

О флюидной зональности консолидированной земной коры по данным наблюдений МОГТ-ГСЗ

Часть 2. Континентальная кора (водосодержание)

А.М. Кузин

ИПНГ РАН

e-mail: amkouzin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются результаты сейсмических наблюдений, выполненные в районах с различным геологическим строением. Область интенсивной сейсмической записи отраженных волн в нижней части консолидированной коры связана, прежде всего, с относительно повышенным содержанием воды. Выделены вертикальные и горизонтальные области с различным фазовым составом флюида. Дано физическое обоснование интерпретации этих зон. В отличие от ранее выполненных исследований показано, что горизонтальная зональность консолидированной земной коры определяется не только реологической расслоенностью, но и фазовым составом флюида. Верхняя часть консолидированной коры имеет преимущественно газовый состав, средняя и нижняя кора – водонасыщенный состав.

Ключевые слова: сейсмические данные, континентальная земная кора, отраженные волны, рассеяние, флюидная зональность, водосодержание.

Для цитирования: Кузин А.М. О флюидной зональности консолидированной земной коры по данным наблюдений МОГТ-ГСЗ. Часть 2. Континентальная кора (водосодержание) // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art3>

В первой части статьи, посвященной различным формам флюидной зональности, было показано, что флюид, содержащийся преимущественно в газообразной фазе, может формировать региональную область в верхней части консолидированной коры, может заполнять массивы интрузивных пород, вертикальные и горизонтальные разрывные нарушения. В данной работе основное внимание уделено жидкой фазе флюида, проанализированы общие черты и различия резервуаров, заполненных флюидом в жидкой и газообразной фазах.

Во введении к первой части статьи были перечислены основные положения и концепции гидрогеологии, из которых было сделано заключение, что вода является неотъемлемой составляющей геологической среды [1], способной в разных формах и фазовых состояниях проникать во все без исключения земные образования, и, соответственно, физико-химические свойства жидкости будут по иному, чем газ, влиять на параметры и характеристики сейсмического поля.

Области интенсивной сейсмической записи

Как было показано ранее, области интенсивной сейсмической записи связаны с присутствием влаги [2]. Вода на шероховатых границах нивелирует эффект рассеяния [3]. На временном разрезе, показанном на рис. 1 в части 1, а также на рис. 1, б настоящей статьи, динамически интенсивные вертикальные области прослеживаются в нижней части коры, вплоть до границы Мохоровичича. К ним примыкают или пересекают наклонные и листрические разломы (см. рис. 1, в). Какая-то часть этих нарушений лежит вне плоскости разреза, другая часть, пусть и меньшая, контактирует с этими областями. Области контакта указанных структур образуют промежуточную зону накопления водного флюида за счет повышенной диспергации, увеличения гидроскопичности геоматериала.

В подтверждение такой интерпретации можно привести результаты расчета напряженного состояния тектонического блока для месторождения Тенгиз [4]. Под этим месторождением было установлено, что зона аномально низкого литостатического давления уходит на глубину порядка 18 км (рис. 2). Это означает, что система открытых трещин с водой может существовать от поверхности до средней коры включительно [2]. В таких условиях трещины вертикальных разрывных нарушений, заполнившись водой, могут оставаться открытыми до глубин перехода от упругих деформаций к пластичным. Причем давление в сообщающихся трещинах может не превышать гидростатического во всем диапазоне глубин проникновения разрывного нарушения [5]. Очень важно отметить, что существование зон разуплотнения (содержащих флюид) возможно только в механически жестких, прочных геологических образованиях [6–8].

Расчет процесса дегидратации среды, при области дегидратации мощностью 10 км, длиной 40 км на глубине 25 км и примыкающей к вертикальному разлому, доказал возможность длительного существования флюида в области дегидратации [9]. Помимо того, как уже отмечалось выше, на больших глубинах при соответствующих давлениях количества воды, содержащейся в породе, становится достаточно для заполнения пор и трещин с газом (сжимаемость воды меньше газа), что тем самым существенно снижает рассеивающие свойства. Это дает основание интерпретировать зону «рефлективности» как зону присутствия воды. Безусловно, значения трещинной пористости в нижней части коры значительно меньше, чем в средней части коры, но ее величины оказывается достаточно, чтобы вода существенно уменьшила рассеяние.

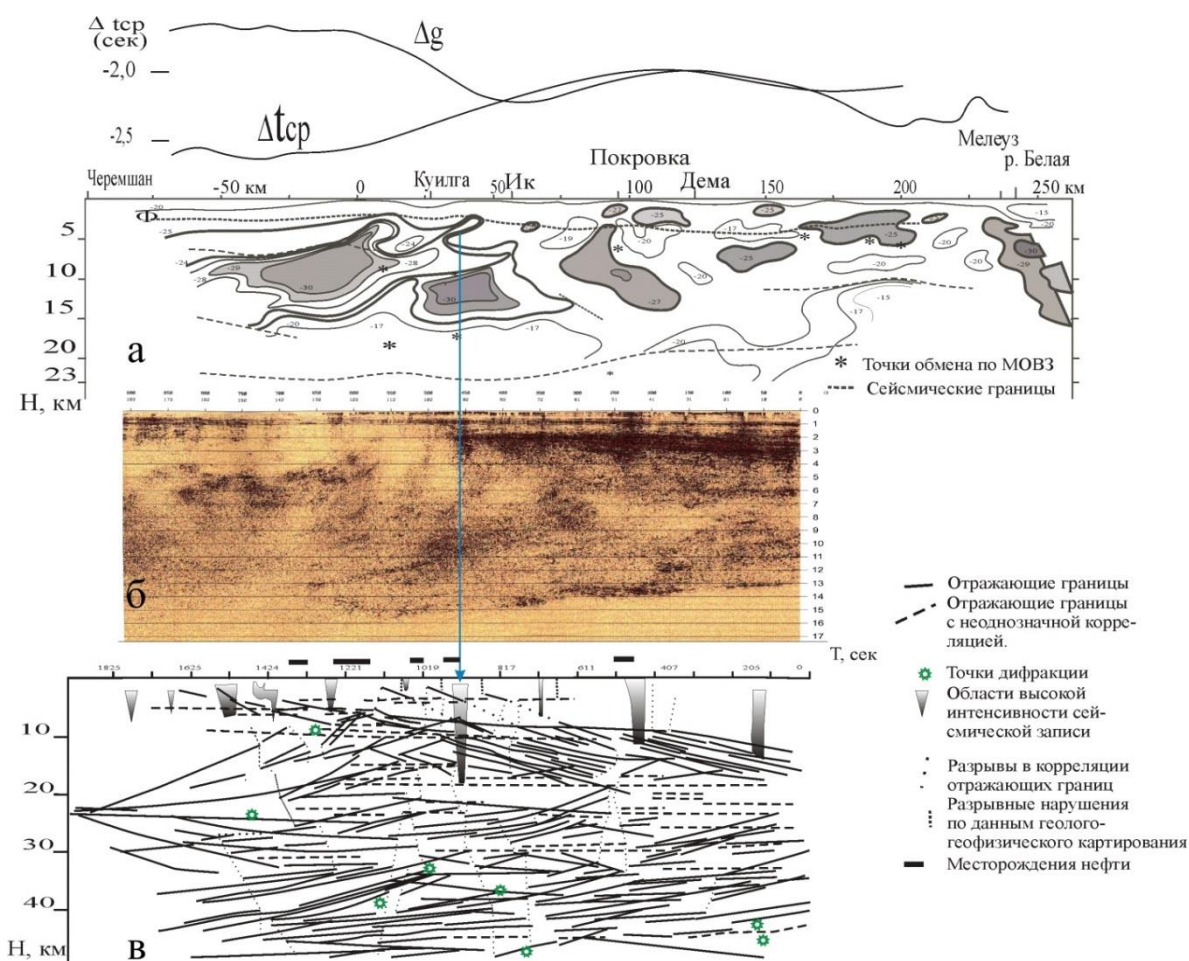


Рис. 1. Сейсмические разрезы:

а – глубинный разрез по профилю ГСЗ Черемшан–Мелеуз временных аномалий $\Delta t(R)$ первых коровых Р–волн, б – фрагмент временного разреза по геотраверсу Татсей; в – глубинный разрез по фрагменту (б) геотраверса Татсей [10]

