

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

Часть 1. Континентальная кора (газораспределение)

А.М. Кузин
ИПНГ РАН
e-mail: amkouzin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются результаты сейсмических наблюдений МОГТ и ГСЗ, выполненные в районах с различным геологическим строением. 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. Выделена флюидная зональность в разломах. 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, газораспределение.

Для цитирования: Кузин А.М. О флюидной зональности консолидированной земной коры по данным наблюдений МОГТ-ГСЗ. Часть 1. Континентальная кора (газораспределение) // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art2>

Введение

Флюидная зональность в земной коре, в основном, изучается в гидрогеологии, которая фактически охватывает все аспекты содержания воды в недрах. В то же время вопросы зональности земной коры по преимущественно фазовому составу в гидрогеологии не рассматривались.

Основные положения и концепции гидрогеологии [1].

I. *Строение воды.* 1. Вода отличается от других природных соединений необычно сложным строением. 2. Вода обладает исключительным многообразием и непрерывной изменчивостью структуры по мере изменения внешних факторов (Т, Р, количества воды, концентрации химических соединений, физических полей и т.д.). Структура воды меняется в пространстве при переходе от одного химического типа или вида к другому, от грунтовых вод к артезианским, от пленочных к гидроскопическим, от горячих к холодным.

II. *«Всюдность» [2] воды.* Способность воды в разных формах и фазовых состояниях проникать во все без исключения земные образования.

III. *Геологически вечная подвижность воды.* Движение воды многообразно и проявляется в многочисленных круговоротах. Главная форма движения воды – это ее перемещение вместе с горной породой или, точнее, – вместе с геологической средой.

IV. *Водообмен* – любые виды подземных вод непрерывно взаимодействуют с горными породами, газами. С увеличением времени взаимодействия меняется характер взаимодействия в самой системе «вода–порода–органическое вещество»: изменяется соотношение выносимых водой и накапливаемых химических элементов, трансформируется характер геологической среды, меняются фильтрационные параметры горных пород, меняется направленность эволюционного развития всей системы.

V. *Разнообразие видов и форм проявления воды.* Вода не просто заполняет какую-либо пустоту, но, двигаясь и взаимодействуя с водовмещающим веществом, меняет форму тела, перестраивает и видоизменяет его. Противоречие между стремлением воды заполнять какой-либо объем и одновременно его видоизменять определяет развитие в неживой природе.

VI. *Диссимметрия в положении гидросферы на Земле.* В северном полушарии резко доминирует суша, а в южном — океан. Это отражается на диссимметричном распределении воды по глубине в земной коре и мантии. Диссимметрия положения воды на поверхности земли проявляется в истории всей гидросферы, глубинном строении недр, многих других геологических явлениях.

VII. *Водное равновесие земной коры.* Вся земная кора сплошь пронизана разными формами воды, которые связаны между собой многими физическими, химическими и другими явлениями и процессами. Из водного равновесия земной коры В.И. Вернадским был сделан вывод о том, что вся земная кора пронизана разными формами воды, которые связаны между собой многими физическими, химическими и другими явлениями и процессами [2]. В земных недрах нет полностью изолированных водных масс, не связанных с другими типами или формами воды.

VIII. *Единство природных вод.* Все природные воды, где бы они не находились, всегда связаны между собой и представляют единое целое. По В.И. Вернадскому [2, с. 16] это определяется двумя основными явлениями: 1) чрезвычайно легким переходом воды в термодинамических условиях земной коры из одного фазового состояния в другое, 2) постоянным присутствием в воде газовых компонентов – природная вода всегда газовый раствор.

Из приведенных положений и концепций очевидно, что отображение флюидного образа земной коры и различий его по фазовому составу в геофизических полях является не менее показательным, чем вещественный состав коры. Флюидную систему консолидированной земной коры континентов составляет порово-трещинное пространство и межзерновые промежутки пород. В составе флюидов преобладают вода и углекислота, причем последняя особенно в нижних частях коры [3].

Присутствие значительной доли газов установлено для различных типов рудных месторождений. Среди газовых компонентов ведущую роль играет углекислота, обнаруженная в 90% флюидных включений минералов гидротермального генезиса, на втором месте – метан, третье занимает азот, значительно реже обнаруживаются H_2S , C_nH_m (при этом H_2 и CO встречаются еще реже) [4].

Особенности фазового состава флюида находят четкое отображение в параметрах и характеристиках сейсмического поля, поэтому сейсмический метод может служить одним из основных методов изучения дегазации и флюидизации геологической среды.

Области слабоинтенсивной сейсмической записи

На всех временных разрезах региональных профилей МОГТ на временах регистрации, соответствующих верхней части консолидированной коры, фиксируются области слабоинтенсивной (прозрачной) записи. Обычно эти области по форме бывают горизонтальными и вертикальными (рис. 1 [5]). Как ранее, так и в настоящее время горизонтальные области, соответствующие бледной записи, связывают с гранитными массивами.

Такая интерпретация вызвана тем, что гранитные массивы преобладают среди других пород в верхней части консолидированной коры (кристаллического фундамента) и, как и другие интрузивные массивы пород, могут быть представлены в поле отраженных волн областями слабо интенсивной сейсмической записи.

Однако интенсивные отраженные волны наблюдаются как в гранитных массивах (рис. 2, б), так и в интрузивных телах другого состава (рис. 2, в): в качестве примеров можно привести Украинский кристаллический щит, в частности Кировоградский, Новоукраинский тектонические блоки, Зерендинский массив в Северном Казахстане и его обрамление [6, 7]. А области малоинтенсивной записи фиксируются в массивах безгранитных пород.

