

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ФЛЮИДОПОТОКА И СВЯЗАННЫХ С НИМ ЗАЛЕЖЕЙ

Ю. В. Рослов, Н. Н. Ефимова,
А. Н. Кремлев, А. Д. Павленкин

АННОТАЦИЯ. Флюиды мигрируют вверх по зонам повышенной проницаемости и во всех встречаемых по пути ловушках с повышенной пористостью и трещиноватостью, перекрытых непроницаемой крышкой, задерживаются, формируя залежи углеводородов. Каналы флюидопотока и связанные с ними залежи вызывают в волновых полях МОГТ наблюдаемые сейсмические эффекты, обусловленные рассеиванием волн на трещинах и порах при резком усилении их динамической выразительности в условиях заполнения трещин флюидами. Такие эффекты позволяют улучшить локализацию нефтеперспективных объектов по сравнению с обычными подходами.

ABSTRACT. Fluids migrate along channels characterized by high porosity and form deposits of hydrocarbons and water if they face some covers. Fluid channels and hydrocarbon deposits adjoining their walls influence on seismic wave propagation and generate additional effects in seismic records connected with wave dispersion on cracks. Understanding of this process allows improving of hydrocarbon deposit localization in comparison with standard approaches.

В последнее время большую популярность приобретает концепция образования УВ при прохождении через кристаллическую земную кору глубинного флюидопотока, инициирующего формирование УВ в осадочном чехле, насыщенном ОВ [12]. Встречаемые флюидопотоком трещиноватые и проницаемые ловушки заполняются УВ и водой. Перекрытые сверху и сбоку непроницаемыми крышками ловушки превращаются в залежи.

В природе нет абсолютно непроницаемых тел, и поэтому глубинные флюиды могут проходить через земную кору повсеместно, обеспечивая дегазацию Земли. Однако в зонах с повышенной проницаемостью восходящее движение флюидов возрастает, как и их переносимая масса, или флюидопоток. Такие зоны при естественной миграции флюидов вверх локализуются в субвертикальные тела с отчётливыми ограничениями их стенок. Эти тела в литературе называют по-разному - субвертикальные геологические тела [4]; стволовые структуры (диатремы) [11]; газовые трубы, пути движения флюидов [3]; субвертикальные зоны дегазации [5]; ослабленные зоны повышенной проницаемости, каналы дегазации и флюидов [6]; *chimney* (трубы) [15].

Движение флюидов по типу течения можно назвать флюидопотоком [12], а локализованную по латерали область их восходящего течения - каналом. Понятия "ствол", "субвертикальные геологические тела", "разломы", "зоны повышенной проницаемости" и т. п. описывают только форму, но не динамику вещества в этой форме и поэтому неадекватно характеризуют каналы флюидопотока.

Проходя через кристаллическую гетерогенную кору, сегментированную на жёсткие массивы и ослабленные

разломные, в т. ч. неотектонические, зоны, флюидопоток разветвляется и подходит к поверхности фундамента. В осадочном чехле флюидопоток также продвигается вверх по ослабленным проницаемым зонам, размывая их и перерабатывая. Флюиды влияют на прочность отложений, понижая её и повышая трещиноватость [3]. Ротационно-флюидная геотектоника объясняет глубинным флюидопотоком эрозию коры снизу с деструкцией и переработкой вплоть до земной поверхности [12].

С позиции формирования наблюдаемого сейсмического волнового поля каналы флюидопотока и заполняемые им ловушки углеводородов и воды должны приводить к наблюдаемым эффектам рассеивания волн, инициируемым размещёнными случайным образом в однородной среде пустотами разного диаметра и протяжённости, заполненными воздухом, углеводородами или водой.

