

# КОНЦЕПЦИЯ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ КОРЫ

А.Н. Дмитриевский, А.В. Каракин  
ИПНГ РАН, e-mail: a.dmitrievsky@ipng.ru, avkarakin@yandex.ru

## Введение

Волноводы и листрические разломы в верхней и средней коре в свое время четко определялись с помощью атомных взрывов, которые давали достаточно большой сейсмический сигнал, но потом они стали исследоваться в ходе обычной сейсморазведки и при использовании других геофизических методов, которые не обладают такой разрешающей способностью и информативностью.

До последнего времени при сейсмических исследованиях волноводов использовались лучевые варианты сейсморазведки. Главная трудность данных методов связана со слабой контрастностью сейсмических свойств горных пород, что сильно ограничивает их возможности. Особенно проблемным является исследование этими методами структур верхней коры. Кроме того, они достаточно хорошо работают лишь в горизонтально-слоистых средах.

Хотя к настоящему времени лучевые методы все еще не потеряли своего значения в силу накопленного опыта и большого количества сейсмических измерений, в последние годы стал интенсивно развиваться волновой вариант сейсморазведки, который имеет хорошие перспективы. Он обладает большей разрешающей способностью и качественными особенностями, которые позволяют в максимальной степени использовать специфику волновой сеймики при исследовании достаточно тонких эффектов. Проблема состоит в том, что волновая сеймика гораздо сложнее лучевой, и пока еще слишком мало опыта в ее использовании и интерпретации.

Тем не менее, любые сейсмические измерения имеют свои естественные ограничения. Их целесообразно дополнить теоретическими исследованиями в рамках геомеханики трещиноватых насыщенных пород и физической химии, которые должны компенсировать недостатки чисто сейсмических методов. До недавнего времени под теоретическими исследованиями понималось только геомеханическое моделирование, включающее в себя механику разрушения и флюидодинамику. Однако чисто механический подход не в состоянии объяснить все аспекты сегрегации и дифференциации вещества, особенно за длительные промежутки времени. В частности,

остаётся непонятным: почему нефтегазоносные поля находятся, в основном, в районах со слабой сейсмичностью; почему даже в этих районах нефтегазовые месторождения занимают относительно небольшую площадь и далеко не все районы со слабой сейсмичностью являются нефтегазоносными. Исследование геохимических и физико-химических процессов на верхней границе волноводов позволяет прояснить многие аспекты указанных процессов.

Сам факт существования волноводов приводит к важным геологическим последствиям. Прежде всего, они ограничивают размер некоторых глубинных разломов и влияют на форму последних. Разломы, которые корнями уходят в волноводы, называются листрическими.

Листрические разломы играют важную роль в механизме возникновения и поддержания определенного режима в коровых волноводах. Такие разломы служат источником поступления флюидов в волноводы (и местом оттока флюидов из них) т.е. являются составной частью механизма обмена флюидов волновода и вышележащих слоев. Более того, они играют важную роль в процессе формирования рудных и нефтегазовых месторождений, хотя эта роль до конца не выяснена.

Возникает проблема установления самого факта существования волноводов как трещиноватых слоев, их идентификации и измерения. Другая, не менее важная проблема заключается в том, чтобы выявить и конкретизировать указанные механизмы преобразования флюидов, связанные с возникновением месторождений полезных ископаемых. В данной работе акцент делается на физико-химических аспектах, которые до сих пор оставались непонятными.

В градиентной среде волноводы не очень хорошо и неоднозначно выделяются в силу слабой контрастности сейсмических параметров трещиноватости и состава коры. Как уже было отмечено, до сих пор основные исследования структуры земной коры были связаны с сейсмическими методами, и в первую очередь – с лучевой сейсмикой. Эти методы являются недостаточными в силу их малой точности и информативности. Тем не менее, именно с лучевыми методами связаны признание самого факта существования и степени распространения коровых волноводов, а также измерения (хотя и достаточно грубые) их основных параметров.

Преимущество волновой сейсмике состоит в том, что соответствующие измерения включают в себя больше тонких параметров (связанных с интерференцией и дифракцией).