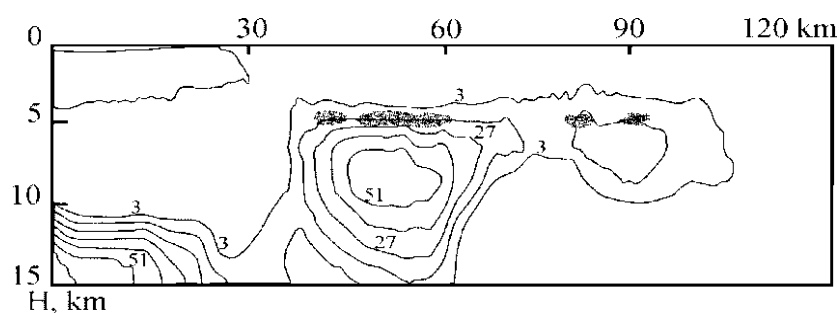


Рис. 2. Низкие литостатические давления под месторождением Тенгиз, рассчитанные на основе сейсмических и гравитационных полей; числа около изолиний соответствуют дефициту давления, в атм; нефтяная залежь показана точками [4]

Присутствие воды в нижней части консолидированной коры доказывают экспериментальные работы по изучению поведения водонасыщенных образцов горных пород под высоким давлением Б.А. Фурсенко [11]. Оказалось, что при больших давлениях

вода начинает проникать в кристаллическую решетку. Это установлено в каркасных силикатах, для которых характерно наличие гибкого каркаса, «разворачивающегося» под большим давлением и способного к увеличению каналов. В результате разворота тетраэдров или даже целых фрагментов каркаса происходит заполнение молекулами воды дополнительных (ранее вакантных) позиций в новом каркасе. Эти лабораторные результаты согласуются с теоретическими расчетами – для давлений порядка 22 кбар (глубины 60–70 км) энергетически выгодным должно становиться вхождение воды в кристаллическую решетку минералов [12]. Можно предполагать, что наклонные контрастные отражающие границы, прослеживаемые в верхней мантии, могут концентрировать воду в кристаллической решетке, тем самым формируя зеркальную компоненту отраженной волны.

Следовательно, возможно ожидать существования каналов инфильтрации и фильтрации между поверхностью земли и, по крайней мере, средней частью коры и возможно нижней, что согласуется также с результатами и выводами работ [13, 14].

Горизонтальная флюидно-тектоническая зональность консолидированной коры докембрийских платформ

Локализация воды и/или ее растворов на жестком массиве пород сопровождается проникновением воды вглубь массива. Это положение проиллюстрировано анализом данных ГСЗ и МОГТ, полученных на границе Южно-Татарского свода и Предуральяского прогиба (см. рис. 1), при рассмотрении разреза временных аномалий Δt (см. рис. 1, а) с фрагментом временного разреза геотраверса Татсейс и глубинного разреза, построенного по фрагменту этого разреза (см. рис. 1, б, в).

Временные аномалии Δt определялись как отклонение наблюдаемого годографа от среднего для фиксированного интервала на профиле. Обращает на себя внимание область интенсивной сейсмической записи в центральной части профиля. Эта область совпадает с продолжением высокоскоростной аномалии Δt (см. рис. 1, а, б) в верхние горизонты разреза. Аналогичная вертикальная зона интенсивной сейсмической записи наблюдается в центральной части Ромашкинского месторождения (ПК 197–210), а также и на других интервалах геотраверса (см. часть 1, рис. 1). Схожая картина фиксируется в различных регионах, например на профиле 2-ДВ-М [15] на границах Центрально-Охотского прогиба и в его средней части. Здесь области интенсивной записи лежат на участках довольно резких и узких подъемов изолиний скорости продольных волн ГСЗ.

Повышенные значения скорости продольных волн в разрезе, как правило, совпадают с неоднородностями повышенной плотности, что находит подтверждение при сопоставлении разреза кажущейся плотности (масштаб 1:200000) с глубинным сейсмическим разрезом (рис. 3). Разрез кажущейся плотности был получен Д.К. Нургалиевым [16] методом вэйвлет–разложения в варианте 3D, рассчитанным по глубинному разрезу геотраверса Гранит (см. рис. 3, б). Из его сопоставления с сейсмическим разрезом по геотраверсу Татсейс видно, что узлы пересечения для многих отражающих границ подстилают тело с повышенной плотностью или же находятся в контуре этого тела (см. рис. 3, а, б). Сами отражающие границы (точнее поверхности) образуют лепестковую структуру.

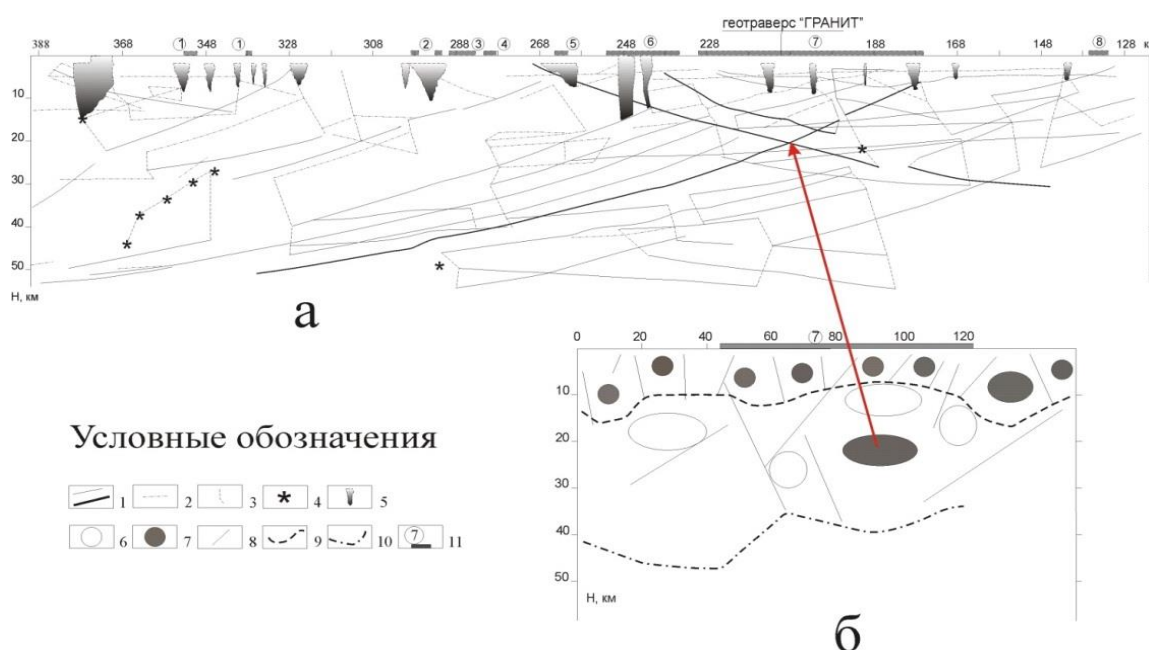


Рис. 3. Комплексная интерпретация разреза по фрагменту геотраверса Татсейс: а – глубинный сейсмический разрез по фрагменту геотраверса Татсейс [10], б – разрез кажущихся плотностей из [16] с сокращениями

Условные обозначения: 1 – отражающие сейсмические границы; 2 – сейсмические границы с неуверенной корреляцией; 3 – возможные разрывные нарушения, выделенные по разрыву в корреляции отражающих границ; 4 – точки дифракции; 5 – области относительно высокой интенсивности сейсмической записи; 6 – вероятные зоны трещиноватости; 7 – области ненарушенных пород; 8 – зоны резкого изменения плотности пород; 9 – положение внутрикоровой границы; 10 – местоположение границы Мохоровичича; 11 – месторождения углеводородов: 1 – Шийское, 2 – Шереметьевское, 3 – Уратьминское, 4 – Нижне-Уратьминское, 5 – Саралаинское, 6 – Новоелховское, 7 – Ромашкинское, 8 – Сабанчинское

По данным интерпретации глубинного разреза по геотраверсу Гранит, Татарский свод характеризуется большей по сравнению с соседними тектоническими структурами «густотой» отражающих площадок (рис. 4) [17]; это согласуется с тем, что открытые, незалеченные разрывные нарушения, как отмечалось выше, могут существовать в геологическом масштабе времени только в жесткой вмещающей геологической среде.

Только жесткое тело может накапливать упругую энергию в поле постоянно действующих в геологической среде волн напряжений и деформаций. Эта энергия на его поверхности переходит в энергию физико-химических реакций [18, 19]. В статическом состоянии жесткое тело формирует разность вертикальных напряжений между его кровлей и подошвой, что способствует локализации на его поверхности флюидов. Выполненные для Волго-Уральской нефтегазоносной провинции расчеты полей напряжений (рис. 5), показали, что наиболее крупные месторождения: Ромашкинское, Оренбургское, Арлаское и другие – локализованы в зонах относительного растяжения [20], картина распределения векторов флюидных потоков хорошо согласуется с проекцией лепестковой структуры на поверхность земли.