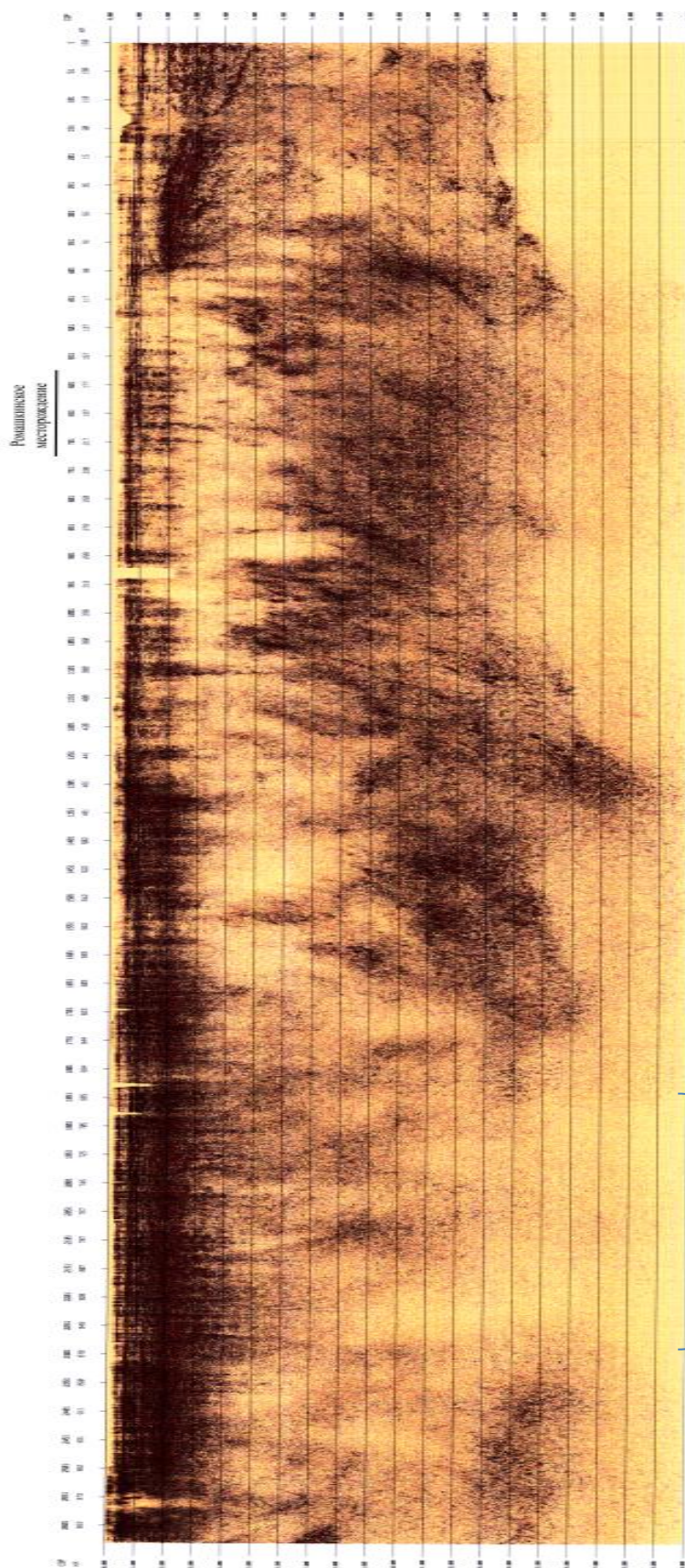


Рис. 1. Фрагмент временного мигрированного разреза по геотраверсу Татсейс, длина записи 20 с, ПК, км; над разрезом показана протяженность по профилю Ромашкинского месторождения [5]

**ОБЛАСТЬ МАЛОИНТЕНСИВНОЙ
ЗАПИСИ, УХОДЯЩАЯ В МАНТИЮ**

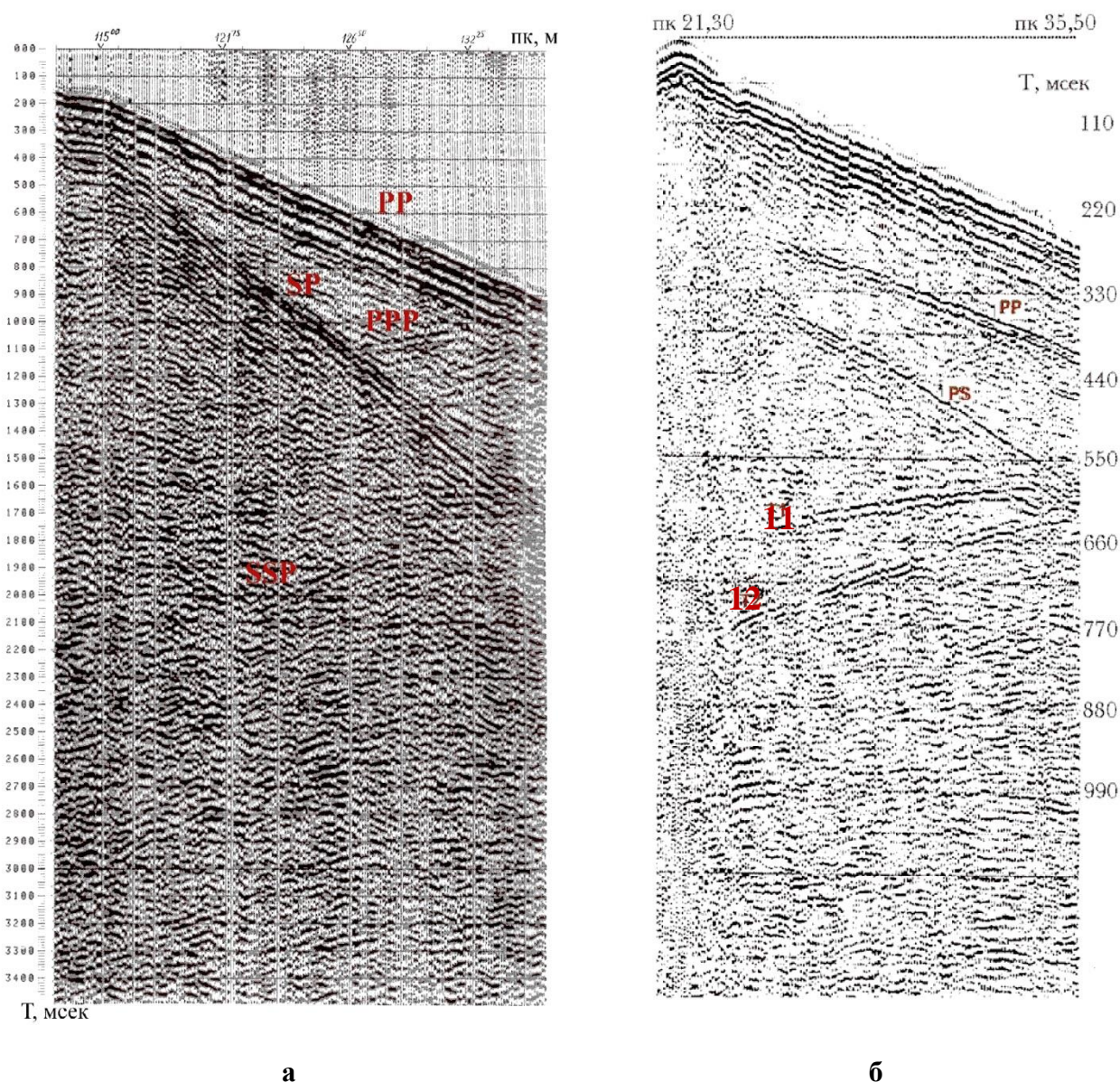


Рис. 2. Примеры сейсмограмм, полученные в рудных районах:

а – сейсмограммы МОВ, полосовая фильтрация 20–70 Гц, ПК, м, Кировоградский тектонический блок Украинского кристаллического щита [6], полевые наблюдения выполнены на гранитоидном массиве, индексами Р и S обозначены преломленные и отраженные волны от разрывных нарушений; б – сейсмограммы с высокочастотными продольной (PP) и обменной (PS) отраженными волнами, полосовая фильтрация 60–70 – 300–400 Гц. Т, мс, ПК, м, Северный Казахстан [6], полевые наблюдения выполнены в пределах массива габброидов, индексами Р и S обозначены отраженные волны от разрывных нарушений, цифры 11 и 12 – отраженные волны от одной границы, меняющей наклон по падению

Физически обоснованной и универсальной моделью при интерпретации природы областей слабоинтенсивной сейсмической записи является модель, в которой рассеяние

упругой энергии волны обеспечивает преимущественное содержание в горной породе флюида в газовой фазе, другими словами, чем больше в горной породе газа, тем больше рассеяние (меньше влаги).