Поэтому они гораздо информативнее, хотя и сложнее при интерпретации. В частности, волновыми методами можно детально исследовать вертикальные сейсмические неоднородности на верхней границе волновода, где происходит утечка флюидов из него в вышележащие слои коры. Именно эти потоки и представляют основной интерес с точки зрения образования месторождений полезных ископаемых (в первую очередь – углеводородных).

Цель данной работы состоит в следующем.

1. Сформулировать концепцию флюидного режима континентальной коры с учетом физико-химических и геохимических аспектов.
2. На основе предложенной концепции выработать стратегию теоретических и полевых исследований континентальной коры с учетом последних достижений волновой сейсмологии и методов математического моделирования.

Концепция включает в себя анализ геолого-геофизических данных, обзор различных представлений о структуре средней и верхней коры, а также современный вариант модели коровых волноводов, в котором конкретизируются физико-химические аспекты механизма концентрации углеводородов и минералов с образованием соответствующих месторождений. Элементы этой концепции изложены в серии публикаций (Каракин, 1990; 2001; Каракин, Камбарова, 1997; Дмитриевский, Каракин, Баланюк, 2000; Дмитриевский, 2003; Дмитриевский, Баланюк, Каракин, 2007; Дмитриевский, Валяев, Смирнова, 2003; Дмитриевский и др., 1992; 1998). В этих работах показана возможная причина существования волноводов, их кинематика, последовательность движений, а также дано описание отдельных фаз движения.

### **1. Флюидный режим континентальной коры**

**Структура континентальной коры.** Существует обширная литература, в которой проводится дискуссия по данному вопросу и в которой затрагиваются различные его аспекты. Возможная природа аномальных слоев верхней коры установлена прямыми наблюдениями в Кольской сверхглубокой скважине – это зона повышенной трещиноватости, флюидонасыщенности и электропроводности (Кольская сверхглубокая ..., 1984). Специфика таких аномальных слоев подтверждается и всеми последними геофизическими данными, прежде всего, электромагнитными. В Кольской сверхглубокой скважине трещиноватость наиболее четко прослеживается в интервале от 7 до 10 км. Указанная аномальность слоев прослеживается во всей земной коре, вплоть до верхней

мантии. В целом кора представляет собой «слоеный пирог», составленный из чередующихся жестких, сейсмически прозрачных и непрозрачных слоев (волноводов). Данные по волноводам в континентальной коре содержатся в обзоре (Краснопевцева, 1978).

Согласно современным геолого-геофизическим представлениям континентальная кора разделена многочисленными трещиноватыми слоями, которые простираются до глубин порядка 25 км, образуя сложную слоистую систему. По данным сейсмического зондирования (в основном, по преломленным волнам) коровые волноводы в континентальной коре существуют практически повсеместно, по крайней мере там, где их искали. Анализ данных метода отраженных волн показал, что волноводы часто выделяются на разрезах ОГТ по смене структурного плана земной коры или в виде зон «прозрачности».

От региона к региону меняются лишь число слоев, их толщины и параметры трещиноватой среды. Типичная глубина кровли коровых волноводов достигает 8–15 км, их мощность составляет 3–7 км. Они наиболее выразительны на кристаллических щитах, древних платформах и залегают там на меньших глубинах. В коре молодых платформ они встречаются на несколько большей глубине. Коровые волноводы существуют также в тектонически активных и складчатых областях, где отражают неоднородность коры, связанную со сложной эволюцией этих регионов. Однако в этих областях волноводы сильно неоднородны и трудно поддаются интерпретации. Многие специалисты склонны считать, что такая структура слоев является типичной для континентальной коры и распространена повсеместно, по крайней мере, там, где она хорошо изучена.

Анализ сейсмических и геоэлектрических данных (Краснопевцева, 1978; Сейсмические модели ..., 1980; Ваньян и др., 1983; Ваньян, 1984) свидетельствует о том, что зоны пониженных скоростей волн и повышенной электропроводности пород часто совпадают, хотя и существуют некоторые различия. Геоэлектрические измерения дают основание думать о том, что наиболее вероятной причиной появления указанных зон до глубин 30 км, скорее всего, является наличие в них электропроводящих флюидов (Ваньян, 1984). Объемное содержание флюидов внутри слоев с повышенной электропроводностью достигает нескольких процентов (Ваньян и др., 1983; Feldman, 1976).