Эти рассеянные волны накладываются на стандартное волновое поле временных разрезов МОГТ, вызывая эффект, известный под названием сейсмической мутности [11]. А. В. Николаев, введший это название, несомненно, имел в виду "мутную среду", т. е. сейсмически неоднородную (гетерогенную) область разреза (или геологического пространства), инициирующую рассеивание проходящих волн, что и отражено в названии его монографии [11]. Другое дело, что в то время технология сейсморазведки не позволяла фиксировать рассеиватели накоплением сигналов и мутность определялась по деформациям записи рефлекторов, вызванным наложением рассеянных волн. В настоящее время на временных разрезах ОГТ мутные среды (области, зоны) хорошо обособляются от прозрачных даже в местах, где

полностью отсутствуют рефлекторы (ниже поверхности акустического фундамента).

К этому же выводу приходит Н. А. Каравс с соавторами [7, 8, 9] на основе изучения блоков консолидированной земной коры, не включающих отражающих горизонтов. Сейсмический луч, распространяемый в однородном полупространстве, никогда не вернётся к источнику, если, по законам геометрической сейсмологии, не изменит траекторию на сейсмической границе (отражающей или преломляющей) или в точке рассеивания (локальной неоднородности среды). Регистрируемый от рассеивателя сигнал попадает на временной и глубинный разрез в место рассеивания (точку дифракции), не совпадающее с рефлектором или рефрактором. В ослабленных разломных зонах и каналах флюидопотока резко возрастает плотность точек рассеивания, приходящихся на единицу площади, и соответственно записей рассеянных сигналов от них.

Локализация зон с различной плотностью рассеянных сигналов (или их накопленных при суммировании амплитуд) позволяет сегментировать среду на зоны с различным уровнем рассеивания или, что одно и то же, по уровню сейсмической мутности [14]. В гетерогенной среде зоны, различающиеся по уровню сейсмической мутности (плотности рассеивания), имеют произвольные ограничения [7, 8]. Но чёткие субвертикальные почти параллельные ограничения зон с повышенной сейсмической мутностью в осадочной толще, генетически горизонтально-слоистой, вероятней всего, объясняются как границы канала миграции флюидов вверх.

Зоны повышенной сейсмической мутности, локализуемые хорошо ограниченными стенками вертикальных и наклонных каналов, прослеживаются до конца сейсмической записи, в т. ч. ниже поверхности акустического фундамента, и обычно хорошо подчеркиваются на сжатых до латерали временных разрезах. Значительная часть дифракторов подавляется суммированием по ОГТ, и их выделение, очень важное с позиции сегментации нефтепродуктивных комплексов по трещиноватости и коллекторским свойствам, осуществляется специализированной обработкой данных МОГТ [2, 10].

По данным физического моделирования известно, что наполнение флюидами пор и трещин резко повышает интенсивность рассеянных волн, а водонефтяной контакт вызывает резко повышенную амплитуду рефлекторов, что создаёт известный эффект "яркого пятна", или "аномалии типа залежь" (АТЗ).

В условиях Западной Сибири для подготовки требуемых для анализа временных разрезов нужно корректно исключить влияние неоднородностей ВЧР.