Горизонтальные или изометричные по форме области слабоинтенсивной записи нередко фиксируются в кровле залежей углеводородов (рис. 3, а) и интерпретируются как газовые шапки [8, 9]. Накопление «газовой шапки» может быть объяснено тем, что осадочные породы способны выдерживать большие деформации, не теряя сплошности вплоть до 20%-ой деформации [10], при этом присутствие влаги будет способствовать увеличению пластичности. Следовательно, пластичность пород осадочного чехла создает благоприятные условия не только для экранирования теплового потока, но и для аккумуляции газов. Вертикальные области слабоинтенсивной записи широко представлены в осадочном чехле Западно-Сибирской платформы и представляют собой разрывные нарушения заполненные газом (рис. 3, б).

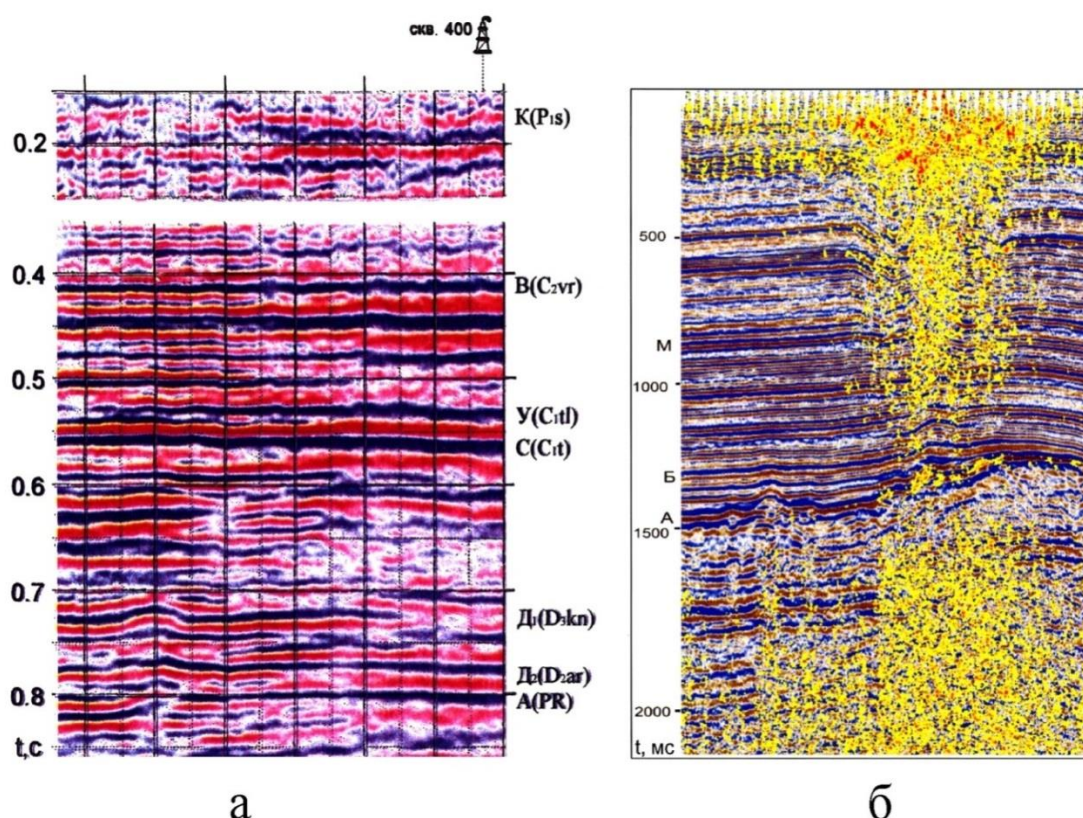


Рис. 3. Примеры слабоинтенсивной записи (прозрачной) на временных разрезах МОГТ: а – временной мигрированный разрез, малоинтенсивная сейсмическая запись в пределах залежи углеводородов, Южно-Татарский свод (по материалам Татнефтегеофизика), C(C1t) – индексы отражающих горизонтов; б – временной разрез, Западная Сибирь, Приуральская НГО, Краснотеннинский свод, нефтегазоконденсатное месторождение, динамически слабоинтенсивная аномалия (желтый цвет) сейсмической записи (по материалам С.Р. Бембеля, 2011) [7]

Очевидно, что газ в абсолютном большинстве случаев в подобные области поступает из консолидированной коры. Эти поступления нередко связаны с зонами гидротермально-метасоматических пород. С зонами высокотемпературных гидротермально измененных пород часто совпадают области бледной записи (области рассеяния отраженных волн). Эти области свидетельствуют о преобладающем присутствии во флюиде газовой фазы. Одним из проявлений высокотемпературных гидротермально-метасоматически измененных пород являются натриевые метасоматиты, в которых наблюдается катаклаз, часто называемый «массовым» или «объемным» [11]. Натриевые метасоматиты характеризуются: протяженностью на десятки и сотни километров; принадлежностью к зонам глубинных разломов мантийного заложения; содержанием в заметных количествах водорода и углеводородов; изометричной или эллипсовидной в плане и нередко воронкообразной (или каплевидной) в разрезе формой альбититовых тел. Многие зоны гидротермально-метасоматически измененных пород представлены областями слабоинтенсивной записи – вертикальными, горизонтальными и изометричными по форме (рис. 4, а). В качестве примера вертикальных зон слабоинтенсивной записи в рудных районах можно назвать алмазоносные трубки взрыва (рис. 4, б и рис. 5).

Горизонтальная и вертикальная флюидная зональность может на локальном уровне, в пределах рудных полей и месторождений, проявляться на месторождениях полезных ископаемых флюидного генезиса. На рис. 6 представлен сейсмо-геологический разрез, проходящий через рудную залежь. По данным акустического каротажа (рис. 6, а) скважины (скв. 1200), пробуренной в центральной части профиля, зоны субгоризонтальных разрывных нарушений значительно различаются: V_p/V_s меняется от аномально низких в верхней части разреза ($H = 450$ м) к повышенным в нижней части разреза ($H = 720$ м). Аномально-низкие значения V_p/V_s для границы на глубине 450 м объясняются газонасыщением, а на глубине 720 м, в зоне разрывного нарушения, повышенные значения V_p/V_s связаны с водонасыщением (рис. 6, б). В рудной геологии газовая фаза флюида рассматривается как специфический, долгоживущий в геологическом времени след рудообразования [12]. Очевидно, что это положение распространяется на магматические (интрузивные) тела – тогда области слабоинтенсивной сейсмической записи, связанные с интрузивными массивами пород, могут рассматриваться как одно из проявлений газосодержания в консолидированной коре.