В зависимости от теплового режима в качестве флюида в пористой структуре волновода могут находиться либо расплав, либо водные флюиды. В верхней и средней

части коры до глубин порядка 20 км наиболее вероятными являются флюиды на водной основе, т.е. растворы или гетерогенные смеси, основную часть которых составляет вода.

**Геодинамические гипотезы.** Целесообразно выделить основные направления исследований геодинамики и флюидодинамики в верхних слоях коры и остановиться на узловых проблемах, связанных с реологией и трещиноватостью коры. Именно эти особенности коры играют ключевую роль в наших исследованиях.

В геологии введено такое понятие, как тектоническая расслоенность (Тектоническая расслоенность..., 1980; Пейве, 1981). Пейве (1981) определяет ее как внутриплитовые тектонические движения. В геодинамике есть аналогичная гипотеза, которая называется двухъярусной тектоникой плит (Лобковский, 1988). Обе эти концепции отражают разные аспекты одного и того же явления, а именно – внутриплитного движения. В частности, вышележащие слои верхней коры могут смещаться по волноводу, как по смазке. Это утверждение согласуется с обеими гипотезами.

Согласно приведенным схемам земная кора состоит из слоев, сильно различающихся по вязкости и по структуре порового пространства. Верхняя, наиболее жесткая часть коры, разбита на микроплиты, движущиеся друг относительно друга подобно макроплитам в классической схеме тектоники плит. В рамках последней гипотезы решается вопрос и о тектонических силах, приводящих в движение всю систему в целом. Это те силы, которые производят внутриплитные деформации и смещения верхних слоев относительно нижних. Энергия глобального движения переходит в энергию регионального движения микроплит. Указанные движения достаточно сложные и многоуровневые, поскольку пластичными могут быть и самые нижние слои коры, находящиеся в состоянии катакластического течения.

Приведенные выше исследования наводят на мысль о том, что ключевую роль в реологическом расслоении земной коры играют трещиноватые насыщенные флюидом слои. Можно предположить, что существование волноводов является следствием относительных движений внутри крупных тектонических плит. Верхние слои плит (микроплиты), двигаясь относительно нижних слоев, создают дилатансионный эффект, т.е. расширение порового пространства волноводов. Это и есть главный фактор возникновения волноводов. Если бы такого движения не было, то исчезли бы и сами волноводы. Однако в процессе эволюции меняется конфигурация микроплит и режим их

движения. Когда плиты останавливаются (или замедляются), то начинается процесс их консолидации.

Различные аспекты движения волноводов были исследованы в цитированных выше работах. Сверху к волноводу подходят листрические разломы, которые по мере приближения к волноводу расширяются. Пористость зон листрических разломов по измерениям в скважинах достигает 10%. Не существует никаких физических причин, запрещающих/обеспечивающих такие значения пористости в самом волноводе. В самом деле, коэффициент трения для коровых разломов примерно равен 0,36, откуда следует, что предел прочности пород коры равен  $0,3 \rho g H$ , где  $H$  – глубина расположения рассматриваемой точки,  $\rho$  – плотность среды,  $g$  – ускорение силы тяжести. Следовательно, девиаторные напряжения в окрестности пор и трещин не должны превышать эту величину. В противном случае поры и трещины схлопнутся. В силу арочного эффекта локальные девиаторные напряжения в порах  $\sim f \rho g H$ , где  $f$  – пористость. В окрестности заполненных водой трещин девиаторные напряжения порядка  $(\rho g H - p)$ . Отсюда следует, что значение  $f \sim 10\%$  является верхней границей для этой величины. С глубиной пористость должна уменьшаться, поскольку свойства пород с увеличением температуры и давления изменяются в сторону пластичности и податливости (т.е. породы переходят в хрупкопластичное состояние), а величина локальных напряжений возрастает. Выше, исходя из данных по магнитотеллурическому зондированию, было показано, что эта пористость порядка нескольких процентов. Такое значение пористости, видимо, разумно взять в качестве исходного.