Детальный анализ зоны «рефлективити» в геофизических полях был выполнен в пределах Астраханского свода [21]. В рельефе зоны «рефлективити» на отдельных участках устанавливаются высокоамплитудные (порядка 16–18 км по вертикали) поднятия, напоминающие диапировидные складки. Отмечается корреляция между высотой этих поднятий и положительными гравитационными аномалиями трансформант поля силы тяжести в редукции Буге ($K = 0,7-0,9$), что подтверждается сопоставлением соответствующих данных в плане (рис. 6). Эти данные хорошо согласуются с представлением о водонасыщенности зоны интенсивной сейсмической записи: действительно, только в более плотных (и вероятно, прочных) структурах возможно сохранение воды (флюида), к тому же, чем выше находится жесткое тело, тем больше трещиноватость и, соответственно, больше влаги. Этим объясняется совпадение высокоскоростной неоднородности (см. рис. 1, а, приблизительно ПК 35) с вертикальной областью интенсивной сейсмической записи на временном разрезе (см. рис. 1, б).

Распространение зоны «рефлективити» представляется неслучайным [21]. Она прослеживается вдоль южного и юго-восточного обрамления Прикаспийской впадины под примыкающими к этому обрамлению приподнятыми блоками самой впадины – от Астраханского свода до Каратон-Тенгизского и Биикжалского поднятий. Для них

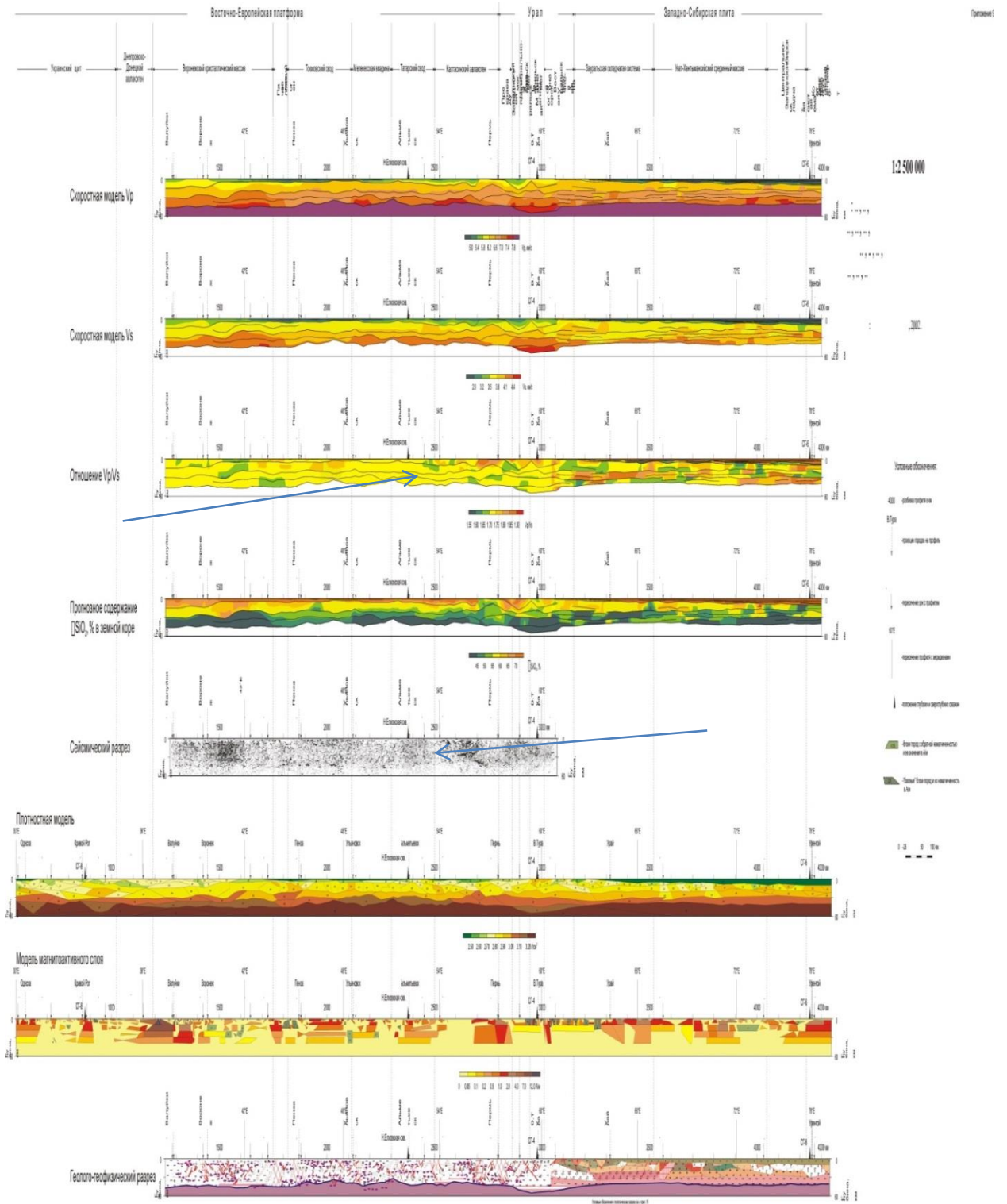


Рис. 4. Разрезы земной коры и верхней мантии по результатам сейсмических исследований: масштабы: горизонтальный 1:2500000, вертикальный 1: 100000; составлены: Кашубиным С.Н., Кашубиной Т.В., Рыбалкой А.В., Шармановой Л.Н., Шкред И.Г., Соколовой Е.В. и по материалам А.В. Егоркина (Западно-Сибирская часть); электронная версия: Рыбалка А.В., Шкред И.Г., 2002 г. [17]; стрелками показаны сгущение отражающих площадок и область пониженных значений V_p/V_s

