

**О НЕКОТОРЫХ ОБЩИХ СВОЙСТВАХ ФЛЮИДА
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ, ЯВЛЕНИЯХ И ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ
(К ОБОСНОВАНИЮ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР)
Часть 1**

А.М. Кузин
Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва,
e-mail: amkouzin@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

В известной монографии [Добровольский, 2009] был выполнен анализ моделей подготовки тектонических землетрясений с позиции механизмов накопления и диссипации упругой энергии. Все модели разделялись на два класса по стадии подготовки события. Первый класс составляют модели с механизмом консолидации – формирования события, при этом происходит накопление упругой энергии, второй – с механизмом деструкции, когда происходит расход энергии. Накопление и расход упругой энергии связаны с деформациями среды. Ведущими признаются механические процессы.

В представленной автором работе сейсмическое событие рассматривается как одна из форм, сопутствующих тектонической активизации геологической среды. Эта форма может проявляться совместно с магматизмом (вулканизмом) и образованием месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса (во всех них следующие явления, процессы и закономерности: 1 – тектоническая активизация среды (дегазация – флюидизация); 2 – разномасштабная конвекция; 3 – конвергенция геологических процессов).

Масштаб изучения очаговых зон составляет десятки, а прогнозных признаков – сотни км. Поэтому прогнозные оценки в основном носят статистический характер по времени и пространству. Для выявления взаимосвязи геофизических и геохимических аномалий как признаков зарождения сейсмического события необходимы по крайней мере близкие масштабы наблюдений.

Учитывая, что в природе всегда действует принцип наименьшего действия (Мопертюи–Гамильтона), факторы для сейсмичности на месторождениях полезных ископаемых будут в той или иной мере соответствовать факторам возникновения землетрясений в земной коре. В основу подхода положен тезис о едином подходе к интерпретации сейсмического поля для перечисленных геологических явлений.

Месторождения полезных ископаемых наиболее полно изучены геофизическими (сейсмическими) и геологическими методами в различных регионах и масштабах по сравнению со всеми другими геологическими структурами и явлениями. Это позволяет строить модели процессов и явлений, основанные на разнообразных и согласованных данных.

СЕЙСМИЧНОСТЬ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ФЛЮИДНОГО ГЕНЕЗИСА

Повышенная сейсмичность наблюдается на ряде месторождений (углеводородов и рудной минерализации) флюидного генезиса в различных по истории развития и составу комплексах пород (рис. 1–2). О корреляции сейсмичности с рудными месторождениями эндогенного происхождения известно достаточно давно [Егоркин, 1996; Goldberg et al., 2007; Sibson, 1987].

Сейсмические события регулярно фиксируются в рудных узлах Воронежского кристаллического массива, Хибин и др. Совсем недавно недалеко от крупных рудных месторождений произошли два сильнейших Тувинских землетрясения (27.12.2011 г. и 26.02.2012 г.), соответственно, магнитудой 6,6 и 6,7, в хребте Академика Обручева, в 100 км к северо-востоку от Кызыла, на глубине 10 км. Для углеводородов наведенная сейсмичность применительно к крупным газовым месторождениям может стимулироваться внедрением больших масс воды в пласты, ранее заполненные более легким газом, что приводит к изменению напряженно-деформированного состояния блока земной коры. Такое объяснение поведения сейсмичности было дано А.М. Акрамходжаевым, Б.Б. Ситдиковым и Э.Ю. Бегметовым в 1984 г. для механизма землетрясений 1976 и 1984 гг. в районе Газли [Киссин, 1985]. Сейсмические события регулярно фиксируются на Ромашкинском месторождении (Южно-Татарский свод), на Тенгизском месторождении 21 февраля 2011 г. произошло землетрясение на глубине 30 км [Лобковский и др., 2013].

По данным [Турунтаев и др., 2010], начало активизации сейсмичности отстоит от начала разработки месторождений углеводородов на 10–20 лет, появление максимальных землетрясений – на 20–30 лет. По отношению к началу закачки воды моменты появления заметных землетрясений отстоят на 5–10 лет, а появления заметных землетрясений – на 10–15 лет. Изменение средней величины микросейсмической активности при закачке жидкости можно рассматривать как процесс, определяемый изменением порового

давления и изменением количества потенциальных трещин, которые могут быть активизированы этим изменением давления.

Непосредственно в механически жестких геологических образованиях (или около них) происходит локализация очагов землетрясений, магматизма и/или вулканизма, формирование месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса [Кузин, 1994, 2001, 2007, 2009]. На границах или в самой жесткой неоднородности концентрируется и диссипирует в окружающее пространство упругая энергия, которая трансформируется в физико-химические реакции. Причем, сам резервуар является, как правило, механически жесткой структурой. К жестким неоднородностям относятся массивы интрузивных и карбонатных пород, рифогенные тела, зоны гидротермально-метасоматически измененных пород, а также структуры, образовавшиеся при неупругом деформировании. По данным реологических испытаний образцов пород различного состава было замечено, что не во всех породах перед разрушением наблюдается увеличение V_s , а лишь в тех, которые были предварительно пластически деформированы [Воларович и др., 1979]. Такое возрастание жесткости образца рассматривалось в работе [Воларович и др., 1979], по аналогии с дислокационным упрочнением, в данном случае трещины блокировали рост друг друга.