Поскольку волновод отождествляется с зоной неустойчивого разрушения, сопровождающегося дилатансией и катакластическим течением, в нем возможны различные режимы движения. Рассмотрим их подробнее. Предел прочности не является постоянной величиной. Он зависит от времени нагружения, наличия воды, температуры и т.д. Поэтому волновод со временем может изменять свое состояние, и среда может находиться в двух фазах движения – дилатансии и компаксии.

Вода оказывает наиболее сильное влияние на прочностные и реологические свойства. С одной стороны, она снижает поверхностную энергию, что приводит к снижению предела прочности (эффект Ребиндера). С другой стороны, поровое давление в соответствии с законом Кулона в пористых средах также снижает эффективный предел прочности. Кроме того, проникновение воды в межзеренное пространство приводит к

возникновению межзеренных пластичных прослоек типа смазки и к перераспределению напряжений, а также к концентрации напряжений в некоторых местах. Из сказанного следует, что воздействие воды является многофакторным. Однако его можно смоделировать с учетом простого и очевидного условия, описываемого диаграммой состояния.

На этой диаграмме представлено изменение состояния трещиновато-пористой насыщенной среды волновода. Изображающая точка совершает круговое движение, направление которого показано стрелками. Пунктирная линия разделяет зоны различного состояния среды – компакции (I) и дилатансии (II). Изменение состояния среды происходит при  $p = \sigma^{**} < 0$ . Если в зоне компакции пьезометрическая составляющая порового давления одинакова по всей толщине волновода, то в зоне дилатансии избыточные давления (пьезометрическая составляющая) на подошве и кровле волновода различаются. Они в каждом случае обозначены соответственно одним и двумя штрихами. Движение происходит между минимальным  $f_{\min}$  и максимальным  $f_{\max}$  значениями пористости  $f$ .

Указанные попеременные движения и создают тот самый круговорот флюидов в верхней коре, который приводит к концентрации углеводородов и других минералов, т.е. к образованию соответствующих месторождений. Наша цель состоит в том, чтобы инструментальными и теоретическими средствами определить и, может быть, даже измерить отдельные элементы и фазы указанного движения.

Предполагается, что периодический и волнообразный механизм движения волноводов является одним из основных факторов, определяющих флюидодинамический режим континентальной коры на указанных расстояниях и в геологических масштабах времени. В частности, данный механизм является составной частью важных для жизнедеятельности человека природных процессов: землетрясений; переноса углеводородов от нефтематеринских толщ к нефтегазовым залежам; образования рудных месторождений. Знание направления движения флюидов в коре (вверх или вниз) важно при выборе мест захоронения радиоактивных и токсичных промышленных отходов.

Основными структурными элементами трещиноватых слоев коры являются коровые волноводы и листрические разломы. Листрические разломы играют роль подводящих каналов, по которым флюиды закачиваются в сами волноводы. Движение в

них в течение фазы дилатансии является относительно равномерным и однородным (по всему листрическому разлому).

В опубликованных ранее работах фигурировали идеализированные модели коровых волноводов. Как правило, это были двумерные плоские модели с правильной периодической структурой и строго волновым движением. Естественно, что идеальная модель может передавать только основные черты, базирующиеся на общих физических принципах.

В реальной ситуации ни о каком упрощении речи идти не может. Движения на плоскости являются двумерными, случайными и неправильными. Смена фаз движения в такой ситуации обусловлена не только внутренними свойствами трещиновато-пористой среды, но в значительной степени – несовместностью движения микроплит на поверхности Земли. Сохраняется также чередование фаз, хотя оно в реальной ситуации является случайным. Такими же случайными являются контуры микроплит, их взаимодействие и относительная продолжительность фаз. Тем не менее, основные физические следствия полностью сохраняются.

Таким образом, несмотря на столь значительное расхождение с реальностью, мы можем опираться на основные параметры идеализированной модели. Следующий шаг состоит в том, чтобы исследовать процессы на верхней границе волновода.