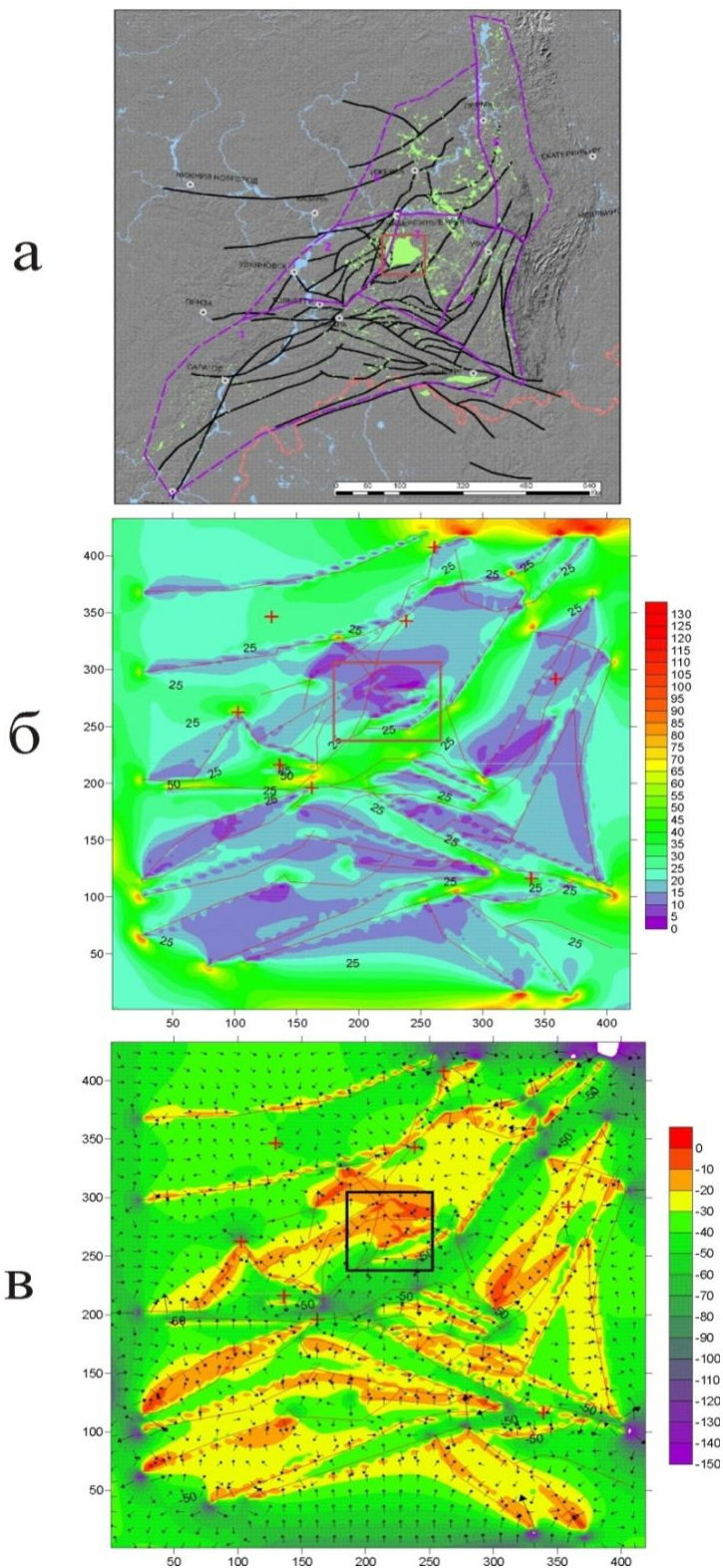


Рис. 5. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния для Волго–Уральской НГП, Ромашкинское месторождение:
 а – карта нефтегазоносности Волго–Уральской НГП, позиция месторождений углеводородов показана зеленым цветом; б – схема распределения интенсивности напряжений в районе Ромашкинского месторождения нефти; в – схема распределения векторов флюидных потоков [20]

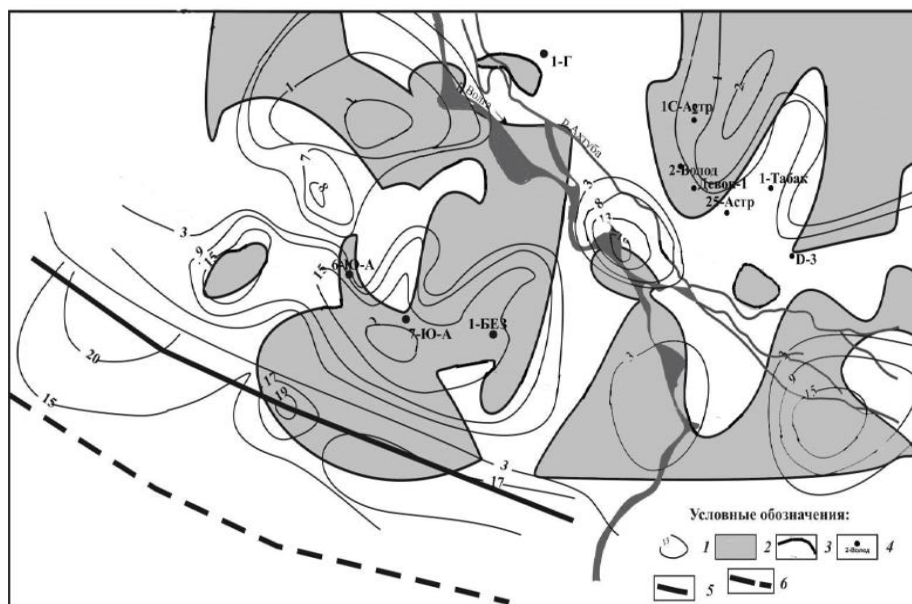


Рис. 6. Схема толщин комплекса «рефлективити» и аномалий трансформанты силы тяжести [22]: 1 – изопахиты комплекса «рефлективити»; 2 – участки с аномалией трансформанты силы тяжести величиной более 4 мГг; 3 – контуры аномалий трансформанты силы тяжести; 4 – скважины; 5 – граница Каракульско-Смушковой зоны; 6 – северная граница складчатого основания кряжа Карпинского

характерны «очаговое» развитие зоны «рефлективити», относительно высокое положение и интенсивная расчлененность рельефа верхней границы этой зоны.

На правобережной (относительно р. Волги) части Астраханского свода, примыкающей к структурам кряжа Карпинского, выявлена «очаговая» кольцеобразная структура в рельефе поверхности «рефлективити» [22]. Она имеет сложную конфигурацию локальных возвышений, обрамляющих центральную «впадину», – участок резкого погружения поверхности «рефлективити» до глубины более 30 км (см. рис. 6). Вдоль правого берега Волги с юга на север также просматривается картина подобной структуры (рис. 7). Характерно, что и здесь отчетливо наблюдается связь положительных гравитационных аномалий (+4–8 мГал) с участками возвышений поверхности зоны интенсивной записи, а центральной «впадине» между ними соответствуют пониженные значения поля силы тяжести (его трансформант – до уровня 0–4 мГал). Очаговые области с водным флюидом ранее были зафиксированы на Южно-Татарском своде (см. рис. 2, а (ПК 25), рис. 2, б ($T_0 \approx 1-7$ с)). Можно полагать, что очаговые области флюидизации, наиболее вероятно, находятся в интрузивных телах основного состава (вода снижает прочность основных пород сильнее, чем кислых, что благоприятно для образования пор и трещин в этих массивах).

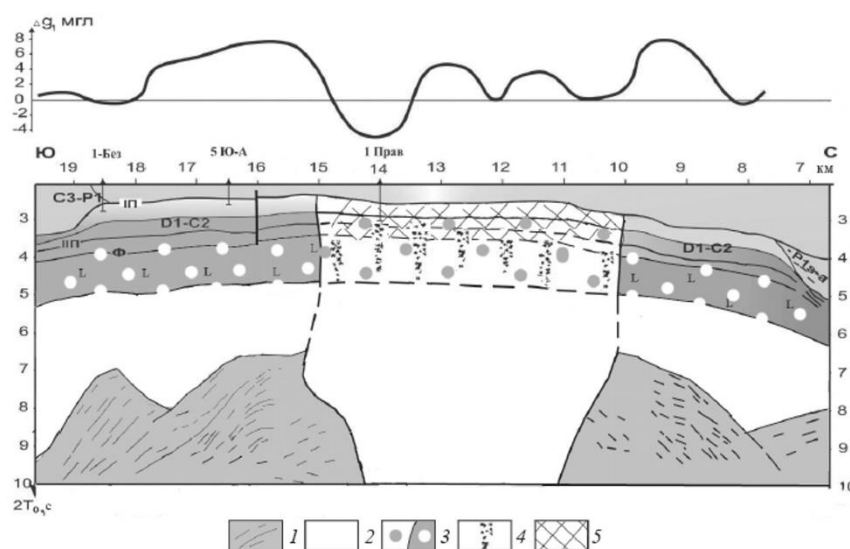


Рис. 7. Геодинамическая модель аномальной земной коры Астраханского свода:

1 – зона ориентированного пластического течения в нижней коре; 2 – зона однородной сейсмически прозрачной верхней коры, возможно, в аморфизованном состоянии в условиях насыщения флюидом; 3 – зона волновода в верхней «консолидированной» коре; 4 – участки разгрузки потоков глубинного флюида (зоны «аномальной сейсмической записи»); 5 – зона локальных хрупких дислокаций, повышенной проницаемости и гидротермальной проработки в осадочном подсолевом комплексе палеозоя – область разгрузки флюида и локализации скоплений УВ [21]

На рис. 8 представлены временные разрезы с областью слабоинтенсивной (рис. 8, а) и динамически интенсивной записи (рис. 8, б). По внешнему виду очаговые области прозрачной и интенсивной сейсмической записи схожи. Однако они могут отличаться по своей природе образования. Если область со слабоинтенсивной сейсмической записью однозначно определяется как трехмерное тело с газонасыщением, то для области с динамически интенсивной записью может быть два варианта интерпретации. Первый – когда массив содержит преимущественно флюид в жидкой фазе. Второй – это узел пересечения отражающих границ (поверхностей) – разрывных нарушений, который занимает горизонтальное положение в пространстве. В данном случае, учитывая, что под Ромашкинским месторождением (Южно-Татарский свод) по результатам гравиразведки было выделено плотное тело, первый вариант интерпретации предпочтительнее.