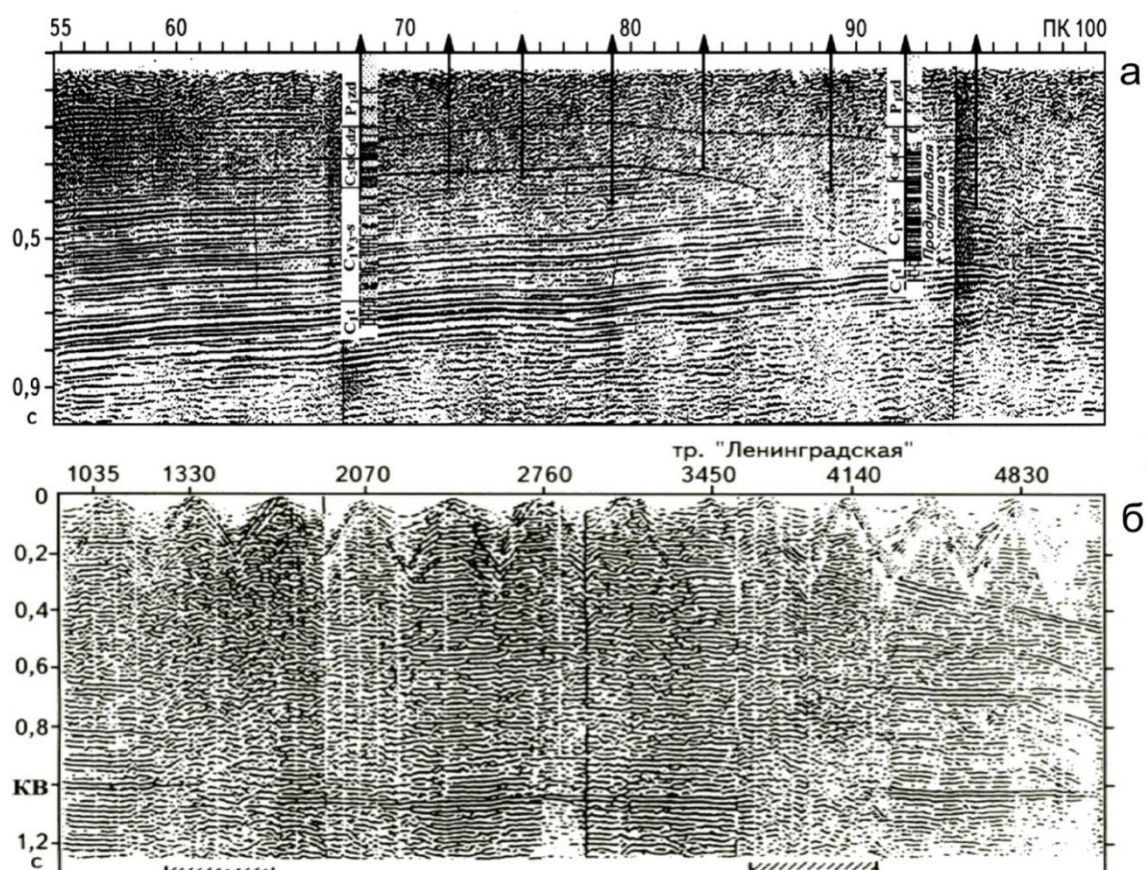


Рис. 4. Примеры временных разрезов, полученные в рудных районах:
а – временной разрез МОГТ по профилю, проходящему через зону медистых песчаников (по Ф.А. Хабибуллину), Джезказганское месторождение; б – временной разрез по профилю, пересекающему кимберлитовую трубку «Ленинградская» [13]

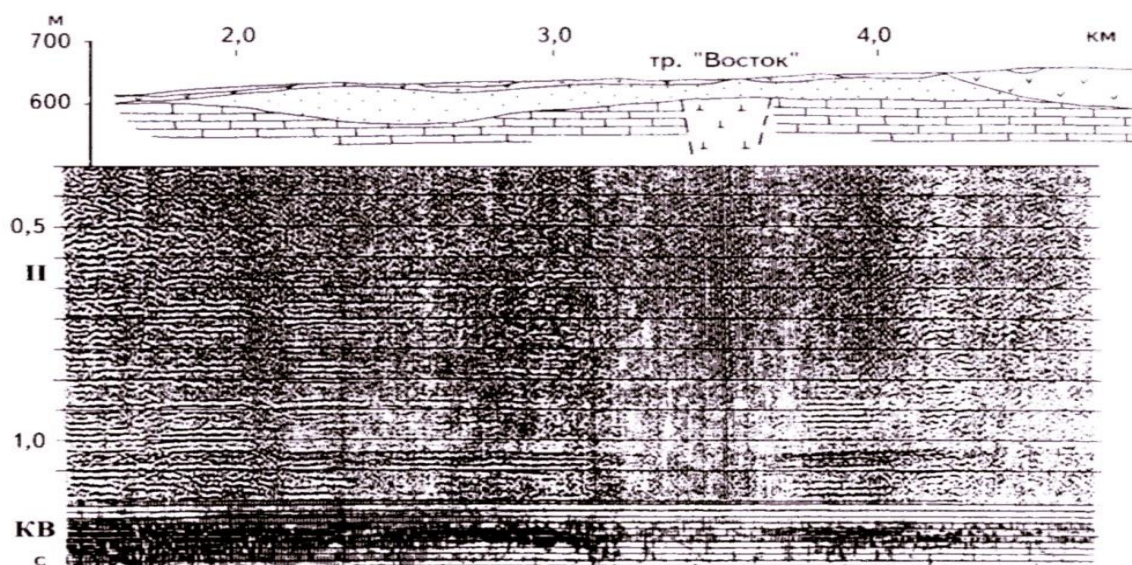


Рис. 5. Схематический, геологический и временной разрезы по профилю, пересекающему кимберлитовую трубку «Восток» (по О.И. Калинин) [13]