## **2. Флюидный режим на верхней границе волноводов**

Заметим, что обратное движение флюидов из волновода в верхнюю кору уже не является таким однородным и равномерным. Флюиды ищут слабые места на верхней границе волновода и устремляются туда. Физическая причина указанного различия заключается в том, что механические процессы разрушения пород и связанные с ними физико-химические процессы являются необратимыми и зависят от величины всестороннего давления и направленности процесса в сторону расширения или уменьшения пор.

Вещество нижнего слоя может находиться в двух состояниях – дилатансии и компакции. В первом случае скелет является упруго-хрупким. Основным фактором, определяющим этот режим, является действующий на микроуровне закон Кулона-Мора, связывающий сдвиговые предельные напряжения  $\tau$  и нормальные напряжения  $\sigma$ . При осреднении и переходе на макроуровень этот закон проявляется в виде некоторых соотношений для макровеличин. Поскольку пористая среда волновода насыщенная, то его

напряженное состояние определяется принципом Терцаги, в соответствии с которым тензор полных напряжений разделяется на эффективное напряжение  $\sigma_{ij}^{ef}$  и поровое давление  $p$  :

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{ef} - p\delta_{ij} . \quad (1)$$

Ориентируем систему координат  $(x, y, z)$  так, что ось  $z$  направлена вверх. Заметим, что в формуле (1) геостатическое давление  $\sigma_{zz}$  является величиной постоянной, а вот поровое давление флюида в данной точке (в частности, на верхней границе волновода) с течением времени может меняться на очень значительную величину. Точно так же меняется и компонента эффективного напряжения  $\sigma_{zz}^{ef}$ , которое влияет на проницаемость пористой среды. В результате фазы нагружения и разгрузки волновода в данном месте характеризуются разными механическими свойствами, разной структурой порового пространства и разной проницаемостью.

В тот момент, когда поровое давление достигает своего максимального значения, поровое пространство волновода (а точнее говоря – трещины в нем) открывается и пропускает вверх флюиды. Когда поровое давление падает, тогда трещины закрываются. Все это в целом и обеспечивает свойства полупроницаемости верхней границы волновода и возможность пропускать флюиды через нее вверх, в верхнюю кору. Свойства полупроницаемости верхней коры дополняются неким физико-химическим механизмом, о котором говорилось выше. Исследование его представляет центральный момент данной работы.

В силу эффекта Ребиндера происходит ослабление пород лишь в отдельных местах, куда флюиды и устремляются. Дело в том, что эффект Ребиндера имеет место лишь тогда, когда вода полностью смачивает породу. При смачивании вода вступает в физико-химическое взаимодействие с породами скелета пористой среды. Среда ослабляется и становится более проницаемой. В случае несмачивания ее процесс затормаживается и флюиды идут в сторону тех пород, которые смачиваются. Вода и УВ-флюиды обладают разными коэффициентами смачивания. Поэтому при движении флюида вверх уже на данном этапе возникает естественный отбор воды из движущейся смеси и происходит обогащение флюида УВ-веществом. Другими словами эффект Ребиндера приводит к ослаблению некоторых выделенных направлений движения, по которым вода движется

вверх. Выделенными оказываются как раз те направления, где угол смачивания водой достигает своего максимального значения.

Мы считаем, что в районах со слабой и умеренной сейсмичностью на верхней границе волновода происходит естественное нарушение ее проницаемости. Это нарушение возникает в тот момент, когда поровое давление на указанной границе достигает своего максимального значения. В идеальной модели волновода в этот момент поровое давление в волноводе почти уравнивается весом вышележащего слоя верхней коры. Возникает неустойчивая ситуация, когда флюиды (водные растворы и гетерогенные водные смеси) ищут себе дорогу и проникают сквозь эту границу вверх. Все эти процессы не вписываются в изложенную выше модель волновода и требуют для своего описания особого подхода в рамках некоторой физико-химической модели.

Указанное ослабление движений провоцирует дальнейшее проникновение флюидов вверх. В результате имеет место самоподдерживающийся процесс нарушения прочности среды верхней границы волновода. Данный процесс объясняет, почему месторождения возникают не повсеместно, а лишь в отдельных избранных районах. Однако эффект Ребиндера не объясняет, почему именно происходит дифференциация флюидов.