Волновая картина, соответствующая фазовой зональности флюида в земной коре, характерна также для Восточно-Сибирской архейской платформы (рис. 9). На рис. 9, а обращает на себя внимание присутствие под «газовой шапкой» в верхней части

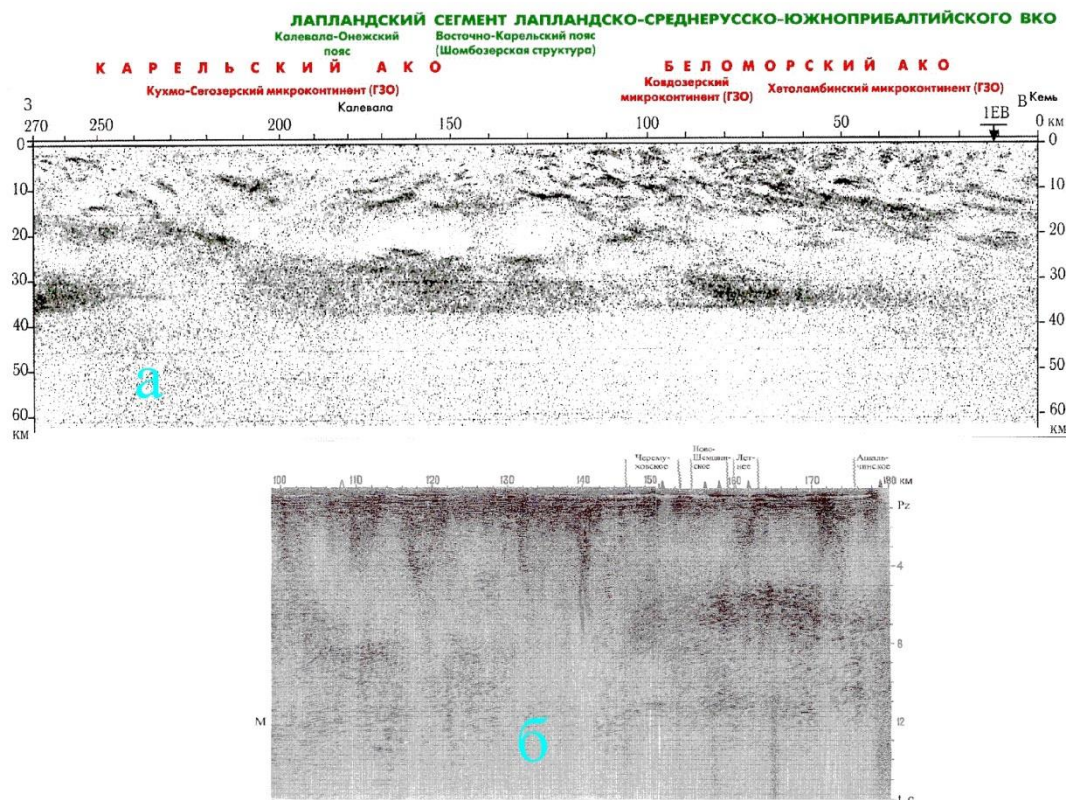


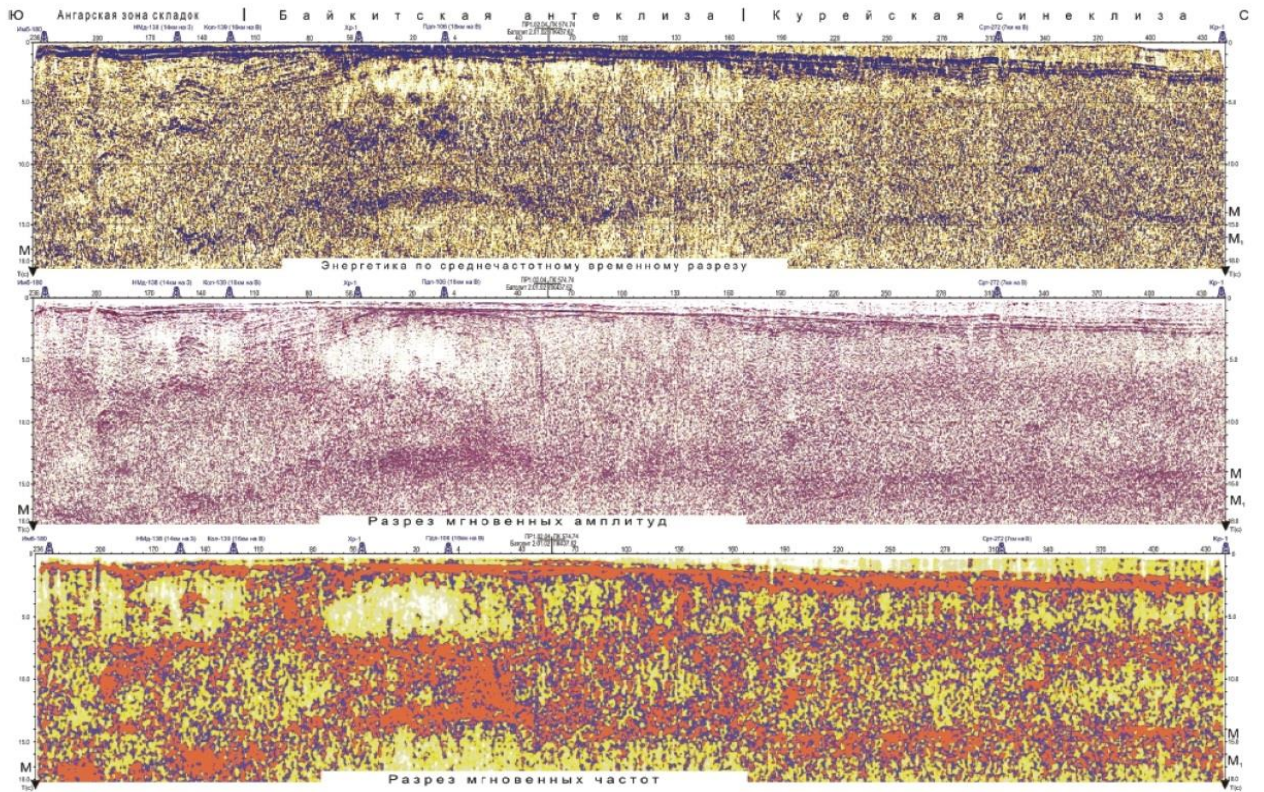
Рис. 8. Примеры областей прозрачной и динамически интенсивной сейсмической записи на временных разрезах МОГТ:

а – профиль рассечка 4В, сейсмический образ коры и верхней части литосферной мантии (мигрированный разрез); составили: Н.Г. Заможняя («Спецгеофизика») и М.В. Минц (ГИН РАН) по материалам ФГУ ГНПП «Спецгеофизика»; над разрезом показано положение главных тектонических подразделений, пересеченных профилем: красным цветом надписаны архейские, зеленым – палеопротерозойские тектонические структуры [23]; б – фрагмент временного разреза по региональному профилю 11 [24]

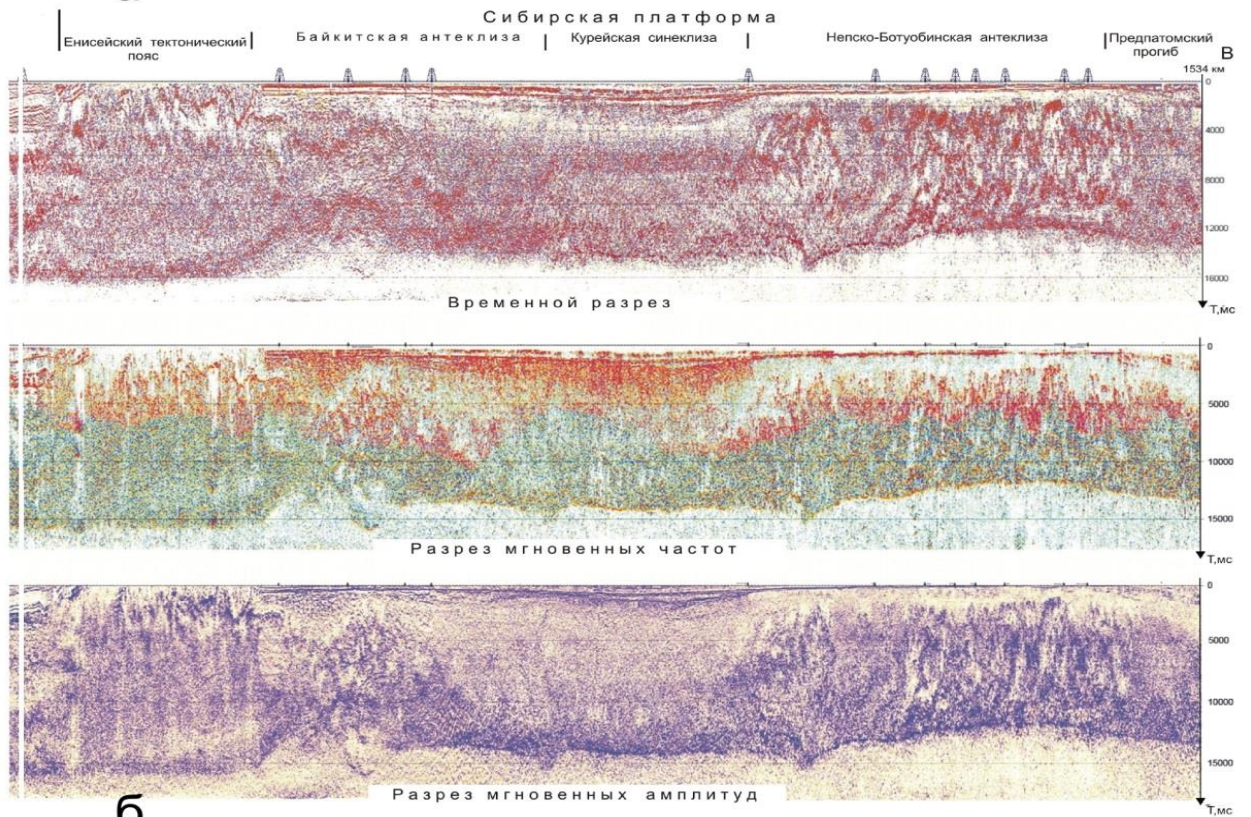
кристаллического фундамента еще одной области малоинтенсивной записи на границе Мохоровичича, что подтверждает преимущественно газовый состав флюида и его глубинный генезис.