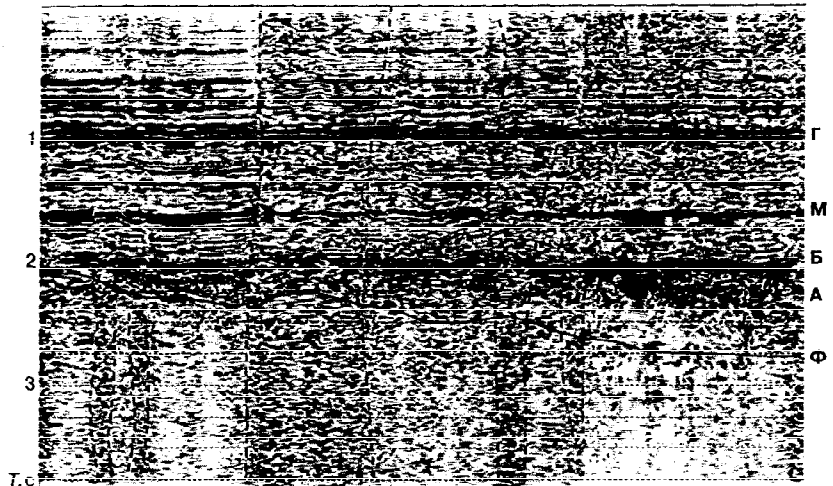


Рис. 1. Временной разрез по профилю 80

Зоны повышенной сейсмической мутности

На рис. 1 приведён временной разрез по одному из профилей в Западной Сибири. Здесь зоны с высокой сейсмической мутностью выражены очень хорошо и имеют резкие вертикальные границы. Они имеют разную ширину - от нескольких сотен метров до трёх километров. Ствол наиболее крупной зоны выдержан по ширине на всём протяжении записи. Узкие зоны левее этого ствола почти затухают выше горизонта Б, а две средние правее по ширине расширяются вверх по разрезу.

Расширение зон вверх по разрезу никаким моделированием структуры ВЧР объяснено быть не может, и его проще всего связать с растеканием флюидопотока вверх по разрезу, в сторону его течения.

На рис. 2, а приведён фрагмент временного разреза с ослаблением амплитуд. На нём хорошо выражены неширокий, сброшенный по разломам блок (грабен) и деструкция опорных рефлекторов Б, М и Г в районе разломов. Без ослабления записи на временном разрезе выделяется вертикальная зона с повышенной сейсмической мутностью, включающая весь грабен с некоторым расширением (см. рис. 2, б).

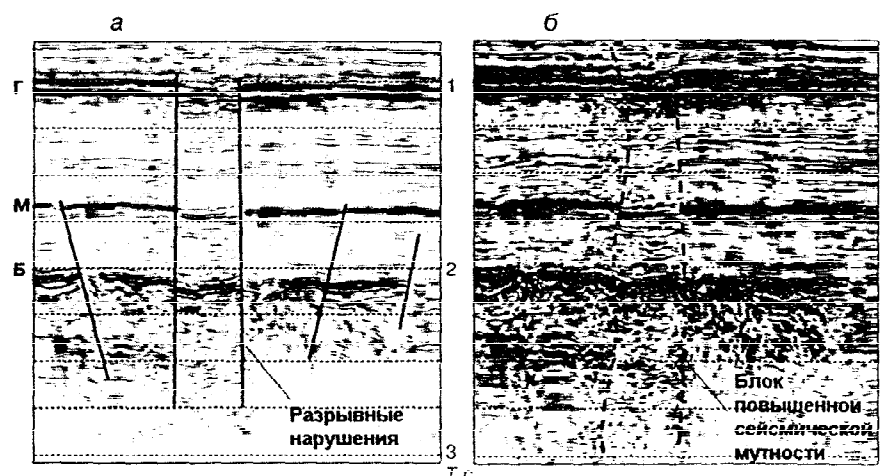


Рис. 2. Временной разрез по профилю 87 без усиления (а) и с усилением (б)

То, что в разломных зонах дробления среда по физическим свойствам гетерогенная и является зоной рассеивания волн, общеизвестно. На рассматриваемом примере разлом и связанная с ним зона повышенной сейсмической мутности уходят глубоко в акустически прозрачный фундамент и, что очевидно, пересекают всю осадочную оболочку до её поверхности, т. е. являются неотектоническими.

Связь вертикальных зон повышенной сейсмической мутности с каналами флюидопотока

На рис. 3 (см. цвет. вкл.) приведены временной разрез и поле дифракторов по одному из профилей на севере Западной Сибири. Очень широкая вертикальная зона повышенной сейсмической мутности хорошо прослеживается от акустического фундамента до земной поверхности. В нефтепродуктивном комплексе ниже опорного рефлектора Б резко повышена интенсивность рефлекторов (АТЗ) и дифракторов в линзах, начинающихся у стенок канала флюидопотока.

Это, несомненно, связано с растеканием флюидов, поднимающихся по каналу, и их захоронением под очень мощной покрывкой между горизонтами Б и Г. Канал резко повысил проницаемость покрывки (в природных объектах абсолютной непроницаемости нет) и доставил флюиды в эродированные слои осадков над покрывкой. В отдельных линзах этой части разреза водонасыщение пор резко повысило интенсивность дифракторов.