В экспериментальных опытах по исследованию формирования узлов разломов [Ружич, 1986] перед образованием поперечной трещины происходило упрочнение материала модели. В разрывных нарушениях наблюдается различное соотношение между геометрическими размерами и значениями аномалий скорости преломленных продольных и поперечных волн (V_p , V_s) и их отношения (V_p/V_s), вплоть до значений, соответствующих отрицательным значениям коэффициента Пуассона [Кузин, 1999, 2012]. Эффект аномального поведения γ (V_s/V_p) установлен в ходе лабораторных наблюдений, при нагревании гранита с искусственно вызванной в нем трещиноватостью: в интервале температур от 450 до 600 °С γ достигает значения 0,74, для известняка – 0,70 [Туранк и др., 1994]. Следует отметить, что аномальные значения γ отмечаются не только для сейсморазведочного и ультразвукового диапазона частот, но и в низкочастотном диапазоне микросейсм (0,03–1,0 Гц). Аномальные значения скорости поперечных волн были получены на Стрельцовском урановом месторождении [Горбатилов, 2013].

Следовательно, в зонах разрывных нарушений существуют значительные по размерам области, где породы могут накапливать упругую энергию. Как уже отмечалось

ранее, вещества с отрицательным коэффициентом Пуассона обладают высокой прочностью, полимеры с отрицательным коэффициентом Пуассона – аусетики используются там, где необходимы высокие прочностные характеристики материала.

Многочисленные геолого-геофизические данные полевых, лабораторных исследований и математическое моделирование свидетельствуют, что упрочнение – это закономерное явление при деформировании пород в разрывных нарушениях. Видимо, каждое разрывное нарушение, имеющие зону упрочнения может рассматриваться как потенциально сейсмогенное. Однако сейсмический процесс наблюдается не во всех тектонически активных районах, это означает, что существуют особые, дополнительные условия реализации сейсмического процесса. К таким условиям в первую очередь относится присутствие газовой фазы флюида, способствующей накоплению упругой энергии в массиве пород. Таким образом, повышение жесткости (упругости) массива может быть связано с дислокационным, дилансионным упрочнением, а также присутствием газа в пористо-трещинном пространстве горных пород.

Газовая фаза рассматривается как специфически долгоживущий в геологическом времени след рудообразования [Фридман, 1970]. В настоящее время 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 и C_nH_m , при этом H_2 и CO встречаются еще реже [Наумов, Миронова, 2009]. Состав и концентрации газов варьируют в широких пределах: концентрация CO_2 может достигать 8 моль/кг раствора; CH_4 – 3 моль/кг раствора. Нередко в составе рудообразующих флюидов присутствует H_2S в виде собственной фазы высокой плотности.

Результаты изучения газо-флюидных включений указывают на то, что рудная минерализация переносится преимущественно в составе газовой фазы [Волков, Сидоров, 2010; Наумов, Миронова, 2009]. Если узкие интервалы аномально низких значений γ в зонах разломах можно интерпретировать дилатансионным упрочнением, то протяженные (более одного км) нелинейные по форме зоны аномальных значений γ , в частности для зон развития натриевых метасоматитов, могут быть объяснены только газонасыщенностью трещин пород [Кузин, 1999, 2012]. Эти породы на Украинском кристаллическом щите (УКЩ) характеризуются протяженностью на десятки и сотни км;

принадлежностью к зонам глубинных разломов мантийного заложения; содержанием в заметных количествах водорода и углеводородов; отсутствием признаков существенного перемещения блоков пород вдоль крупных рудоконтролирующих разломов в период рудообразования; изометричной или эллипсовидной в плане и нередко воронкообразной (или каплевидной) в разрезе формой альбититовых тел; резким выклиниванием альбититов вверх по восстанию, необъяснимым с тектонических позиций; отсутствием внутри альбититовых тел разрывных нарушений, с которыми можно связать образование катаклазитов; несоответствием между масштабом рудоконтролирующих разломов и внутриминерализационных подвижек, с одной стороны, и размахом проявления катаклаза – с другой; хаотичностью расположения в контуре катаклазитов участков интенсивного катаклаза и микробрекчирования; ограничением контуров катаклазитов границами метасоматических ареалов [Геологические структуры ..., 1986].

На недавно открытом крупном урановом месторождении в пределах Новокоптяковского рудного поля (УКЩ) при проведении горных работ неоднократно фиксировались газопроявления в виде тумана с характерным запахом газоконденсата. Газопроявления сопровождалась возгоранием метана [Лукин, 2011]. Помимо того, Кировоградский тектонический блок УКЩ и Кокчетавский массив (залежи урана в натриевых метасоматитах) являются еще и алмазоносными и золотоносными областями. Следовательно, образование зон с аномально высокими значениями γ не является исключением для урановой минерализации, а отражает общее свойство – перенос рудного вещества в составе газовой фазы флюида.

Вероятно, что газовая фаза флюида определяет характер распределения значений V_p/V_s , полученных по данным ГСЗ. Так, тепловая аномалия под озером Байкал, которую интерпретируют как магматическую камеру на разрезе профиля ГСЗ «Рифт», представлена блоком с пониженными значениями V_p/V_s . Это может означать, что в магматической камере сохраняется жесткость каркаса резервуара и присутствует газообразная фаза флюида [Кузин, 2012]. В целом, наблюдается значительное сходство сейсмических разрезов консолидированной коры по V_p/V_s в рудных и нефтегазоносных районах. На многих разрезах под месторождениями присутствуют блоки с пониженными значениями V_p/V_s [Кузин, 2009]. Это обстоятельство подтверждает высказанную гипотезу.

На многих рудных месторождениях фиксируется интенсивный поток газов (явление струйной миграции), например, в Хибинах [Хитаров и др., 1979]. Форма большинства карбонатитовых интрузий Кольской провинции отвечает веретенообразному симметричному штоку с отчетливо выраженным переходом магматическая камера–подводящий канал, при этом диаметр подводящего канала составляет $1/5$ – $1/3$ максимального диаметра интрузии. Для комплексов Ковдор и Себлявр вертикальная протяженность резервуаров достигала 15–20 км [Арзамасцев и др., 2012]. Можно предположить, что образование таких тел связано с прорывом газов в вышележащие слои пород и соответственно с сейсмическим процессом.