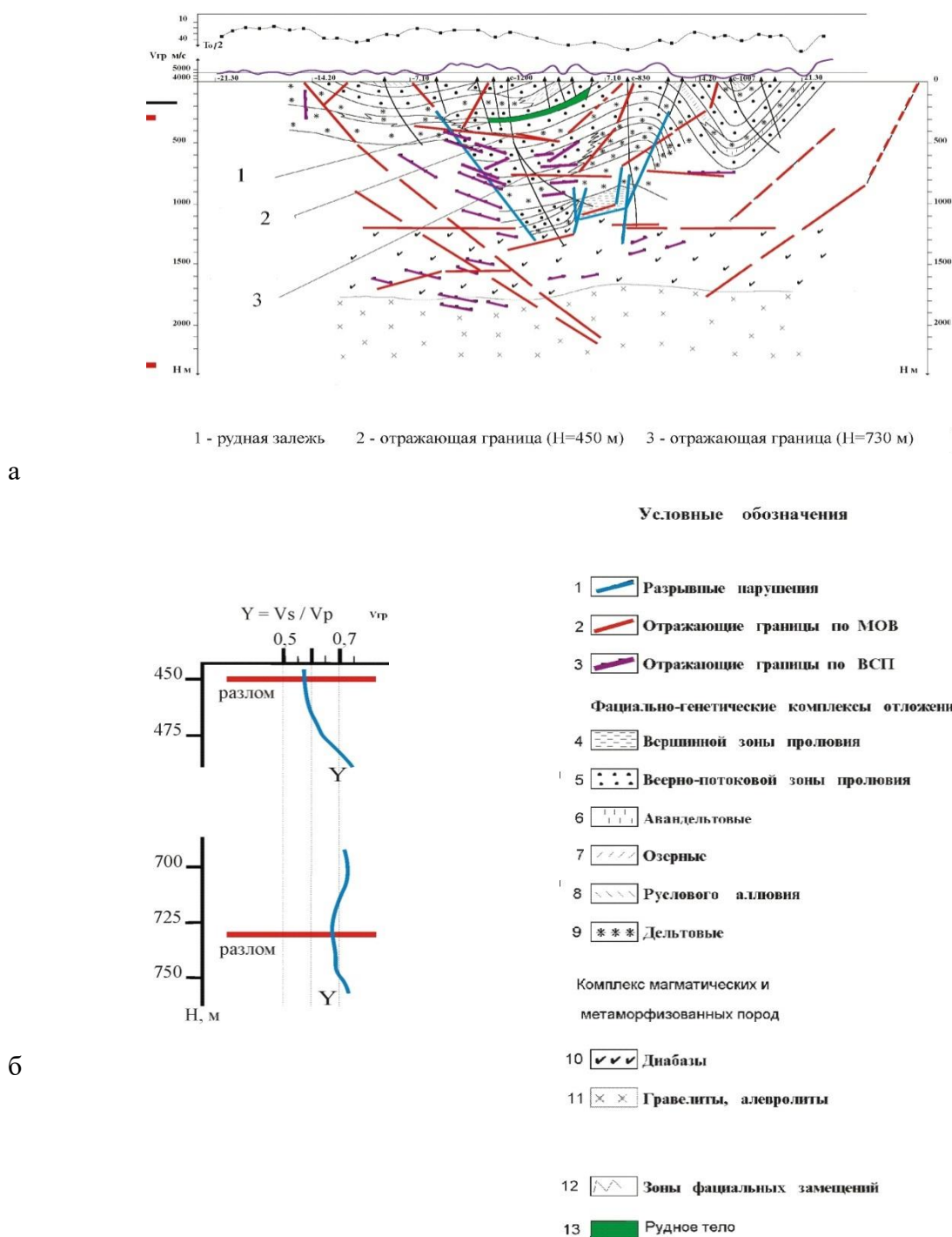


Рис. 6. Сейсмо-геологический разрез, проходящий через рудную залежь:
 а – сейсмогеологический разрез по данным высокочастотных наблюдений МОВ, Северный Казахстан, Абайское урановое месторождение (по материалам Степгеология, 1987 г.), над разрезом помещены графики $T_0/2$ и V_g ; б – графики отношения $\gamma = V_s/V_p$, вычисленные по данным акустического каротажа (скважина № 1200)

Причиной образования зон слабоинтенсивной записи в консолидированной коре и массивах пород, подвергнувшихся гидротермально–метасоматическим изменениям,

вероятно, может являться газовая «дистилляция», когда в процессе двухфазной фильтрации происходит закономерное гидродинамическое расщепление фаз с обогащением фронтальных частей флюидных потоков газовой фазой [14]. В верхних частях гетерофазных флюидных систем должна формироваться «газовая шапка», обогащенная слабо взаимодействующими с водой газами. В относительно закрытых флюидных системах со слабо проницаемыми экранами возможно длительное квазистационарное присутствие «газовой шапки». Для тонкопористых сред в экспериментах наблюдались пространственная и временная осцилляции газонасыщенности, а также величин потоков флюидных фаз, что, по-видимому, связано с задержкой и накоплением газовой фазы. Это явление – коалесценции газовых пузырей и оттеснения жидкой фазы – позволяет объяснить возможность длительного существования блоков, пластов и линз пород с поровым, преимущественно газового заполнения пространством. С газовой «дистилляцией» может быть связано существование газовых струй, обогащенных инертными газовыми компонентами (азотом, гелием и т.п.) [14].

О возможных факторах, влияющих на формирование горизонтальной области слабоинтенсивной сейсмической записи на временном разрезе

Очевидно, что образование горизонтальной зоны слабоинтенсивной сейсмической записи должно зависеть от интенсивности восходящего газового потока, его экранирования, литологического состава пород, а для отдельных горизонтов – от резкого различия акустических жесткостей контактирующих пород. О влиянии литологического состава пород как главной причины образования слабоинтенсивной сейсмической записи было упомянуто выше. Интрузивные тела магматических пород действительно могут представлять собой области малоинтенсивной записи, когда трещинно-пористое пространство преимущественно заполнено газом. Особенно контрастно интрузивные тела проявляются в сейсмическом поле при внедрении в толщу осадочных пород.

Об интенсивности газовыделения свидетельствуют данные по скважинам, пробуренным в кристаллическом фундаменте. При бурении финской скважины Оутокумпу получены данные о присутствии в толще кристаллических пород архейского фундамента весьма значительных скоплений газов. На глубине 1000 м из одного литра промывочной жидкости выделилось 900 мл газа, имеющего следующий состав: CH_4 – 570 мл/л; N_2 – 302 мл/л; He – 11,7 мл/л; H_2 – 93 мл/л; O_2 – 15,6 мл/л; Ar – 2,4 мл/л; + CO_2 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_3H_6 , C_3H_8 газов [15]. Причем ниже глубины 1500 м газовыделение отсутствует, что дает основание предполагать горизонтальную миграцию флюидов и

существование пластов-экранов флюидов. В качестве подтверждения тезиса об экранировании и горизонтальной миграции газообразного флюида в кристаллическом фундаменте может служить геотраверс 1–ЕВ. Геотраверс 1–ЕВ с севера на юг от Балтийского щита до Астраханского свода пересекает Восточно-Европейскую платформу. В данном случае представляют интерес интервалы профиля от Печенги до Мончегорска (рис. 7, А), от Кандалакши до Кеми (рис. 7, Б) и от Кеми до Медвежьегорска (рис. 7, В), в интервале расстояния по профилю, возрастает мощность осадочного чехла и увеличивается дифференциация временного разреза по интенсивности. При рассмотрении временных разрезов можно заметить, что с севера на юг отдельные области бледной записи (см. рис. 7, Б, Прил. V–2) постепенно погружаются вглубь коры, сплошная область слабоинтенсивной записи начинает фрагментироваться на отдельные области с наиболее прозрачной сейсмической записью. И на последнем интервале (см. рис. 7, В, Прил. V–2) размер и количество отдельных областей увеличивается, они сливаются в горизонтальную протяженную область.