Чтобы возник разлом, особенно неотектонический, разрывающий осадочную оболочку в тектонически пассивных платформенных условиях Западной Сибири, нужна значительная предразломная подготовка среды. Ослабленные зоны дробления - это уже, по существу, сам разлом. Зоны повышенной трещиноватости, пористости и проницаемости занимают уже промежуточное положение между ненарушенной и разломной средой, и именно они в виде зон повышенной сейсмической мутности прорезают и акустически прозрачный фундамент, и плотные акустически прозрачные постъюрские покрывки. Физическим и химическим путём флюидопотоки меняют качественное состояние среды, повышая её гетерогенность и проницаемость. Геохимические исследования подтверждают, что глубинные элементы достигают земной поверхности в тех местах, где они не могли сформироваться.

Всё большую популярность приобретает концепция образования углеводородов при прохождении инициального флюидопотока через богатые органикой осадки. К этому нужно добавить и установленную миграцию углеводородов. К классическим ловушкам, далеко не всегда выполняемым залежами из-за недостаточных коллекторских свойств или удалённости от мест фор-

мирования и миграции углеводородов, добавляются просто блоки в нефтепродуктивном комплексе, отличающиеся повышенными коллекторскими свойствами, что создаёт иногда труднообъяснимую блоковую сегментацию залежи.

Если даже обычный флюидопоток делает пересекаемую им среду акустически мутной, то полное выполнение углеводородами в чередовании с водой порового пространства залежи повышает мутность до акустически непрозрачной среды. Очень интенсивные отражения от водонефтяного контакта получили название "ярких пятен", или "аномалий типа залежь" (АТЗ).

Разумеется, такие эффекты наблюдаются далеко не всегда, что выводит их из разряда прямых признаков залежей. Выделение этих признаков, как и вертикальных каналов с повышенной мутностью, во многом определяется и методикой наблюдений, и методикой обработки, и видением интерпретатора. Так, многие обработчики относят латеральную негладкость временных разрезов к недостаткам обработки, недоучёту влияния ВЧР и т. п. и пытаются любыми способами повысить гладкость разрезов, уничтожая их информативность.

На рис. 4 приведён временной разрез, показывающий сложную структуру поля сейсмической мутности ниже горизонта Б. Расположенные выше крупные нарушения структуры поля связаны с вертикальным каналом, разрывающим и деструктурирующим горизонты А, Б, М и М₁, причём по горизонту Б канал приходится на вершину поднятия. Меньшие нарушения связаны с наклонным каналом, пересекающим те же горизонты. В районе обоих каналов ниже горизонта Б запись обладает аномальной интенсивной динамикой (АТЗ), возможно, определяющей локализацию залежи в месте выклинивания триасовых осадков.

На рис. 5 выделяется несколько линз разрастания длительности интенсивности записи (типа АТЗ) вниз от горизонта Б. Все они тяготеют к положительным структурным формам и к вертикальным каналам повышенной мутности. Однако самая интенсивная и наиболее