Интересно отметить общую закономерность в отображении слабоинтенсивной и интенсивной сейсмических записей. Обычно они находятся на временном разрезе по соседству друг с другом. Схожая картина в распределении областей с высокими и низкими значениями V_p/V_s наблюдается на многих разрезах многоволнового ГСЗ, в особенности под нефтегазоносными бассейнами.

На другом профиле (рис. 9, б) волновая картина между Курейской синеклизой и Непско–Ботубинской антиклизой очень схожа с волновой картиной на временном разрезе по профилю Татсейс в районе Ромашкинского месторождения (см. часть 1, рис. 1).



а



б

Рис. 9. Строение земной коры и верхней мантии [25]:
 а – по опорному маршруту Алтай – Северная Земля; б – по геотранверсу Батолит – 1 СБ

На временном разрезе очень четко просматриваются вертикальные зоны слабоинтенсивной сейсмической записи. По-видимому, на границе Мохоровичича начинаются основные физико-химические реакции по образованию свободной воды, ее локализации и миграции вверх по разрезу.

На региональных профилях МОГТ вдоль границы Мохоровичича динамическая выразительность сейсмической записи достаточно изменчива, области с контрастной границей (см. рис. 8) чередуются с низко контрастными и областями слабоинтенсивной, прозрачной (см. часть 1, рис. 1) сейсмической записью. Как известно, V_p на границе Мохоровичича меняется незначительно, несмотря на то, что ей свойственна тонкая структура. В тоже время параметр V_p/V_s изменчив значительно сильнее и в нижней части коры еще значительнее, что дает основание полагать, что в верхней мантии, также как и в коре, существует разделение флюида по фазовому составу.

Все это свидетельствует о том, что формирование месторождений углеводородов и флюидной зональности консолидированной коры имеют общую генетическую основу – дегазацию Земли. Сопоставление рис. 1 (см. часть 1) и рис. 9 позволяет рассматривать особенности в картине тектонической и реологической расслоенности консолидированной коры как особенности строения резервуара для флюида.

Флюидная зональность консолидированной коры, выделенная по интенсивности сейсмической записи МОГТ, согласуется с результатами обобщения распределения значений параметра V_p/V_s , рассчитанных по данным многоволнового ГСЗ территории СССР. В работе [26] было показано (рис. 10), «что существует тесная корреляция между возрастом платформ, и типом зависимости $K(h)=V_{cp}/V_{cs}$ от мощности кристаллической коры (Н): значения V_{cp}/V_{cs} (V_{cp} и V_{cs} – средние значения V_p и V_s) в земной коре докембрийских платформ увеличиваются с ростом мощности коры (зависимости 1–3). Для эпипалеозойских плит (зависимости 4–6), герцинских и каледонских орогенных областей (7–8) отмечается обратное соотношение, но при равных значениях Н отношения V_{cp}/V_{cs} существенно различны».

Графики $K(h)$ интерпретируются как зависимости от содержания SiO_2 в земной коре. Тем больше содержания SiO_2 , тем меньше V_p/V_s . Поскольку графики 1–3 получены для консолидированной коры докембрийских платформ, а 4–8 – для фанерозойских структур, сделан вывод о том, что для древних платформ свойственно уменьшение содержания SiO_2 с увеличением мощности коры [26]. Графики $K(h)$ для фанерозойских

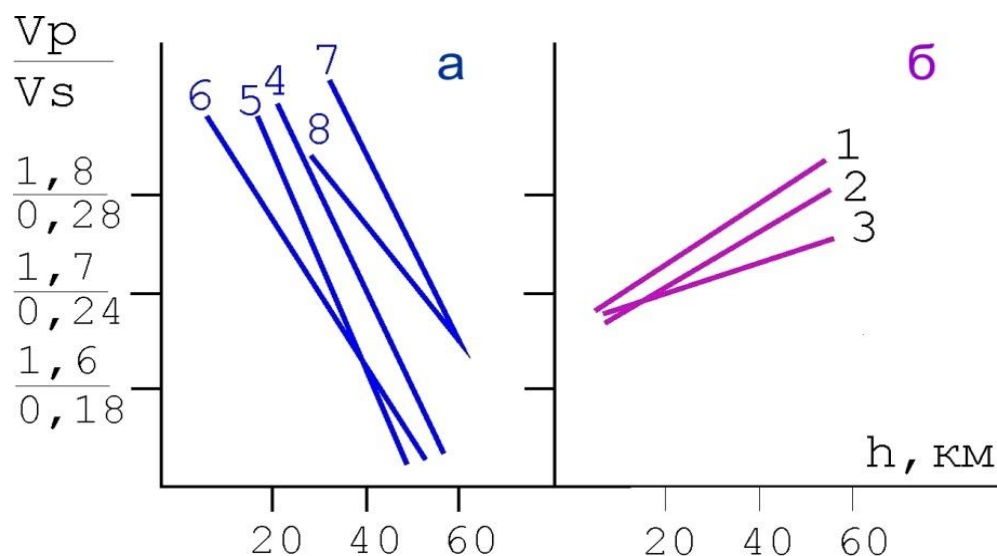


Рис. 10. Графики зависимости отношения средних скоростей продольных и поперечных волн (V_{cp}/V_{cs}) от мощности консолидированной коры, $K(h) = V_{cp}/V_{cs}$ [26]:
а – фанерозойские платформы; б – докембрийские платформы

и древних платформ почти параллельны между собой. Причем «параллельность» для фанерозойских плит выражена более четко и, следовательно, между ними большее подобие $K(h)$ по сравнению с докембрийскими платформами, что может рассматриваться как относительно более значительная однородность по упругим свойствам между плитами.

Обратный угол наклона графиков 1–3 и 4–8 может свидетельствовать о качественном преобразовании вещества нижней части земной коры. На древних платформах меньший угол наклона графиков, от низких значений V_{cp}/V_{cs} к относительно повышенным значениям, может интерпретироваться как результат завершившейся аккреции земной коры, ее гранитизации. Однако области тектонической активизации на древних платформах (например, Прикаспийская впадина) на графике $K(h)$ совпадают с графиками для фанерозойских плит, что свидетельствует только о частичном вкладе SiO_2 в изменения значений V_{cp}/V_{cs} .

Вторым более существенным фактором влияния на V_{cp}/V_{cs} оказывается изменение фазового состава флюида [27, 28]. Анализ графиков $K(h)$ с позиции дегазации–флюидизации позволяет рассматривать обратный наклон графиков $K(h)$ для фанерозойских и докембрийских платформ как проявление различия в изменении фазового состава флюида с глубиной: для фанерозойских платформ происходит относительное увеличение газовой составляющей в фазовом составе флюида, для

докембрийских платформ наблюдается обратная картина – с глубиной возрастает жидкая компонента в фазовом составе флюида.

Таким образом, флюидный фактор лучше объясняет горизонтальную зональность в интенсивности сейсмической записи с глубиной и зависимость изменения V_p/V_s для древних докембрийских платформ, чем литологический состав пород, а также реологическая расслоенность консолидированной коры.