На месторождениях углеводородов газонасыщенность также является основным фактором возникновения сейсмического процесса. Для газового месторождения Лак сопоставление сейсмической активности, времени добычи и величины падения давления в коллекторе, расстояния от добывающей скважины до зоны разлома позволило сделать вывод, что уменьшение сейсмической активности вблизи Северо-Пиренейского разлома находит свое объяснение в связи с добычей газа. Закрытые разрывные нарушения в течение какого-то периода времени способны накапливать тектонические напряжения. Затем, при достижении предела насыщения упругой энергией, происходит разгрузка в виде сейсмических событий, приуроченных к Пиренейскому разлому [Грассо и др., 1994]. Для месторождений Лак и Газли экспериментально доказано, что они расположены на асейсмических тектонических блоках. Под асейсмичностью для тектонических блоков подразумевается их устойчивость к воздействию волн деформаций и напряжений.

При миграции газа в вышележающие слои происходит увеличение его объема. Например, если газ поднимается с глубины 5 км на глубину 10 м от поверхности Земли, то его объем увеличится в 140 раз. Изменение объема газа под воздействием тектонических процессов приводит к изменению газонасыщенности пород и, соответственно, их плотности, что является причиной изменения силы тяжести [Кузин, 1994]. Процесс вероятного накопления и прорыва газа был зафиксирован в ходе комплексных гравиметрических и газометрических исследований на Демидовском геодинимическом полигоне. Нужно отметить, что ранее о роли газовой фазы флюида как источника энергии в образовании структур взрывного типа говорилось в трудах А.Г. Бетехтина. Кроме того, в последние годы был обнаружен эффект пульсационного выделения метана (эффект «метанового дыхания моря»), что сопровождается изменением концентрации метана в

морской воде как в пространстве, так и во времени в зависимости от гидрометеорологического режима данной акватории [Мишуков и др., 2011].

Исследования, связанные с прогнозированием выбросов пород и газа в горных выработках, подтверждают роль газонасыщения как источника потенциальной энергии. Средние значения открытой пористости выбросоопасных (ВО) песчаников колеблются в пределах 6–10%, невыбросоопасных (НВО) в пределах 3–7% [Гречухин и др., 1995]. При этом ВО песчаники отличаются от НВО песчаников фильтрационными свойствами. При гидростатическом давлении 5 МПа коэффициент фильтрации у НВО песчаника на десятичный порядок превосходит этот показатель у ВО песчаника (рис. 3). При увеличении давления до 50 МПа разница составляет два порядка [Ставрогин, Тарасов, 2001].

На рис. 4 представлена схема строения флюидоактивной зоны для угольного разреза [Труфанов и др. 2004], дополненная автором статьи значениями коэффициента Пуассона из [Хохлов, 1993]. Эта схема хорошо согласуется с перечисленными свойствами ВО песчаников. Зона уплотненного, науглероженного, слабопроницаемого угля (зона бронирования) характеризуется наиболее низкими значениями коэффициента Пуассона, здесь отмечается максимум содержания рудных элементов, что подтверждает генетическую общность процесса накопления рудной минерализации, связанную с газовой фазой флюида.

Масштабы дегазации для различных регионов и геологических структур различны. Как показал Войтов Г.И., интенсивность дегазации на щитах меньше на порядок, чем в структурах альпийской складчатости [Войтов, 1986]. Следовательно, в различных геологических обстановках и структурах при наличии экрана для газа может происходить накопление упругой энергии.

Газом, широко представленным в генезисе рудной минерализации и углеводородов, как уже отмечалось выше, является метан. Ресурсы газогидратного метана оценивают величиной от $5 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ м³, это 1–2 порядка больше извлекаемых запасов газа, которые составляют $1.8 \cdot 10^{14}$ м³. Запасы свободных газов в залежах во много раз уступают ресурсам водорастворенных газов в тех же продуктивных комплексах. Ресурсы водорастворенного метана оцениваются величиной от 10^{16} до 10^{17} м³ [Валяев, 2012]. Новая интерпретация данных по изотопным гелиевым и углеродно-гелиевым системам позволила прийти к заключению о том, что процессы генезиса углеводородных флюидов

и месторождений охватывают широкий спектр геодинамических условий, включая и вулканические и гидротермальные, т.е. магматические процессы [Valyaev, Dremin, 2013]. Другими словами, нет четкой границы между «холодной» и «горячей» ветвями дегазации Земли, проявляется общая закономерность развития геологических процессов – их конвергенция.

Под газовыми, газоконденсатными и нефтяными месторождениями располагается тело, более упругое или жесткое относительно вмещающей среды. Ромашкинское нефтяное месторождение служит примером проявления сейсмичности в породах кристаллического фундамента. По данным интерпретации профиля ГСЗ «Мелеуз-Черемшан» под этим месторождением была выявлена более значительная по размерам высокоскоростная аномалия Р-волн [Краснопевцева, Кузин, 2008], аналогичная закономерность наблюдается для месторождений углеводородов на профиле ГСЗ «Волгоград-Нахичевань» [Краснопевцева, Кузин, 2009]. Все месторождения углеводородов Манычевского прогиба находятся на блоке с отрицательными значениями параметра Δt , отвечающими повышенным значениям скорости продольных волн (рис. 5).

В верхней части консолидированной коры нефтеносных районов по данным ГСЗ характерно преобладание относительно повышенных значений V_p/V_s (относительно повышенные значения V_p) [Кузин, 2011].