Заметим, что в самом волноводе флюиды являются преимущественно водными. Доля растворов УВ-вещества в них незначительна, хотя суммарные объемы его колоссальны. Однако при движении флюидов вверх часть воды поглощается и связывается с породами. Часть же движется совсем по другим направлениям, чем углеводороды. Это и есть механизм проникновения флюидов из волновода в вышележащие слои, который приводит к дифференциации флюидов.

Указанный механизм связан с полупроницаемыми породами кровли волновода. На верхней границе волновода происходит движение слабо концентрированной УВ-смеси сквозь полупроницаемую границу (молекулярное сито). Молекулы воды и углеводов имеют разные размеры. Считаем, что размеры капилляров в этой области соизмеримы с размерами молекул воды, но меньше размеров крупных молекул углеводов.

Вода легко проникает сквозь тонкие капилляры, а углеводороды задерживаются и скапливаются. В результате возникает осмотическое давление, которое останавливает этот процесс. Под действием слабых землетрясений или асейсмических тектонических движений происходит выравнивание порового давления. Слабая и умеренная

сейсмичность создает высокопроницаемые каналы, по которым флюиды (вода и углеводороды) быстро уходят вверх, а осмотическое давление падает. Однако вода и УВ движутся по разным каналам. Затем процесс периодически повторяется. В результате создаются условия для сегрегации флюидов и последующей концентрации углеводородов. Это и есть физическая суть механизма концентрации УВ-вещества.

Наиболее интенсивно данный механизм работает там, где смачиваемость пород водой велика. Именно по указанной причине месторождения возникают не повсеместно, а только лишь в избранных местах. Данный механизм объясняет существование слабой сейсмичности во всех нефтегазоносных полях и отсутствие этих месторождений в асейсмичных районах или в областях с повышенной сейсмичностью. Рассмотренный процесс дифференциации и концентрации УВ-вещества является очень медленным, многоступенчатым и многофакторным. Поэтому его трудно воспроизвести в лаборатории.

### **Заключение**

В данной работе приведена гипотеза образования УВ-месторождений на основе концепции континентальных коровых волноводов. Данная концепция справедлива также и для акваторий, а также шельфов (поскольку с геологической точки зрения они по своему строению сходны с континентальными областями). Концепция объясняет существование континентальных нефтяных и газовых месторождений преимущественно в областях с умеренным сейсмическим режимом.

Определено, что центральное место в механизме концентрации углеводородов занимает осмотический эффект. Предложенный механизм действует именно на границе волновода и верхней коры, т.е. там, где есть условия для образования капилляров наноразмеров. Именно он и производит сепарацию углеводородов и отделяет их от воды. Выше (в средней и верхней частях верхней коры) и в самом волноводе таких условий нет. Там действуют уже другие механизмы движения и сепарации флюидов.

Для подтверждения (или опровержения) данной концепции необходимы соответствующие геофизические измерения или специальные физические эксперименты в лабораторных условиях. К первым относятся геохимические измерения УВ-флюидов на земной поверхности и сейсмические измерения на всем возможном пути следования флюидов от границы волновода до поверхности. Сейсмические измерения должны быть основаны в первую очередь на принципах волновой сеймики, поскольку сейсмические неоднородности имеют ярко выраженную вертикальную ориентацию. В лабораторных

условиях можно определить скорость разделения воды и УВ-флюидов с учетом осмотического эффекта при соответствующих Р-Т условиях, пористости и размерах пор. Если эта скорость окажется достаточной, то тогда можно будет говорить о разумности всей концепции в целом.

Особую роль в указанных процессах играют неоднородности пористой среды на верхней границе волноводов, которые могут проявляться в виде сейсмических неоднородностей. На наш взгляд, очень важно выявить эти неоднородности методами волновой сейсмологии. Эти неоднородности обладают слабой сейсмической контрастностью, но имеют много сходных черт во всех крупных нефтегазовых месторождениях.