Этим подтверждается предположение о существенной роли экранирования (в данном случае осадочными породами) для образования горизонтальной области слабоинтенсивной сейсмической записи. В начале профиля (см. рис. 7, А, Прил. V–1) обращают на себя внимание короткие и интенсивные фрагменты отражений, по внешнему виду напоминающие залегающие в кровле газовых залежей пласты экранирующих пород. В данном случае экранами выступают, судя по их интенсивности, открытые разрывные нарушения [7, 16, 17].

На рис. 8 представлен временной разрез, проходящий через трубку взрыва. В районе ПК 150 волновое поле характеризуется относительно спокойным, без резких перепадов и нарушений залеганием осадочного чехла. В то же время, в верхней части фундамента выделяется отчетливая синформа протяженностью около 30 км и глубиной до 600 м. Местоположение синформы сопровождается локальным гравитационным минимумом. На этом же участке в районе ПК 153 проявлена структура «проседания», характерная для внедрения трубок взрыва.

Здесь важно отметить два существенных момента. Первый – это присутствие четко выраженной горизонтальной области слабоинтенсивной сейсмической записи между ПК 110 и ПК 200 в верхней части осадочного чехла, приуроченной к антиклинальной структуре и тем самым подтверждающей «газовую» природу области бледной записи.

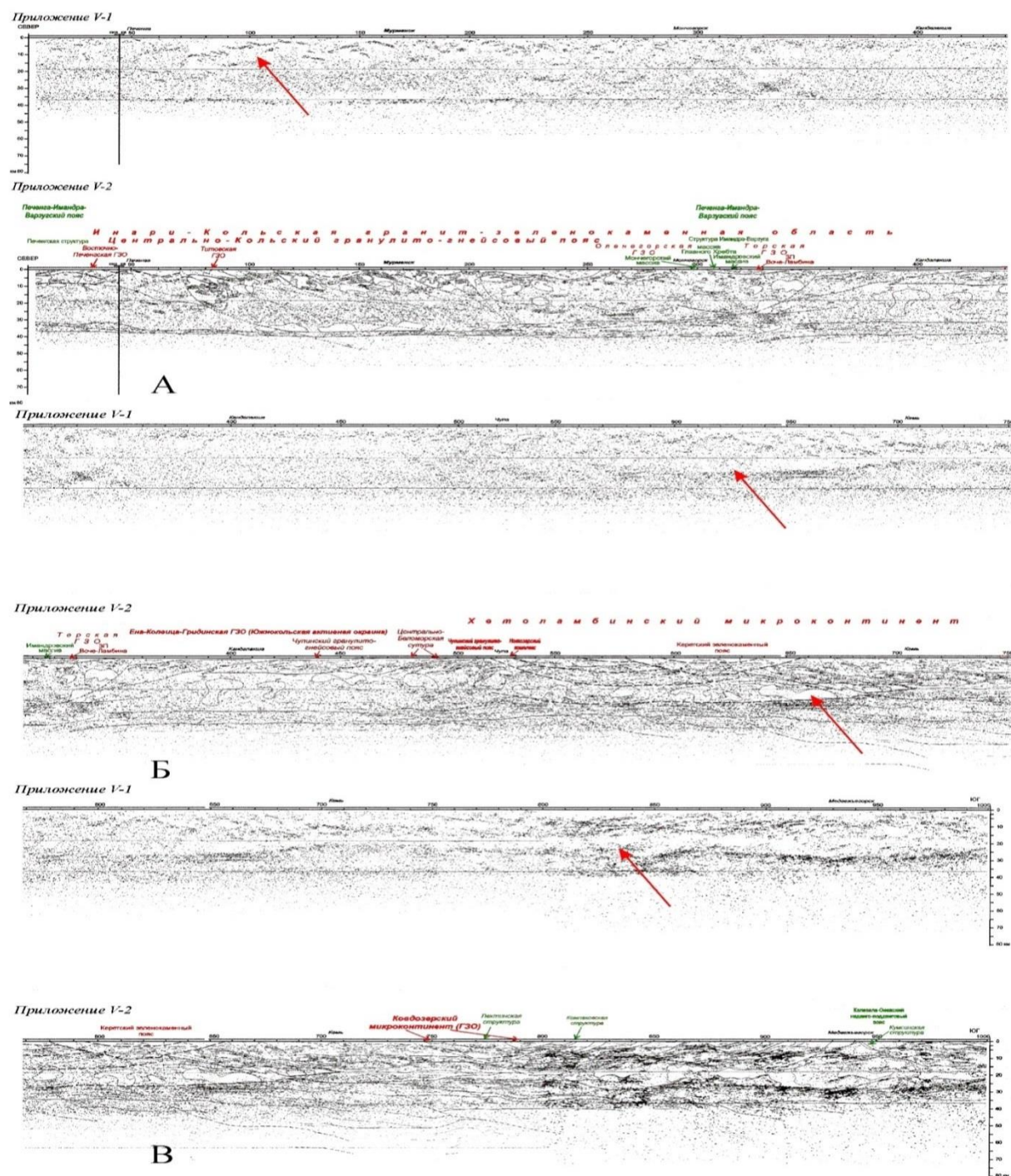


Рис. 7. Опорный профиль 1-ЕВ, Восточная часть Фенноскандинавского щита: А – в интервале 0–430 км. Б – в интервале 410–750 км. В – в интервале 1060–1270 км; Приложение V-1 – сейсмический образ коры и верхней части литосферной мантии, мигрированный разрез МОГТ [18]; Приложение V-2 – сейсмический образ коры и верхней части литосферной мантии, мигрированный разрез МОГТ, совмещенный с границами структурных доменов, геологическими и тектоническими границами; показано положение главных тектонических подразделений: красным цветом подписаны архейские, зеленым – палеопротерозойские тектонические структуры [18], красными стрелками показаны области слабо интенсивной записи

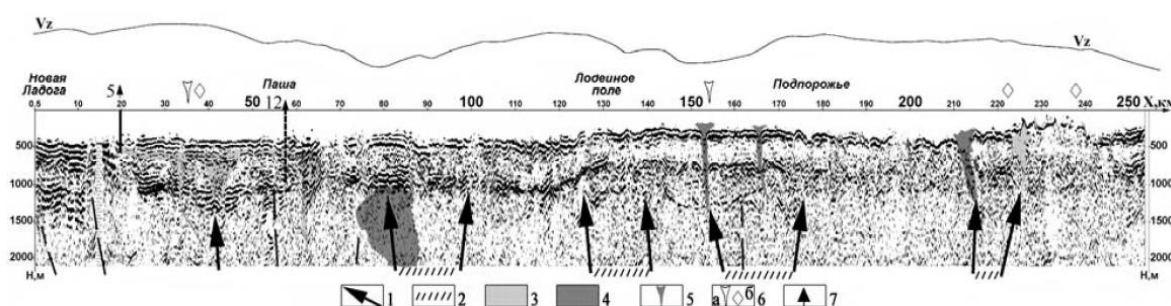


Рис. 8. Интерпретационный разрез по профилю МОВ Новая Ладога–Оштаи (элементы комплекса геолого-геофизических данных [19]):

1 – разломы мантийного заложения по данным МОВЗ; 2 – зоны вероятного внедрения мантийных флюидов по данным МОВЗ; 3 – области внедрения основных ультраосновных пород, установленные по комплексу геолого-геофизических данных; 4 – предполагаемые интрузии гранитоидов; 5 – объекты трубчатого типа; 6 – предполагаемые зоны алмазоносности (а) и полиметаллического оруденения (б) по данным геоэлектрохимии [20]; 7 – буровые скважины; V_z – график гравитационного поля

И второй – подобие отображения газонасыщенности разреза между осадочным чехлом и кристаллическим фундаментом в широком диапазоне масштабов полевых наблюдений. Нужно отметить, что гранитная интрузия (ПК 80) не проявлена в особом характере сейсмической записи и выделена по данным гравиразведки.