Из анализа результатов лабораторных определений скорости было установлено, что диапазон изменения значений V_p/V_s от содержания кремнезема меньше, чем от содержания воды [Кузин, 2011]. Отсюда, более вероятным будет влияние на значения V_p/V_s воды, чем кремнезема. На временных разрезах МОГТ, проходящих в пределах этого нефтеносного района (Южно-Татарский свод), нередко наблюдаются вертикальные зоны интенсивной сейсмической записи (рис. 6), которые интерпретируются [Кузин, 2011] как зоны разрывных нарушений, содержащих воду. Их образование связано с тем, что вода уменьшает рассеяние сейсмических волн на неоднородностях. Эти зоны можно рассматривать как каналы инфильтрации воды.

Обобщение данных по условиям залегания месторождений нефти позволило прийти к выводу, что генетически образование нефти тесно взаимосвязано с конвективными гидротермальными системами. Именно присутствие такой гидротермальной системы позволяет объяснить образование месторождений нефти в различных по геологическому строению и возрасту регионах [Кузин, 2011]. По данным

бурения глубоких скважин в пределах Ромашкинского месторождения в фундаменте наблюдается чередование зон повышенного поглощения бурового раствора и зон выделения газа. Аналогичные области были выделены в фундаменте под другими месторождениями нефти.

Сейсмичность может рассматриваться с позиции нефторудогенеза как сопутствующий процесс при образовании месторождений флюидного генезиса [Кузин, 2013, 2014]. Веским доводом в подтверждение тесной взаимосвязи сейсмического процесса и режима формирования месторождений флюидного генезиса служат данные по степенному закону распределения запасов в месторождениях, отвечающие модели лавинообразного процесса образования этих месторождений [Родкин и др., 2010]. Возможно, основное отличие процесса накопления рудной минерализации от углеводородов заключается в прекращении функционирования конвективной гидротермальной системы, отсутствии экрана для теплового потока в виде осадочного чехла.

ЛИТЕРАТУРА

Акимова А.А., Волгина А.И. О результатах совместных гравиметрических и газометрических наблюдений // Физика Земли. 1993. № 2. С. 90-92.

Арзамасцев А.А., Глазнев В.Н., Жирова А.М. Палеозойский магматизм северо-восточной части Фенноскандинавского щита: глубинное строение интрузий и этапы формирования // Геологическая среда, минерагенические и сеймотектонические процессы: Материалы XVIII междунар. науч.-практ. конф. 24-29 сентября 2012 г. Воронеж: Научная книга, 2012. С. 27-31.

Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям. М.: Центр ГЕОН, 2000. 194 с.

Валяев Б.М. Природа и особенности пространственного распространения нетрадиционных ресурсов углеводородов и их скоплений // Газовая промышленность. Спец. вып. 2012. С. 9-16.

Войтов Г.И. Химизм и масштабы современного потока природных газов в различных геоструктурных зонах Земли // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева, 1986. Том XXXI, № 5. С. 533-540.

Воларович М.П., Томашевская И.С., Будников В.А. Механика горных пород при высоких давлениях. М.: Наука, 1979. 152 с.

Волгина А.И. Современные геодинамические процессы в нефтегазоносных областях и их отражение в гравиметрических параметрах // Геофизика. 2003. № 5. С. 60-62.

Волков А.В., Сидоров А.А. Золото-сульфидные вкрапленные гиганты Северо-Востока России, закономерности размещения и условия образования // Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования: Материалы науч. конф. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 217-218.

Геологические структуры эндогенных урановых рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1986. 231 с.

Горбатиков А.В. Метод микросейсмического зондирования: исследование разрешающей способности, области и примеры применения // Современная тектонофизика. Методы и результаты: Материалы третьей молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2013. Т. 2. С. 3-17.

Грассо Ж.Р., Волан Ф., Фурментро Д., Мори В. Связь между извлечением углеводородов, локальными техногенными землетрясениями и крупными региональными землетрясениями на примере Пиренейского района // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти / Под ред. В. Мори и Д. Фурментро. М.: Мир, 1994. 416 с.

Гречухин В.В., Бродский П.А., Климов А.А., Козельский И.Т., Козельская В.Т., Воевода Б.И. Геофизические методы изучения геологии угольных месторождений. М.: Недра, 1995. 477 с.

Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 240 с.

Егоркин А.В. Многоволновые глубинные сейсмические исследования // Геофизика. 1996. № 4. С. 25-30.

Киссин И.Г. Подземные воды и сейсмические процессы // Подземные воды и эволюция литосферы: Материалы Всесоюз. конф. М.: Наука, 1985. Том II. С. 302-306.

Краснопевцева Г.В., Кузин А.М. Новые данные по изучению глубинного строения Южно-Татарского свода и его юго-восточного обрамления по профилю ГСЗ «Черемшан-Мелеуз» // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы: Материалы Всерос. конф. М.: ГЕОС, 2008, С. 233-236.

Краснопевцева Г.В., Кузин А.М. Комплексная сейсмическая интерпретация данных ГСЗ (продольные волны) на примере профиля «Волгоград-Нахичевань» // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всерос. совещ. г. Иркутск, 18-21 августа 2009 г. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. Т. 1. С. 61-63.

Кузин А.М. Механически жесткие образования геологической среды в процессах вулканизма, землетрясений, формирования и сохранения месторождений флюидного генезиса // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности: Материалы Всерос. конф. М.: ГЕОС, 2007. С. 134-135.

Кузин А.М. Некоторые особенности интерпретации волновых полей в зонах разрывных нарушений // Геофизика. 1999. № 5. С. 3-15.

Кузин А.М. О возможной природе относительно низких значений параметра V_p/V_s в рудных залежах флюидного генезиса // Геофизика. 2012. № 2. С. 11-17.