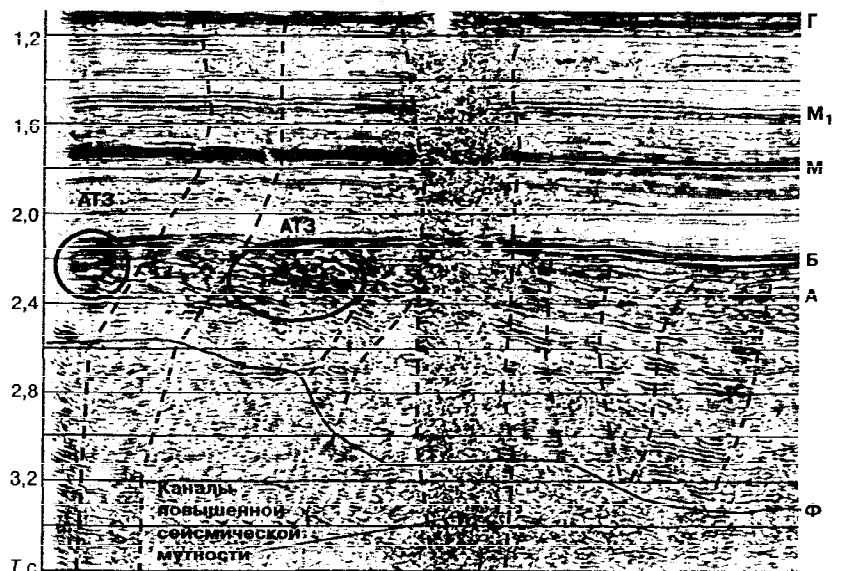


Рис. 4. Временной разрез по профилю 7

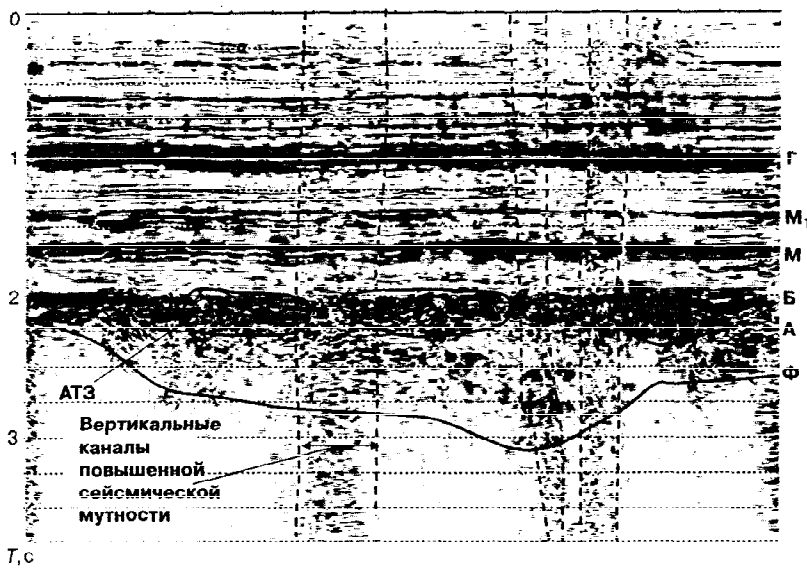


Рис. 5. Временной разрез по профилю 83

мощная по толщине АТЗ в правой части разреза перекрыта наиболее прозрачной покрывкой слоя между горизонтами Б и Г.

Из рассмотренных примеров следует, что в субвертикальных зонах повышенной сейсмической мутности деструктурирован и приобрёл повышенную трещиноватость и проницаемость весь осадочный чехол вплоть до земной поверхности, включая региональную покрывку между горизонтами Г и Б. Корни зоны деструкции уходят глубоко в фундамент, что на рассмотренных примерах является не гипотезой, а экспериментальным фактом. Деструктурированы и региональные опорные отражающие горизонты А, Б, М и Г. Это является следствием несомненной переработки флюидами канала их течения. В природе, как отмечалось, нет абсолютно непроницаемых покрывок, и все залежи со временем перетекают в атмосферу, если отсутствует их непрерывная подпитка, существование которой уже практически доказано [13].

Миграция флюидов, в т. ч. углеводородов, резко усиливается в высокопроницаемых зонах повышенной сейсмической мутности (каналах флюидопотока), в связи с чем нахождение в них значительных залежей маловероятно из-за деструкции покрывок. Действительно, в рассмотренных и многочисленных других случаях структурные ловушки местами пересекают каналы миграции флюидов, но залежи, локализуемые по признакам АТЗ в линзах с высокими коллекторскими свойствами, подчёркиваемыми концентрацией в них интенсивных дифракторов, примыкают к этим каналам, не пересекая их, хотя, несомненно, генетически связаны с латеральным растеканием флюидов в нефтепродуктивном комплексе при пересечении его сегментов с высокими коллекторскими свойствами и проницаемостью.

