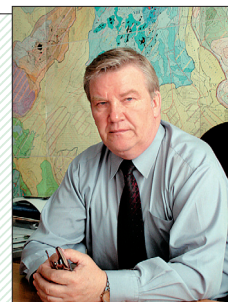
V.A. Trofimov. Refilling Channels and Modern Refilling of Oilfields: Hypothesis and facts.

The oilfield development data may be interpreted in an alternate manner and give evidence of refilling of these oilfields. The possibility of predicting of oil refilling channels by means of seismic is illustrated. The grade of activity of oil-refilling channels may be estimated by gravity surveying (VGF). It is suggested to drill special deep wells and following monitoring of geochemical, geophysical and production parameters in order to obtain reliable data, which can approve or disprove the expressed hypothesis.

Key words: oil-refilling channels, modern refilling of oilfields.

Владимир Алексеевич Трофимов

зам. генерального директора ФГУП ИГиРГИ, д. г.-м.н., профессор, академик РАЕН. Область научных интересов: нефтегазовая геология и геофизика, геотектоника, исследования глубинного строения земной коры нефтегазоносных территорий.



ИГиРГИ. 117312, Москва, ул. Вавилова, 25, корп. 1.
Тел./Факс: (495) 124-36-88 / 129-41-07