Кузин А.М. Отображение общих закономерностей в локализации месторождений флюидного генезиса по данным интерпретации сейсмических методов // Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов: Труды Всерос. (с междунар. участием) конф. Апатиты: Изд. Геологического института КНЦ РАН, 2009. С. 175-182.

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.

Кузин А.М. Разработка методики прогноза залежей флюидального генезиса по данным сейсмических методов // Прикладная геофизика. М.: Недра, 1994. Вып. 131. С. 396-406.

Кузин А.М. Реальная среда и интерпретация сейсмических данных // Геофизика. 2001. № 2. С. 19-28.

Кузин А.М. Сейсмичность – закономерное явление для месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса // Материалы Второго Всерос. симпозиума с междунар. участием и молодежной научной школы, посвященных памяти академиков Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского. Иркутск, 20-23 августа 2013 г. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2013. Том I. С. 186-192.

Кузин А.М. Общие черты – месторождения полезных ископаемых флюидного генезиса, землетрясения // Материалы XIX науч. практ. конф. с междунар. уч. «Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы». Москва, ИФЗ РАН, 7-10 октября 2014 г. М. 2014. С. 143-148.

Лобковский Л.И., Гарагаш И.А., Дубовская А.В. Связь напряженно-деформированного состояния земной коры Восточного Прикаспия с зонами возникновения очагов землетрясений // Доклады академии наук. 2013. Т. 449, № 4. С. 1-5.

Лукин А.Е. Создание учения о нефтегазоносных кристаллических массивах – насущная проблема геологии XXI века // Дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений. К 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина: Сб. тр. М.: ГЕОС, 2011. С. 405-441.

Мишуков В.Ф., Мишукова Г.И., Верещагина О.Ф. Изменчивость потоков метана на границе вода–атмосфера на акваториях впадины Дерюгина, шельфа и склона о-ва Сахалин Охотского моря // Геология морей и океанов: Материалы XIX междунар. науч. конф. (Школы по морской геологии). М.: ГЕОС, 2011. Том III. С. 53-57.

Наумов Г.Б., Миронова О.Ф. Природа газов флюидных включений в минералах // Докл. IX междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле». М. 2009. Т. 1. С. 207.

Родкин М.В., Граева Е.М., Шатахян А.Р. Модели процессов рудо- и нефтегенеза, обеспечивающие реализацию эмпирических законов распределения величин запасов месторождений и концентраций // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя: Материалы XLIII Тектон. совещ. М.: ГЕОС, 2010, Т. 2. С. 210-213.

Ружич В.В. Разломные узлы, их механизм и роль в становлении напряженного состояния земной коры Байкальской рифтовой зоны // Математические экспериментальные методы в дизъюнктивной тектонике. М.: Наука, 1986. 120 с.

Ставрогин А.Н., Тарасов Б.Г. Экспериментальная физика и механика горных пород. СПб.: Наука, 2001. 343 с.

Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., Майский Ю.Г., Труфанов А.В. Углеродная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. Ростов на Дону: Изд-во Ростовск. ун-та, 2004. 272 с.

Туранк К., Фурментро Д., Дени А. Распространение волн и границы раздела в породах // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти / Под ред. В. Мори и Д. Фурментро. М.: Мир, 1994. 416 с.

Турунтаев С.Б., Еремеева Е.И., Зенченко Е.В. Динамика сейсмического процесса, вызванного изменением порового давления // Триггерные эффекты в геосистемах: Тез. докл. Семинара-совещания (Москва, июнь 2010 г.). М.: ИДГ РАН, 2010. С. 101-102.

Фридман А.И. Природные газы рудных месторождений. М.: Недра, 1970. 192 с.

Хитаров Н.И., Кравцов А.И., Войтов Г.И., Ортенберг Н.А., Павлов А.С. Газы свободных выделений Хибинского массива // Советская геология. 1979. № 2. С. 62-73.

Хохлов Н.М. Мониторинг деформаций в осадочных породах по измерениям скоростей сейсмических волн в скважинах // Междунар. геофиз. конф. SEG-EАГО / Москва 93: Сб. реф. М., 1993. Р. 5.7, С. 64.

Goldberg I.S., Abramson G.J., Haslam C.O., Los V.L. Depletion and enrichment zones in the Bendigo gold field: a possible source of gold and implications for exploration // Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. 2007. Vol. 102. P. 745-753.

Sibson R.H. Earthquake rupturing as a hydrothermal mineralizing agent // Geology. 1987. Vol. 15. P. 701-704.

Valyaev B., Dremmin I. Recycling of crustal matter and the processes of mantle-crust interaction in the genesis of hydrocarbon fluids // International Conference on Gas Geochemistry 2013, Patras, Greece (1-7 September 2013): Book of abstracts. Patras, 2013. P. 32.