Важно отметить, что проникновение флюидов сквозь верхнюю границу волноводов представляет собой важный, но не единственный этап их миграции. В процессе движения вверх УВ-флюиды подвергаются еще достаточно длительной эволюции. В самих волноводах углеводороды, скорее всего, могут находиться лишь в виде метана. Образованию больших молекул препятствуют высокая температура и агрессивная среда в порах с наноразмерами. В верхних слоях с умеренными термодинамическими и механическими параметрами УВ-флюиды могут образовывать и более сложные УВ-молекулы. Так возникают обычные и известные нам УВ-месторождения.

Собственно, сами месторождения могут возникнуть лишь в том случае, если на пути движения УВ-флюидов существуют непроницаемые ловушки. Таким образом, есть три важных фактора, которые характерны для крупных месторождений. К ним относятся геохимические аномалии на земной поверхности (которые играют роль маркеров), наличие покрывки в верхней коре, перекрывающей движение флюидов, и некоторые особенности в структуре верхней коры на границе с волноводом. Сочетание всех трех факторов свидетельствует о возможности существования в данном месте крупных нефтегазовых месторождений. Первые два фактора хорошо известны и широко используются при поиске УВ-месторождений. Третий фактор до сих пор не был известен. Учет его может привести к открытию новых крупных УВ-месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

*Ваньян Л.Л.* Электропроводность земной коры в связи с ее флюидным режимом. Коровые аномалии электропроводности. Л.: Наука, 1984. С. 27–34.

*Ваньян Л.Л., Шиловский П.П.* Глубинная электропроводность океанов и континентов. М.: Наука, 1983. 86 с.

*Дмитриевский А.Н.* Полигенез нефти и газа // Генезис нефти и газа: Сб. ст. М.: ГЕОС, 2003. С. 104–105.

*Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е., Каракин А.В., Лобковский Л.И., Повещенко Ю.А., Лоджевская М.И.* Роль коровых волноводов в зоне коллизии литосферных плит // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1998. № 10. С. 5–14.

*Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е., Каракин А.В.* Один из возможных механизмов восполнения запасов углеводородов // Докл. РАН. 2007. Т. 415, № 5. С. 678–681.

*Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М., Смирнова М.Н.* Механизмы, масштабы и темпы восполнения нефтегазовых залежей в процессе их разработки // Генезис нефти и газа: Сб. ст. М.: ГЕОС, 2003. С. 106–109.

*Дмитриевский А.Н., Каракин А.В., Баланюк И.Е.* Концепция флюидного режима в верхней коре (гипотеза корового волновода) // Докл. РАН. 2000. Т. 374, № 4. С. 534–536.

*Дмитриевский А.Н., Киреев Ф.А., Бочко Р.А., Федорова Т.А.* Влияние гидротермальной деятельности на формирование коллекторов нефти и газа в породах фундамента // Изв. РАН. Сер. геологич. 1992. № 5. С. 119.

*Каракин А.В.* Модель движения флюидов в земной коре за геологические отрезки времени // Математическое моделирование. 1990. Т. 2, № 3. С. 31–42.

*Каракин А.В., Камбарова Г.Н.* Динамическая модель коровых волноводов // Геоинформатика. 1997. №4. С. 10–17.

*Каракин А.В.* Математическая модель корового волновода [Электронный ресурс] // Российский журнал наук о Земле: Электрон. журн. 2001. Т. 3, № 4. – Режим доступа: [http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/v03/v03con\\_r.htm](http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/v03/v03con_r.htm) (Дата обращения 20.02.2002).

Кольская сверхглубокая скважина. М.: Недра, 1984, 490 с.

*Краснопевцева Г.В.* Геолого-геофизические особенности строения слоев с пониженными скоростями в земной коре. Региональная, разведочная и промысловая геофизика: Обзор. М.: ВИЭМС, 1978. 40 с.

*Лобковский Л.И.* Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988. 252 с.

Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. М.: Наука, 1980. 184 с.

Тектоническая расслоенность литосферы. М.: Наука, 1980. 216 с.

*Пейве А.В.* Мобилизм и тектоническая расслоенность литосферы // Природа. 1981. № 2. С. 2–9.

*Feldman I.S.* On the nature of conductive layers in the Earth's crust and upper mantle // Geoelec. and Geotherm. Stud. KAPG Geophys. Monogr. Bp., 1976. P. 721–745.