Флюидная зональность позволяет по новому оценить влияние электромагнитного поля на физико-химические процессы в земной коре. Чередования слоев с преимущественно газосодержанием и водосодержанием (см. часть 1, рис. 1 и часть 2, рис. 9) создает в земной коре, включая границу Мохоровичича, мощный конденсатор (батарею). Изучение такой модели может способствовать решению фундаментальной проблемы концентрации рудных элементов, углеводородов и соответственно их месторождений. Еще одним направлением использования модели флюидной зональности земной коры могут стать исследования в области прогноза коровых землетрясений.

Общее заключение по частям 1 и 2

В верхней части консолидированной коры докембрийских платформ (Восточно-Европейская и Восточно-Сибирская платформы) осадочных бассейнов на глубинах 3–15 км расположена область малоинтенсивной сейсмической записи. Эта область интерпретируется как область, преимущественно насыщенная флюидом в газовой фазе.

Ниже по разрезу, вплоть до границы Мохоровичича, находится горизонтальная область интенсивной сейсмической записи (зона «рефлективности»), представленная преимущественно горизонтальными и субгоризонтальными отражающими поверхностями:

- Горизонтальные области малоинтенсивной и интенсивной сейсмической записи образуют региональную горизонтальную флюидную зональность консолидированной коры.
- Вертикальные области малоинтенсивной сейсмической записи консолидированной коры служат основными каналами восходящей миграции газообразного флюида в осадочный чехол.
- Вертикальные области интенсивной сейсмической записи могут являться зонами нисходящей миграции, пронизывающими верхнюю часть консолидированной коры и осадочный чехол.

- Зоны наклонных и листрических разрывных нарушений могут являться конвективными флюидными системами, каналами восходящей и нисходящей миграции флюидных потоков.

- Флюидная зональность нераздельно взаимосвязана с тектоническим строением литосферы. Контрастность горизонтальной флюидной зональности зависит от характера тектонической активизации, а также мощности и экранирующих свойств вышележащих пород.

- Зональность в распределении флюида в консолидированной коре непосредственно связана с тектоническими процессами, поэтому более корректным будет термин «флюидно-тектоническая зональность».

Как и во многих других геологических явлениях и процессах, во флюидно-тектонической зональности, с философской точки зрения, проявляется такое свойство геологической среды, как редупликация [27, 28]. Она заключается в частичном дублировании на новом этапе развития каких-либо базовых свойств. В данном случае, газовые шапки на месторождениях углеводородов по форме аналогичны области малоинтенсивной сейсмической записи в консолидированной коре.

Литература

1. *Вернадский В.И.* Избранные сочинения. Т. IV. Кн. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 651 с.
2. *Кузин А.М.* Пространственно-фазовая локализация месторождений углеводородов и отображение конвергентности процессов флюидизации в геологической среде по сейсмическим данным // Дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений. К 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина: Сб. тр. М.: ГЕОС, 2011. С. 276–301.
3. *Ушаков Г.Д., Ушаков М.Г.* Экспериментальное изучение рассеивания упругих волн на шероховатой границе раздела // Геология и геофизика. 1993. № 2. С. 103–111.
4. *Гарагаш И.А., Николаевский В.Н., Степанова Г.С.* Миграция и критерии аккумуляции углеводородов в системе тектонических разломов // ДАН. 1992. Т. 324, № 6, С. 1169–1174.
5. *Gough D.L.* Seismic reflectors, conductivity, water and stress in the continental crust // Nature. 1986. Vol. 323, № 11. P. 143–144.
6. *Кузин А.М.* Флюиды в классификации разрывных нарушений. Отображение фазового состава флюида в зонах разрывных нарушений в параметрах сейсмического

поля. Часть 1 // Актуальные проблемы нефти и газа 2016. Вып. 3(15). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-15.art4>

7. *Кузин А.М.* Флюиды в классификации разрывных нарушений. Отображение фазового состава флюида в зонах разрывных нарушений в параметрах сейсмического поля. Часть 2 // Актуальные проблемы нефти и газа 2016. Вып. 3(15). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-15.art5>

8. *Кузин А.М.* Флюиды в классификации разрывных нарушений. Отображение фазового состава флюида в зонах разрывных нарушений в параметрах сейсмического поля. Часть 3 // Актуальные проблемы нефти и газа. 2017. Вып. 1(16). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2017-16.art7>

9. *Гарагаш И.А.* Моделирование эволюции напряженного состояния земной коры в окрестностях очага дегидратации // Современная сейсмология: достижения и проблемы: Тез. докл. науч. конф. М., 1998. С.12–13.

10. *Кузин А.М.* Диалектика в интерпретации сейсмических данных // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы: Материалы Всерос. конф. М.: ГЕОС, 2008. С. 242–246.

11. *Шварцев С.Л.* Общая гидрогеология. М.: Недра, 1996. 425 с.

12. *Адушкин В.В., Родионов В.Н.* О природе механического движения в недрах Земли // Физика Земли. 2005. № 2. С. 88–91.

13. *Макаренко Ф.А., Ильин В.А., Кононов В.И., Поляк Б.Г.* Физическая модель подземной гидросферы // Гидрогеология и инженерная геология. М.: Наука. 1972. С. 15–24.

14. *Яковлев Л.Е., Поляк Б.Г.* Проблема формирования континентальной коры в свете взаимодействия «вода-порода» // Вертикальная аккреция земной коры: факторы и механизмы. Труды ГИНРАН. М.: Наука, 2002. Вып. 542. С. 323–355.

15. *Сакулина Т.С., Тихонова И.М., Крупнова Н.А., Павленкова Н.И.* Новые данные о типе и строении земной коры по результатам полевого эксперимента на опорном профиле 2–ДВ–М Магадан – Южные Курилы // Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования: Материалы Междунар. науч.-практ. семинара. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. С. 192–197.

16. *Готих Р.П., Писоцкий Б.И., Нургалиев Д.К.* Некоторые генетические аспекты формирования Ромашкинского нефтяного месторождения и его сателлитов // Отечественная геология. 2005. № 3. С. 3–11.

17. Геотраверс «ГРАНИТ»: Восточно-Европейская платформа – Урал – Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований) / Под ред. С.Н. Кашубина. Екатеринбург: Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Свердловской области, ФГУГП «Баженовская геофизическая экспедиция», 2002. 312 с.

18. Кузин А.М. Дегазация и методологические аспекты интерпретации данных сейсмического метода. Часть 1. Методологические положения // Пространство и время. 2015. № 1–2(19–20). С. 302–306.

19. Кузин А.М. Дегазация и методологические аспекты интерпретации данных сейсмического метода. Часть 2. Закономерности в геологической среде и интерпретация сейсмических данных // Пространство и время. 2015. № 3(21). С. 270–277.

20. Морозов В.Н., Каган А.И., Колесников И.Ю., Татаринцов В.Н. О континентальной нефти Камчатки // 2-е Кудрявцевские Чтения: Тез. докл. Всерос. конф. по глубинному генезису нефти и газа. М.: ЦГЭ, 2013.

21. Пыхалов В.В., Рихтер Я.А. Аномальная земная кора Астраханского свода // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Сер. Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 71–80.

22. Пыхалов В.В. Геодинамическая модель формирования земной коры и осадочного чехла Астраханского свода и ее значение для оценки фильтрационно-емкостных свойств карбонатных отложений по данным геофизических методов. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2009. 152 с.

23. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1–ЕВ, профилям 4В и Татсейс: В 2 т. + комплект цветных приложений. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2010. Вып. 4. 408 с. Приложения.

24. Трофимов В.А. Глубинные региональные сейсморазведочные исследования МОГТ нефтегазоносных территорий. М.: ГЕОС, 2014. 202 с.

25. Детков В.А., Вальчак В.И., Горюнов Н.А., Евграфов А.А. Особенности строения земной коры и верхней мантии юга Сибирской платформы в сечении опорных маршрутов Батолит и Алтай – Северная Земля // Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования: Материалы Междунар. науч. практ. семинара. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. С. 26–31.

26. *Егоркин А.В.* Многоволновые глубинные сейсмические исследования // Геофизика, 1996. № 4. С. 25–30.

27. *Кузин А.М.* Атомизм в естественном подходе изучения геосистем // Системный подход в геологии (теоретические и прикладные аспекты): Материалы IV Всерос. конф. Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: электрон. науч. журн. 2011. Вып 1(3). 3 с. <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 22.01.2019).