ПРИЛОЖЕНИЕ

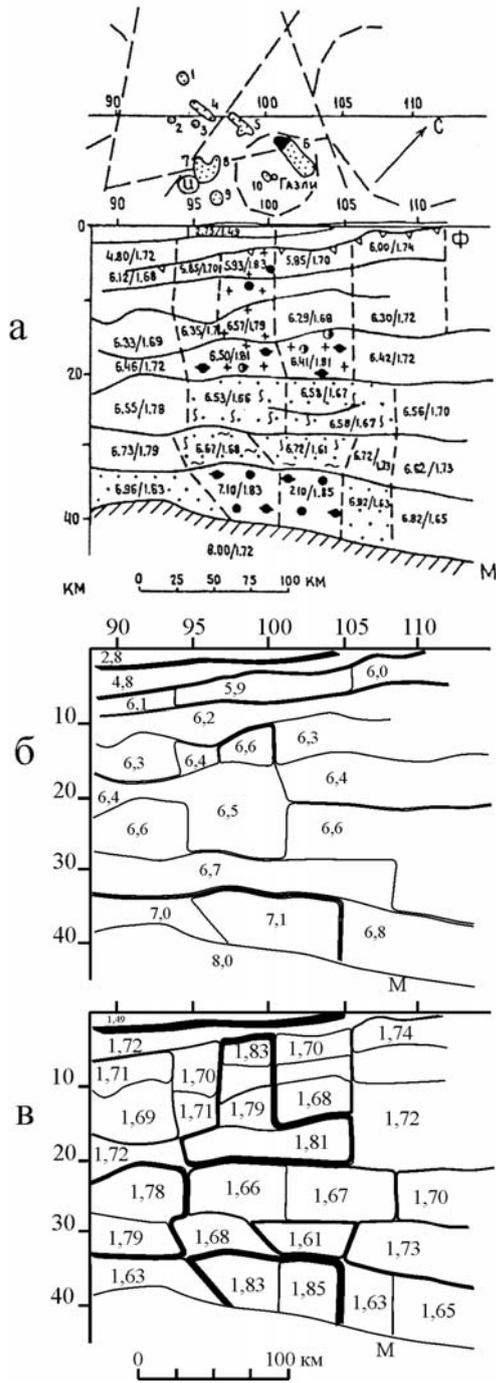


Рис. 1. Фрагмент геотраверса «г. Мары – Татарский пролив»

а – схема расположения месторождений углеводородов вдоль фрагмента геотраверса «г. Мары – Татарский пролив» и глубинный сейсмический разрез [Булин, Егоркин, 2000]. Месторождения углеводородов: 1 – Даяхатын, 2 – Хаджиказган, 3 – Сев. Сузьма, 4 – Кульдешкак, 5 – Учкыр, 6 – Газли, 7 – Джаркак, 8 – Акжар, 9 – Караиз, 10 – Таскудук

б – глубинный разрез распределения скорости продольных волн (V_p)

в – глубинный разрез распределения параметра V_p/V_s . Разрезы (б и в) выполнены в интерпретации автора

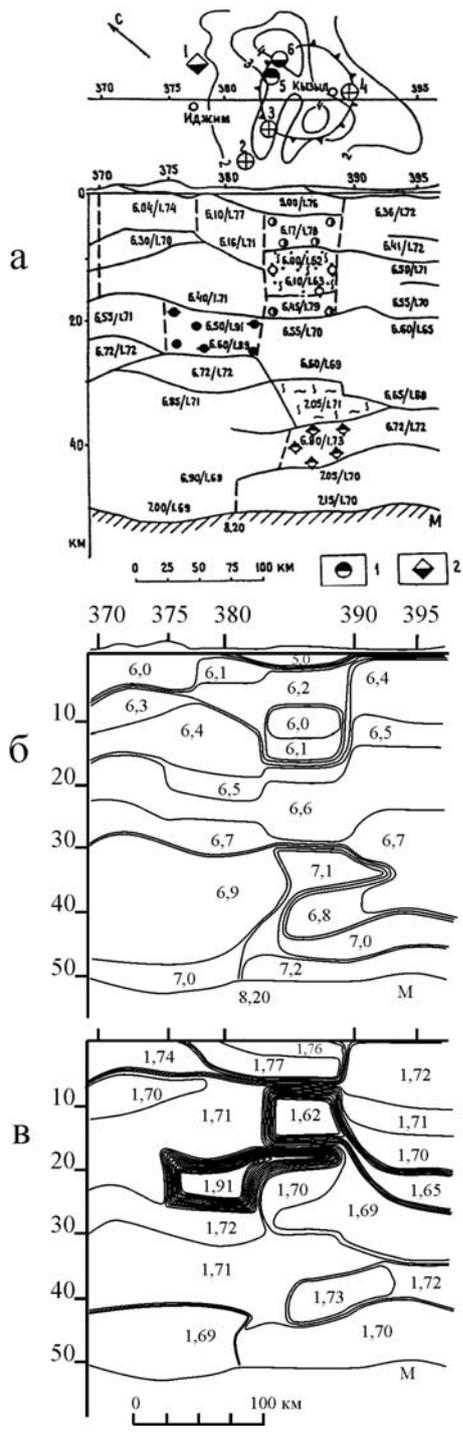


Рис. 2. Фрагмент геотраверса «Мурманск – Кызыл»

а – схема расположения рудных месторождений вдоль фрагмента геотраверса «Мурманск – Кызыл» и глубинный сейсмический разрез [Булин, Егоркин, 2000]. Минерагенические объекты: 1 – Саянское месторождение асбеста хризолитового, 2 – Терлигайское, 3 – Арзакское, 4 – Торасайрское месторождения ртути, 5 – Кызык-Чадрское месторождение меди, 6 – Усть-Уюкское месторождение урана

б – глубинный разрез распределения скорости продольных волн (V_p)

в – глубинный разрез распределения параметра V_p/V_s . Разрезы (б и в) выполнены в интерпретации автора