Следовательно, горизонтальные области с малоинтенсивной записью в консолидированной коре, в первую очередь, должны рассматриваться как области относительно повышенного газосодержания. С этой точки зрения огромная область малоинтенсивной записи, уходящая корнями в мантию на геотраверсе Татсейс (см. рис. 1), может интерпретироваться как вторжение газообразного флюида в земную кору. Отсюда – отсутствие относительно протяженных и интенсивных волн на границе Мохо может указывать на возможные области дегазации.

О флюидной зональности в разрывных нарушениях

Лепестковая структура разрывной тектоники предопределяет вихревое движение флюида и, соответственно, формирование разнородных разнонаправленных по фазовому составу зон флюидных потоков. На Ново-Елховской скв. 20009 геотермические наблюдения позволили выделить девять типов геотермических аномалий в интервале глубин от 1804 до 5365 м [21]. Два типа аномалий являются отрицательными (поглощение бурового раствора), еще три отнесены к смешанному типу, остальные – положительные (газовыделение). Всего отрицательных аномалий поглощения в разрезе встречено в 23-х случаях, смешанного типа – в 8-ми случаях. Около трети всех аномалий приходится на

смену петрографического состава пород, 9 из них являются отрицательными аномалиями, причем интенсивные положительные (газовые) аномалии со сменой состава пород не связаны. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что крупные разрывные нарушения могут рассматриваться как зоны конвективного флюидопереноса, в которых имеет место флюидная зональность.

При движении растворов проявляется влияние электрического потенциала, начинает действовать электрокинетический механизм разделения растворов. Этот механизм определяет возникновение кислотно-основного фильтрационного эффекта разделения раствора, при величине пор от 10 до 100 нм. Экспериментальные исследования этого эффекта показали, что он может проявляться не только для однофазных растворов, но и для двухфазных систем, например, $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ [22], что, в свою очередь, будет содействовать концентрационному разделению. Например, при падении давления с 500 до 150 бар в системе $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ (концентрация $\text{CO}_2 = 0,13$; $T = 300^\circ\text{C}$) произойдет снижение доли пространства жидкой фазы с 1 до 0,1. Отсюда, в разрывных нарушениях с глубиной может меняться фазовый состав флюидного потока. Помимо отжимания жидкой фазы к стенкам гидрофильной фазы в стационарном режиме течение газовой и жидкой фаз осуществляется по разным системам пор и трещин. Жидкая фаза фильтруется по тонким трещинам, газовая фаза – по более крупным [23]. Гидрофильность и гидрофобность поровых каналов может приводить к раздельной фильтрации жидкой и газообразной фаз.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования доказывают существование в пределах одной зоны разрывных нарушений восходящей (газовой) фильтрации и нисходящей (водной) фильтрации, причем на определенных глубинных уровнях может происходить раздельная фильтрация жидкой и газообразной фаз.

Заключение

Флюид в газовой фазе может формировать в поле отраженных волн самые различные по форме области слабоинтенсивной сейсмической записи. Наличие в разрезе пластов горных пород, экранирующих газовый поток, может приводить к образованию значительных по протяженности горизонтальных областей слабоинтенсивной записи. На профиле 1–ЕВ (см. рис. 7) с увеличением мощности осадочного чехла отчетливо фиксируется слияние отдельных областей слабоинтенсивной записи в единую горизонтальную область. Горизонтальные области слабоинтенсивной сейсмической

записи в осадочных бассейнах по протяженности могут иметь региональное распространение.

В отличие от ранее выполненных исследований показано, что горизонтальная зональность консолидированной земной коры определяется не только реологической (по преобладающему механизму разрушения с ростом глубины), литологической (осадочный чехол, гранитно-диоритовый слой, базальтовый слой) расслоенностью и расслоенностью по скорости (трехслойная модель) продольных волн, но и фазовым составом флюида. До настоящей работы, согласно проведенному автором анализу современных публикаций, проблема флюидной фазовой зональности консолидированной коры еще не рассматривалась в научной литературе.

Флюидная зональность имеет особое значение для развития теории поисков месторождений полезных ископаемых (непосредственно углеводородов), изучения процессов магматизма и вулканизма, а также оценки потенциальной тектонической активизации, развития теории эволюции земной коры.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)», № АААА-А19-119013190038-2).

Литература

1. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1996. 425 с.
2. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. IV. Кн. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 651с.
3. Киссин И.Г. Флюидная система и геофизические неоднородности консолидированной земной коры континентов // Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГГГН РАН». 2001. № 2(17). С. 1–22.
4. Наумов Г.Б., Миронова О.Ф. Природа газов флюидных включений в минералах // Новые идеи в науках о Земле: Сб. докл. IX междунар. конф. М., 2009. Т. 1. С. 207.
5. Трофимов В.А. Глубинные сейсмические исследования МОВ–ОГТ на геотраверсе Татсейс-2003, пересекающем Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию (по линии Воротиловская СГС – Пижда – Яранск – Мари-Турек – Кукмор – Альметьевск – Стерлитамак) // Геотектоника. 2006. № 4. С. 3–20.

6. Кузин А.М. Некоторые особенности интерпретации волновых полей в зонах разрывных нарушений // Геофизика. 1999. № 5. С. 3–15.
7. 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>
8. Мустафеев К.А. Повышенное поглощение сейсмических волн в нефтегазонасыщенных отложениях // Прикладная геофизика. М.: Недра, 1966. Вып. 47. С. 41–46.
9. Мустафеев К.А. Исследование МОВ на газовом месторождении Калмас // Разведочная геофизика. М.: Недра, 1973. Вып. 59. С. 32–38.
10. Волярович М.П., Томашевская И.С., Будников В.А. Механика горных пород при высоких давлениях. М.: Наука, 1979. 152 с.
11. Геологические структуры эндогенных урановых рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1986. 231 с.
12. Фридман А.И. Природные газы рудных месторождений. М.: Недра, 1970. 192 с.
13. Кареев Н.А., Рабинович Г.Я. Рудная сейсморазведка. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 366 с.
14. Кошемчук С.К., Магомедов М.А., Алехин Ю.В., Лакиштанов Л.З. Двухфазная фильтрация в системах вода-газ. Экспериментальное и теоретическое исследование // Экспериментальное и теоретическое моделирование процессов минералообразования. М.: Наука, 1998. С. 279–296.
15. Горбачевич Ф.Ф., Ковалевский М.В., Тришина О.М. Кольская (СГ–3) и Финская (ОКУ) исследовательские скважины: разрезы и свойства пород // Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов: Тез. докл. Всерос. (с междунар. участием) науч. конф. Апатиты, 28–30 сентября 2009 г.
16. 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>
17. 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>

18. 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.

19. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 431 с.

20. *Дуркин А.Т., Вольфштейн П.М., Пухлякова С.С.* и др. Особенности глубинного строения южной окраины Балтийского щита по субширотным региональным профилям Новая Ладога – Лодейное поле – Ошта и Доможирово – Шамокша (Ленинградская область) по данным комплексных геофизических и геохимических исследований // Геофизика XXI столетия. М.: Научный мир, 2006. С. 48–56.

21. *Христофорова Н.Н., Христофоров А.В., Муслимов Р.Х.* Разуплотненные зоны в кристаллическом фундаменте // Георесурсы. 1999. № 1(1). С. 4–15.

22. *Лакиштанов Л.З., Алехин Ю.В.* Главные механизмы направленной эволюции состава поровых растворов (современное состояние проблемы фильтрационного эффекта) // Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий. Том 2. М.: Наука, 2004. С. 26–42.

23. *Эфрос Д.А.* Исследование фильтраций неоднородных систем. Л.: ОНТИЗ, 1963, 351 с.

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

Part 1. The continental crust (gas distribution)

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 of CDPM and DSS, performed in areas with different geologic structures. Vertical and horizontal regions/zones with different phase composition of the fluid are distinguished and revealed. The physical/rational explanation for horizontal zonality of the consolidated Earth's crust is determined not only by the rheological lamination, but also by the phase composition of a fluid. The fluid zonality in fractures has been highlighted as follows. The upper part of the consolidated crust is characterized by a predominantly gas composition, and the middle and lower crust has a saturated composition.

Keywords: seismic data, continental crust, reflected signal, scattering, fluid zonality, gas distribution.

Citation: Kouzin A.M. On the fluid zonality of the consolidated Earth's crust according to CDPM-DSS acquisition. Part 1. The continental crust (gas distribution) // Actual Problems of Oil and Gas. 2019. Iss. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art2> (In Russ.).

References

1. Shvartsev S.L. General hydrogeology. Moscow: Nedra, 1996. 425 p. (In Russ.).
2. Vernadsky V.I. Selected works. Vol. IV. Book 2. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1960. 651 p. (In Russ.).
3. Kissin I.G. Fluid system and geophysical irregularities of consolidated continental crust // Vestnik OGGGN RAN. 2001 No. 2(17). P. 1–22. (In Russ.).
4. Naumov G.B., Mironova O.F. Nature of gases of fluid inclusions in minerals // New ideas in the Earth sciences: Proceedings of the 9th International Conference. Moscow, 2009. Vol. 1. P. 207. (In Russ.).
5. Trofimov V.A. Deep CMP seismic surveying along the Tatseis-2003 geotraverse across the Volga–Ural petroliferous province (along the Vorotilovskaya SGS – Pizhma – Yaransk – Mari-Turek – Kukmor – Al'metievsk – Sterlitamak traverse) // Geotectonics. 2006. Vol. 40. No. 4. P. 249–262.
6. Kouzin A.M. Some features of the interpretation of the wave fields in the zones of faulting // The Russian Geophysics Journal. 1999. No. 5. P. 3–15. (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 3 // Actual Problems of Oil and Gas. 2017. Iss. 1(16). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2017-16.art7> (In Russ.).
8. *Mustafaev K.A.* Increased seismic wave absorption in oil and gas filled sediments // Applied Geophysics. Vol. 47. Moscow: Nedra. P. 41–46. (In Russ.).
9. *Mustafaev K.A.* Studying the Kalmas gas field by reflection wave method // Exploration Geophysics. Vol. 59. Moscow: Nedra, 1973. P. 32–38 (In Russ.).
10. *Volarovich M.P., Tomashevskaya I.S., Budnikov V.A.* Mechanics of rocks at high pressures. Moscow: Nauka, 1979. 152 p. (In Russ.).
11. Geological structures of endogenic ore fields and deposits. Moscow: Nedra, 1986. 231 p. (In Russ.).
12. *Fridman A I.* Natural gases of ore deposits. Moscow: Nedra, 1970. 192 p. (In Russ.).
13. *Karaev N.A, Rabinovich G.Ya.* Ore seismic prospecting. Moscow: Geinformmark, 2000. 366 p. (In Russ.).
14. *Koshemchuk S.K., Magomedov M.A., Alekhin Yu.V., Lakshatanov L.Z.* Two-phase filtration in gas-water system. Experimental and theoretical study // Experimental and theoretical modeling of the metal formation processes. Moscow: Nauka, 1998. P. 279–296. (In Russ.).
15. *Gorbatsevich F.F., Kovalevsky M.V., Trishina O.M.* The Kola (SG–3) and the Finnish (OKU) appraisal boreholes: sections and features of the rocks // Complex geological and geophysical models of ancient shields: Theses of All-Russian Conference with International Participation. Apatity, 28–30 September 2009.
16. *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.).
17. *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.).
18. 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.).

19. Onega Palaeoproterozoic structure (geology, tectonics, deep structure, and minerageny / Eds. L.V. Glushanin, N.V. Sharov, V.V. Shchiptsov. Petrozavodsk: Karelia Scientific Center RAS, 2011. 431 p. (In Russ.).

20. *Durkin A.T., Volfstein P.M., Pykhlyakova S.S.* et al. Peculiarities of the deep structures of the southern part of the Baltic Shield according to sublatitudinal regional profiles New Ladoga – Lodeynoe field – Oshta and Domozhirova – Shamoksha (Leningrad Oblast) according to data of complex geophysical and geochemical studies // *Geophysics of the 21st century*. Moscow: Scientific world, 2006. P. 48–56. (In Russ.).

21. *Khristoforova N.N., Khristoforov A.V., Muslimov R.H.* Deconsolidated zones in crystalline basement // *Georesourcy*. 1999. No. 1(1). P. 4–15. (In Russ.).

22. *Lakshtanov L.Z., Alekhin Yu.V.* The main mechanisms of directed evolution of pore solutions (modern state of the art filtration effect) // *Experimental mineralogy: some outcomes at the turn of the centuries*. Vol. 2. Moscow: Nauka, 2004. P. 26–42. (In Russ.).

23. *Efros D.A.* Study of filtration of heterogeneous systems. Leningrad: Scientific-Technical Publishers Association, 1963, 351 p. (In Russ.).