Приведённые выше примеры показывают, что глубинный флюидопоток агрессивно изменяет пересекаемую им среду. Он повышает её трещиноватость, пористость и проницаемость, что благоприятствует и миграции углеводородов, и их захоронению в ловушках, а также подготовке вертикальных каналов к преобразо-

ванию в разломные зоны. Принято считать, что формы земной поверхности создаются эрозией и другими экзогенными процессами. Но эти процессы легче протекают в подготовленных для этого передробленных, рыхлых, пористых и проницаемых, т. е. легко размываемых, породах.

Установлено, что каналы флюидопотока приближаются к земной поверхности в местах её локального понижения относительно окружающих холмов, имеющих превышения на 50 - 100 м, что достаточно много для низменной равнины. Если учесть, что на уровне нефтепродуктивных горизонтов каналы тяготеют к положительным структурным формам, то с приближением к земной поверхности возникает инверсия форм. При этом не исключено, что глубинные локальные формы имеют эндогенный генезис, связанный с активизацией подвижек по направлению флюидопотока. На уровне горизонта Г эндогенные и экзогенные подвижки компенсируются, отчего этот горизонт обладает повышенной гладкостью, что ещё раз подтверждает, что выделяемые каналы флюидопотока не являются следствием недоучёта влияния ВЧР.

Выводы

Выводы

После корректного ввода статических поправок не только устраняются деформации структурных форм целевых рефлекторов, но и открывается перспектива существенного расширения возможностей сейсмических исследований за счёт вовлечения в интерпретацию областей повышенного рассеивания (сейсмической мутности) и аномального усиления и ослабления амплитуд, которые коррелируются с каналами флюидопотоков и миграции, залежами и покрывками.

Используя рассмотренные признаки, авторы данной статьи на нескольких поисковых площадях Западной Сибири локализовали в плане области флюидопотоков (каналы повышенной сейсмической мутности), примыкаемые к их стенкам ловушки и возможные залежи (линзы повышенной мощности и интенсивности полей рефлекторов и дифракторов). На двух исследованных площадях имелись установленные бурением залежи. На остальных площадях рассмотренные признаки могут служить дополнительными критериями выявления нефтеперспективных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиржанов А. А., 2008, Признаки глубинной дегазации в рудоносных диаграмах Ангарской провинции: Материалы Всероссийской конференции "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы", 22 - 25 апреля 2008 г.: М., ГЕОС, 29 - 31.
2. Гольдин С. В., Смирнов Ю. Ю., Поздняков В. А., Черверда В. А., 2001, Построение сейсмических изображений в рассеянных волнах как средство детализации сейсмического разреза: Геофизика. Спец. выпуск, 23 - 29.
3. Гринь Н. Е., Гринь Д. Н., 2008, Затухание сейсмических волн и прогнозирование путей движения флюидов: Материалы

Всероссийской конференции "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы", 22 - 25 апреля 2008 г.: М., ГЕОС, 134 - 137.

4. Гулиев И. С., 2008, Субвертикальные геологические тела - новые объекты поисков месторождений углеводородов: Материалы Всероссийской конференции "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы", 22 - 25 апреля 2008 г.: М., ГЕОС, 140 - 145.

5. Дадашев А. М., 2008, Субвертикальные зоны дегазации как объекты поисков углеводородных и рудных месторождений: Материалы Всероссийской конференции "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы", 22 - 25 апреля 2008 г.: М., ГЕОС, 148 - 149.

6. Злобин Т. К., 2008, Курило-Охотский регион: глубинные разломы - ослабленные зоны повышенной проницаемости (каналы дегазации и флюидов): Материалы Всероссийской конференции "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы", 22 - 25 апреля 2008 г.: М., ГЕОС, 172 - 173.

7. Караев Н. А., Анисимов А. А., Кашкевич В. И., Травинская Т. И., 1998, Сейсмическая гетерогенность земной коры и ее отображение в поле рассеянных волн: Геофизика, 2, 29 - 39.