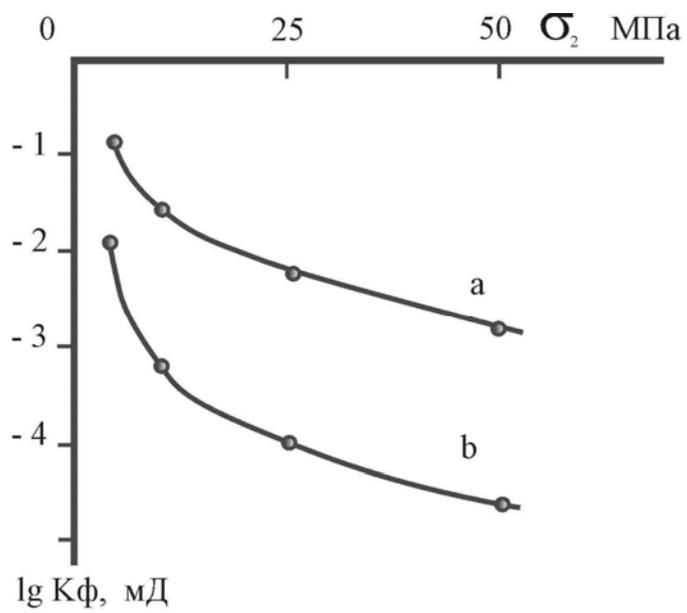


Рис. 3. Зависимость коэффициента фильтрации K_f от уровня гидростатического сжатия σ_2 для невыбросоопасных (а) и выбросоопасных (б) песчаников [Ставрогин, Тарасов, 2001]

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ФЛЮИДОАКТИВНОЙ ЗОНЫ

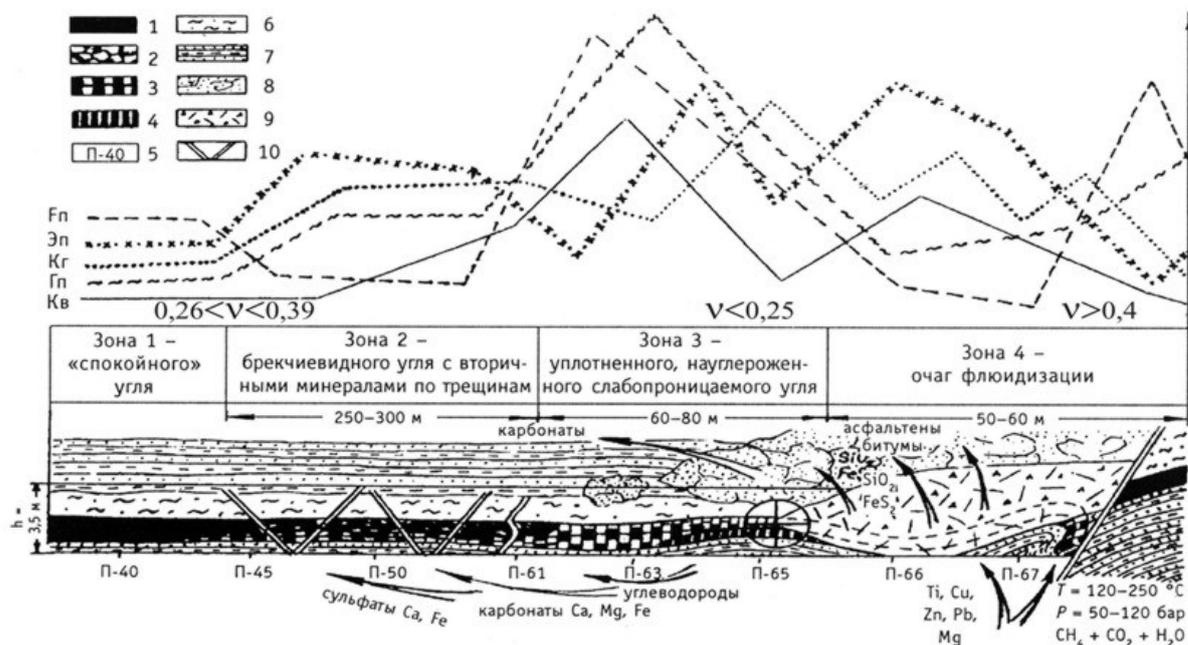


Рис. 4. Принципиальная схема строения и формирования флюидоактивной зоны

1–4 уголь «спокойный»; брекчиевидный; линзо-полосчатый; милонитизированный; 5 – номера пикетов; 6 – аргиллиты; 7 – алевролиты; 8 – песчаники; 9 – расптыбованный уголь в очаге флюидизации; 10 – тектонические нарушения; Fn – показатель флюидоактивности; Эп – электрополяризационный показатель; Гп – геохимический показатель ($\text{CuPbZnTi} / \text{BeGeMoV}$); Кв – показатель восстановленности флюидов (\square восстановленных газов) / (\square окисленных газов); Кг – коэффициент газоносности (\square газов) / H_2O . [Труфанов, Гамов, Рылов, Майский, Труфанов, 2004]. Классификация тектонической нарушенности среды по значениям коэффициента Пуассона пород Донбасса: для ненарушенных пород – $0,26 < \nu < 0,39$; для трещиноватых – $\nu > 0,4$; для напряженных – $\nu < 0,25$ [Хохлов, 1993]

ФРАГМЕНТ ПРОФИЛЯ ГСЗ «ВОЛГОГРАД-НАХИЧЕВАНЬ»