28. *Кузин А.М.* Целевой подход в анализе закономерностей локализации месторождений флюидного генезиса // Системный подход в геологии (теоретические и прикладные аспекты): Материалы IV Всерос. конф. Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: электрон. науч. журн. 2011. Вып 1(3). 3 с. <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 22.01.2019).

On the fluid zonality of the consolidated Earth's crust according to CDPM-DSS acquisition

Part 2. The continental crust (water content)

A.M. Kouzin

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences

e-mail: amkouzin@yandex.ru

Abstract. The article discusses the results of seismic observations, performed in areas with different geologic frameworks. Vertical and horizontal regions with different phase composition of the fluid are distinguished. The physical rationale for the interpretation of these zones is presented. Unlike earlier studies, it has been shown that the horizontal zonality of the consolidated Earth's crust is determined not only by the rheological lamination, but also by the phase composition of the fluid. The upper part of the consolidated crust has a predominantly gas composition, and the middle and lower crust has a saturated composition.

Keywords: seismic data, continental crust, reflected signal, scattering, fluid zonality, water content.

Citation: Kouzin A.M. On the fluid zonality of the consolidated Earth's crust according to CDPM-DSS acquisition. Part 2. The continental crust (water content) // Actual Problems of Oil and Gas. 2019. Iss. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art3> (In Russ.).

References

1. Vernadsky V.I. Selected works. Vol. IV. Book 2. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1960. 651 p. (In Russ.).
2. Kouzin A.M. Spatial-phase localization of hydrocarbon deposits, and seismic mapping of convergence of processes of fluidization in geological environment // Earth Degassing and Genesis of Oil Accumulations. On the 100th Anniversary of P. Kropotkin. Collected papers. Moscow: GEOS, 2011. P. 276–301. (In Russ.).
3. Ushakov D.G., Ushakov M.G. Experimental study of dilatation wave scattering at the rough interface," Russian J. Geol. Geophys. 1993. Vol. 34, No. 2. P. 98–106.
4. Garagsh I.A., Nilolaevsky V.N., Stepanova G.S. Migration and criteria of hydrocarbon accumulation of tectonic fault system // Proc. Acad Sci. 1992. Vol. 324. No. 6. P. 1169–1174.
5. Gough D.L. Seismic reflectors, conductivity, water and stress in the continental crust // Nature. 1986. Vol. 323, № 11. P. 143–144.
6. Kouzin A.M. Fluids and classification of fractures. Presentation of the fluid content of the fracture zones in parameters of seismic field. Part 1 // Actual Problems of Oil and Gas. 2016. Iss. 3(15). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-15.art4> (In Russ.).

7. *Kouzin A.M.* Fluids and classification of fractures. Presentation of the fluid content of the fracture zones in parameters of seismic field. Part 2 // Actual Problems of Oil and Gas. 2016. Iss. 3(15). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-15.art5> (In Russ.).
8. *Kouzin A.M.* Fluids and classification of fractures. presentation of the fluid content of the fracture zones in parameters of seismic field. Part 3 // Actual Problems of Oil and Gas. 2017. Iss. 1(16). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2017-16.art7> (In Russ.).
9. *Garagash I.A.* Modeling evolution of stress-strain state of the Earth's crust near dehydration source // Modern seismology: achievements and problems: Proceedings of a Scientific Conference. Moscow, 1998. P.12–13. (In Russ.).
10. *Kuzin A.M.* Dialectic in seismic data interpretation // Earth degassing: geodynamics, geofluids, oil, gas and their parageneses: Proceedings of the Russian National Conference. Moscow: GEOS, 2008. P. 242–246. (In Russ.)
11. *Shvartsev S.L.* General hydrogeology. Moscow: Nedra, 1996. 425 p. (In Russ.).
12. *Adushkin V.V., Rodionov V.N.* An example of the mechanical motion in the Earth's interior // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2005. No. 2. P. 88–91. (In Russ.).
13. *Makarenko F.A., Il'in V.A., Kononov V.I., Polyak B.G.* Physical model of the subsurface hydrosphere // Hydrogeology and engineering geology. Moscow: Nauka, 1972. P. 15–24. (In Russ.).
14. *Yakovlev L.E., Polyak B.G.* Problem of the Earth's crust formation in relation to water-rock interaction // Vertical accretion of the Earth's crust. Proceedings of GIN RAS. Vol. 542. Moscow: Nauka, 2002. P. 323–355. (In Russ.).
15. *Sakulina, T.S., Verba, M.L., Ivanova, N.M., Krupnova, N.A., Belyaev I.V.* Deep structure of the north Barents-Kara Region along 4-AR transect (Taimyr Peninsula – Franz Joseph Land) // Models of the Earth's crust and upper mantle by deep seismic profiling: Papers of the International Symposium. Saint Petersburg: VSEGEI, 2007. P. 192–197. (In Russ.).
16. *Gottikh R.P., Pisotsky B.I., Nurgaliyev O.K., Zhuravlyov O.Z.* Some genetic aspects of Romashkinskoye oil field and its satellites formation // Otechestvennaya geologiya. 2005. No 3. P. 3–11. (In Russ.).
17. Geotraverse «Granite»: East European Platform - Ural - West Siberia (Crustal Structure on the Results of Complex Geological-Geophysical Studies) / Ed. Kashubin S.A.. Yekaterinburg: Chief Administration for Mineral Resources and Environment Ministry of

Natural Resources of Russia for Sverdlovsk Region Publisher, Bazhenov Geophysical Expedition Publisher, 2002. 312 p. (In Russ).

18. *Kouzin A.M.* Degassing and methodological aspects of seismic data interpretation. Part 1. Methodological provisions // *Space and Time* 2015. No. 1–2(19–20). P. 302–306. (In Russ.).

19. *Kouzin A.M.* Degassing and methodological aspects of seismic data interpretation. Part 2. Regularities in Geological Environment and Seismic Data Interpretation // *Space and Time*. 2015. No. 3(21). P. 270–277. (In Russ.).

20. *Morozov V.N., Kagan A.I., Kolesnikov I.Yu., Tatarinov V.N.* Onshore oil of Kamchatka /// 2nd Kudryavtsev Readings: Theses of All-Russian Conference on the Deep Genesis of Oil and Gas. Moscow: CGE, 2013. (In Russ.).

21. *Pykhalov V.W., Richter Y.A.* The Anomalous Crust of the Astrakhan Arch // *Izvestiya of Saratov University. New series. Series: Earth Science*. 2014. Vol. 14, Iss. 1. P. 71–80. (In Russ.).

22. *Pykhakov V.W.* Geodynamic model of the Earth's cover and sedimentary cover of the Astrakhan Arch and its importance for the evaluation of reservoir properties of carbonate sediments according to geophysical methods. Astrakhan: ASTU, 2009. 152 p. (In Russ.).

23. Deep structure, evolution and mineral resources of the early Precambrian basement of the East European platform. Interpretation according calibration profile 1–EV and profiles 4V and Tatseis. In 2 vol. + color supplements. Moscow: GEOKART, GEOS. 2010. Vol. 4. 408 p. Supplements. (In Russ.).

24. *Trofimov V.A.* Deep regional seismic CDP studies of oil and gas areas. Moscow: GEOS. 2014. 2002 p. (In Russ.).

25. *Detkov, V.A., Valchak, V.I., Goryunov, N.A., Evgrafov, A.A.* Some features of the earth's crust and upper mantle structure of the southern part of the Siberian platform in Batolit and Altai – Severnaya Zemlya sections // *Models of the Earth's crust and upper mantle by deep seismic profiling: Papers of the International Symposium*. Saint Petersburg: VSEGEI, 2007. P. 26–31 (In Russ).

26. *Egorkin, A.V.* Multiwave deep seismic research // *Geophysics*. 1996. No. 4. P. 25–30. (In Russ.).

27. *Kouzin A.M.* Atomism in the natural approach to the studying of geosystems // *System approach in geology (aspects of theory and application): Proceedings of the 4th All-Russian*

Conference. Georesources, Geoenergetics, Geopolitics. 2011. Iss. 1(3). 3 p. <http://www.oilgasjournal.ru> (Accessed on 22.01.2019). (In Russ.).

28. *Kouzin A.M.* Purposive approach to analyzing of the principles of localization of deposits of fluid genesis // System approach in geology (aspects of theory and application): Proceedings of the 4th All-Russian Conference. Georesources, Geoenergetics, Geopolitics. 2011. Iss. 1(3). 3 p. <http://www.oilgasjournal.ru> (Accessed on 22.01.2019). (In Russ.).