8. Караев Н. А., Лебедин П. А., Кошелева Т. Д., 2003, Изучение сейсмической гетерогенности земной коры на примере региональных наблюдений в "ближней" зоне: Исследование литосферы в работах петербургских геофизиков: СПб, ВИР-Рудгеофизика-ВНИИОкеангеология, 196 - 212.

9. Караев Н. А., Рабинович Г. Я., 2000, Рудная сейсморазведка: М., ЗАО "Геоинформмарк".

10. Кремлев А. Н., Ерохин Г. Н., Стариков Л. Е., Зверев М. А., 2007, Волновое ОГТ - новый метод исследования геологических сред по рассеянным волнам: Сб. трудов международной конференции геофизиков и геологов, 4 - 7 декабря 2007, Тюмень.

11. Николаев А. В., 1973, Сейсмика неоднородных и мутных сред: М., Наука.

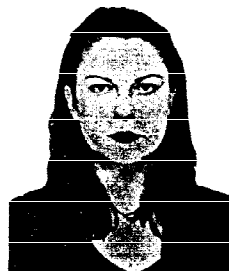
12. Павленкова Н. И., 2002, Структура земной коры и верхней мантии и глобальная тектоника: Спорные вопросы тектоники плит и возможные альтернативы: М., ИФЗ РАН, 64 - 83.

13. Сазанский В. И., Чепиль Н. М., Кени Дж. Ф., 2008, К вопросу о неистощимости мировых ресурсов нефти и газа: Материалы Всероссийской конференции "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы", 22 - 25 апреля 2008 г.: М., ГЕОС, 464 - 467.

14. Сейсморазведка. Справочник геофизика, 1981: М., Недра.

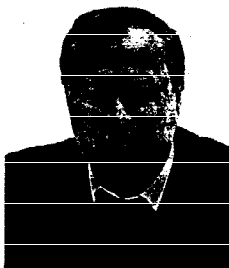
15. R. Randy Ray., 2002, Looking for gas chimneys and faults: Explorer, December.

государственного университета. Занимается вопросами теории распространения сейсмических волн, сейсмической томографии, комплексных геофизических исследований на опорных профилях и в транзитных зонах. Автор более 50 публикаций.



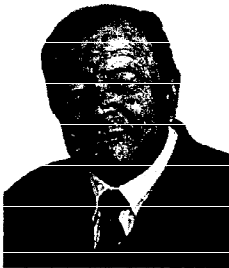
**Наталья Николаевна
ЕФИМОВА**

Старший научный сотрудник Аналитического геолого-геофизического отдела ФГУ НПП "Севморгео", кандидат техн. наук. В 1996 г. окончила кафедру геофизических и геохимических методов поисков и разведки МПИ Санкт-Петербургского государственного горного института. Область научных интересов: геотомографические технологии, компьютерная обработка геофизических данных. Автор более 40 публикаций.



**Андрей Николаевич
КРЕМЛЕВ**

Заведующий лабораторией 3D-сейсморазведки, заместитель директора по науке Югорского НИИ информационных технологий, кандидат физ.-мат. наук. Окончил факультет экспериментальной и теоретической физики Московского инженерно-физического института в 1974 г. Научные интересы связаны с обработкой сейсморазведочных данных и решением задач распространения акустических и сейсмических волн. Автор свыше 30 публикаций.



**Анатолий Дмитриевич
ПАВЛЕНКИН**

Главный научный сотрудник ВНИИ-океангеология, доктор геол.-минер. наук. Окончил Ленинградский горный институт в 1961 г. по специальности геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Научные интересы - сейсмические методы, геотектоника. Автор и соавтор свыше 120 научных работ, в т. ч. 5 монографий.

ОБ АВТОРАХ



**Юрий Викторович
РОСЛОВ**

Начальник Аналитического геолого-геофизического отдела ФГУ НПП "Севморгео", кандидат физ.-мат. наук, профессор. В 1986 г. окончил кафедру физики Земли физического факультета Санкт-Петербургского

Рецензент - доктор техн. наук И. А. Мушин.