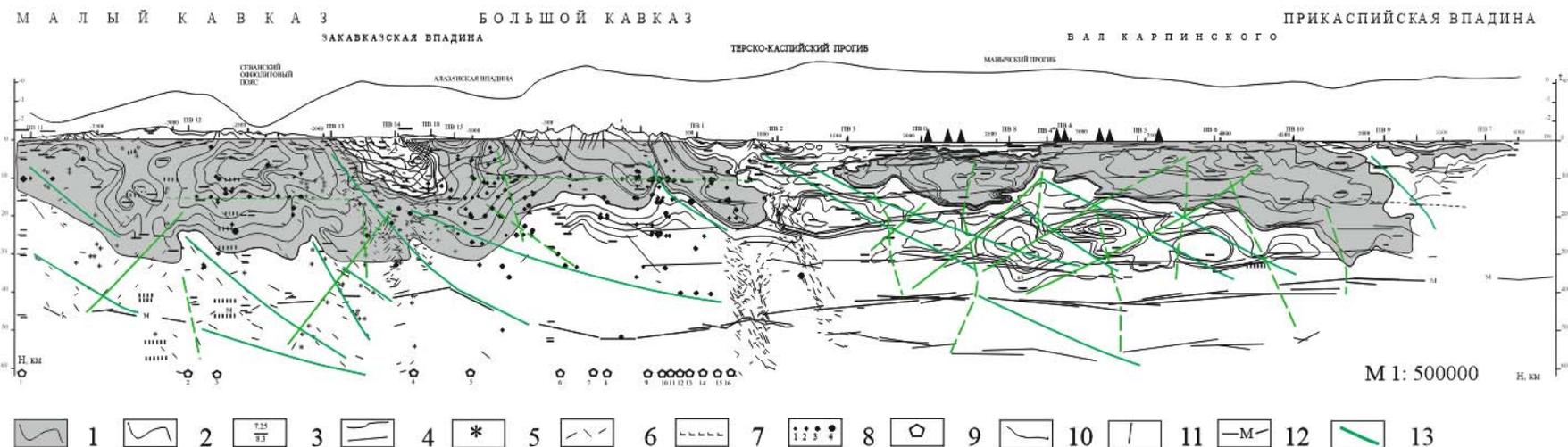


Рис. 5. Фрагмент профиля ГСЗ «Волгоград – Нахичевань»

1 – отрицательные значения параметра Δt ; **2** – положительные значения параметра Δt ; **3** – значения скорости продольных волн на сейсмических границах; **4** – сейсмические границы; **5** – точки дифракции; **6** – фрагментарные отражающие границы; **7** – точки обмена; **8** – гипоцентры очагов землетрясений: 1 – $M < 4$, 2 – $4 < M < 5$, 3 – $5 < M < 6$, 4 – $6 < M$; **9** – положение на профиле мантийных очагов землетрясений, в скобках глубина очага в км: 1 – (887), 2 – (1930), 3 – (1320), 4 – (800), 5 – (410), 6 – (1980), 7 – (100), 8 – (150), 9 – (74), 10 – (100), 11 – (100), 12 – (100), 13 – (100), 14 – (115), 15 – (123), 16 – (97); **10** – геологические границы, включая разрывные нарушения (по материалам В.И. Шевченко); **11** – проекция на профиль нефтегазоносных районов; **12** – граница Мохоровичича; **13** – предполагаемые границы [Краснопевцева, Кузин; 2009]

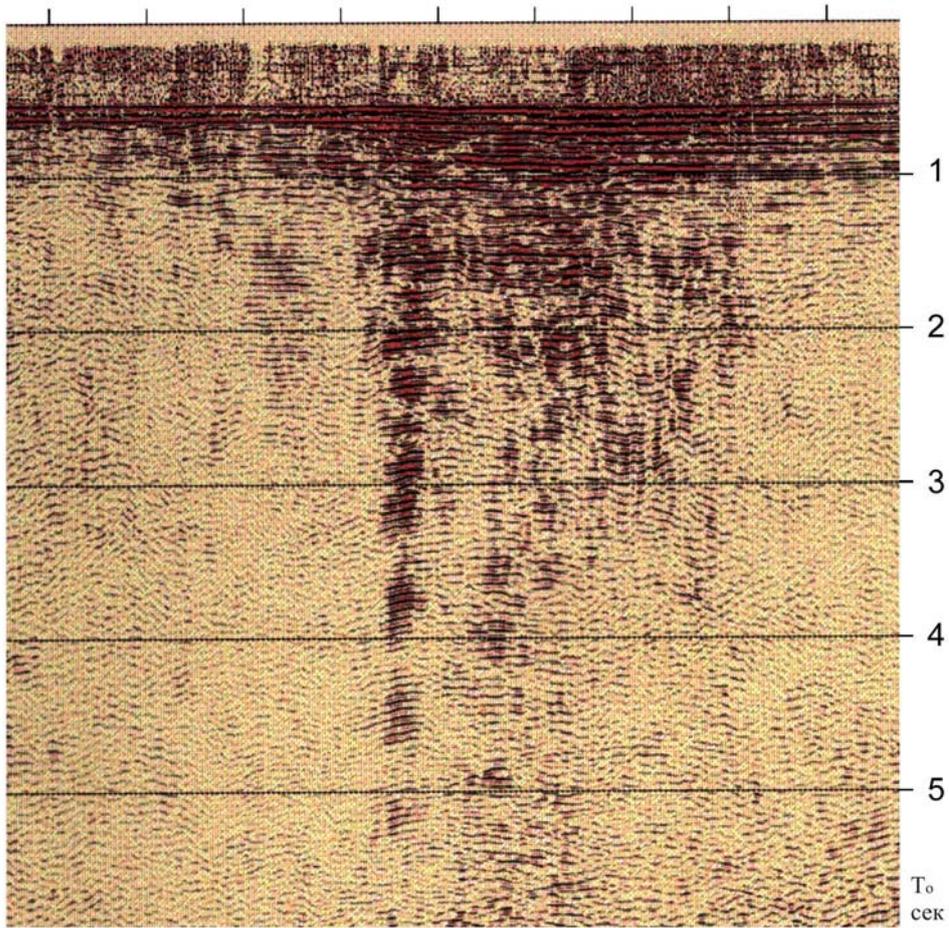


Рис. 6. Фрагмент временного разреза МОГТ по геотраверсу «Татсейс» (обработка ИГиРГИ, 2005 г.)