

# Формирование зон разуплотненных пород в образованиях фундамента и новые технологии сейсморазведки их картирования

**В.Л. Шустер**

д.г.-м.н., профессор, главный научный сотрудник<sup>1</sup>, академик<sup>2</sup>  
tshuster@mail.ru

<sup>1</sup>Институт Проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>РАЕН, Москва, Россия

**Рассмотрены основные первичные и вторичные геологические факторы, влияющие на формирование пустотности в массивных породах фундамента. Предложены новые технологии сейсморазведки, разработанные российскими учеными, позволяющие прогнозировать такие зоны.**

**Материалы и методы**

Геолого-геофизические материалы по Западной Сибири, Вьетнаму.

**Ключевые слова**

фундамент, нефть, трещиноватость, разуплотненные породы, сейсморазведка, рассеянные волны

Большинство открытых залежей нефти (газа) в породах фундамента приурочено преимущественно к трещиноватым коллекторам. Именно зоны развития разуплотненных трещинных, трещинно-каверновых и трещинно-каверново-поровых пород-коллекторов и являются очагами аккумуляции углеводородов из окружающих осадочных нефтегазопроизводящих толщ. Согласно нашим представлениям, формирование зон разуплотненных трещиноватых пород фундамента происходит под воздействием статических и динамических внутренних и внешних напряжений при относительно быстром снижении давления и температуры, сопровождаемом импульсом выделяемой энергии, который и является первопричиной разрушения, т.е. разуплотнения пород.

Распространение импульса энергии в виде волны приводит к переносу энергии из области разрыва в окружающую среду, к перераспределению напряжений и уплотнению окружающих пород соответственно объему возникшего разуплотненного пространства.

Какие же геологические факторы влияют на формирование пустотного пространства в кристаллических породах фундамента?

Анализ геологических материалов по зарубежным месторождениям нефти (газа) в образованиях фундамента [2] и месторождениям в Западной Сибири [1] показал, что в кристаллических породах распространена преимущественно трещинная, трещинно-каверновая пустотность, которая распространена крайне неравномерно как по площади, так и по разрезу (рис. 1). Максимальная часть полученного притока нефти из многосотметрового опробованного разреза фундамента на месторождении Белый Тигр (Вьетнам) зачастую приурочена к небольшим интервалам в 20–40 м (до 60–80% притока). А на северном своде того же месторождения первые породы-коллекторы в разрезе встречены на глубине -500–700 м от поверхности фундамента, верхняя же часть — плохопроницаемые породы (рис. 2).

Нами [2] модель строения залежи нефти в фундаменте названа неравномерно-ячеистой, тем самым подчеркивается сложный характер строения подобных ловушек: неравномерное распространение коллекторов в разрезе, в виде незначительных по размерам тел (ячеек).

Одним из факторов, сдерживающих поисково-разведочные работы на нефть и газ в фундаменте, было существовавшее долгие годы представление об ограниченном (корой выветривания) распространении трещиноватых пород в разрезе фундамента; т.е. их низкой пустотности. Однако в последние годы полученные новые данные по Татарстану [3, 4] по сверхглубоким скважинам СГ-6

и СГ-7 в Западной Сибири и по зарубежным месторождениям [2] позволили установить с полной определенностью факт распространения трещинно-кавернозных пород в массивных, в том числе, кристаллических толщах на значительную глубину от их поверхности (этаж нефтеносности в гранитоидах месторождения Белый Тигр достигает 2000 м).

На формирование пустотности в кристаллических породах фундамента влияет ряд факторов.

Формирование пустотности в гранитоидных массивах начинается со стадии остывания магмы. Начальная температура магматического расплава составляет порядка 900°C. Остывание происходит неравномерно, наиболее быстро на контакте с вмещающими «холодными» породами, температура которых значительно ниже, чем у магмы. Поэтому по периферии интрузивного тела в результате такого относительно быстрого остывания происходит образование жесткого каркаса быстро затвердевшей лавы (зоны «закалки»). По причине такого скоротечного остывания (на сотни градусов Цельсия) и значительного перепада давления происходит существенное уменьшение объема тела. Какая-то часть этой усадки приходится и на создание контракционной пустотности (зон разуплотнения), оная в [5] оценивается по результатам изучения Казахстанских гранитоидных массивов в 2–3% от общего объема остывшего тела. Пустотность выражена в трещинах, кавернах, раковинах, полостях, камерах, размеры которых могут достигать десятков метров. На нефтяном месторождении Оймаша контракционную пустотность в фундаменте оценивают [6] в 8% от объема остывшего кристаллического массива.

Уже на стадии остывания магмы на формирование пустотности начинают оказывать влияние тектонические процессы, которые действуют в продолжение всей геологической истории. Многочисленные примеры связи трещиноватости (хороших ФЕС пород и нефтеносности) с зонами крупных разломов по мировым месторождениям нефти в фундаменте показаны в работе [7]. В Западной Сибири такая связь установлена в зоне (и вблизи зоны) Уренгой-Колтогорского разлома, где открыт ряд скоплений нефти в коре выветривания фундамента, а также в зоне крупного Шаимского разлома, где также открыты нефтяные месторождения в фундаменте [8, 9].

Помимо первичных процессов, на формирование пустотности оказывает влияние также и последующее вторичное геохимическое преобразование пород. Интенсивность и результат этих преобразований в значительной степени зависят от состава пород и характера изменения основных породообразующих минералов. Так, под воздействием

высокотемпературных глубинных гидротермальных растворов на месторождении Белый Тигр отмечена приуроченность высоких фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород и повышенной продуктивности к наиболее кислым магматическим породам, в первую очередь, к гранитоидам. На месторождении Оймаша (Казахстан) максимальными дебитами (до 350 т/сут) и наилучшими ФЕС пород ( $K_n = 3,4-7\%$ , иногда до 12,4%) характеризуются трещиноватые граниты. На месторождении Ла-Пас, Венесуэла максимальные дебиты также получены из гранитов, на месторождении Бомбей-Хай, Индия — из гранито-гнейсов.

В Западной Сибири на ряде крупных структур (Красноленинский свод, Шаимский вал) закартированы участки, где фундамент представлен кислыми породами и где на образование трещинной пустотности одновременно положительно влияют значительное тектоническое напряжение, связанное с зонами разломов, и состав пород фундамента, в которых под воздействием гидротермальных процессов пустотность увеличивается. Здесь, по-видимому, можно прогнозировать развитие зон множественной трещиноватости (дилатансии) и рекомендовать поисково-разведочные работы на нефть в фундаменте.

На формирование вторичной пустотности оказывают влияние также и гипергенные процессы, с которыми связано образование кор выветривания. Именно с корами выветривания фундамента до настоящего времени и связаны, в основном, полученные промышленные притоки нефти.

В последние годы в отечественной сейсморазведке были разработаны новые технологии с использованием рассеянных волн [10–12], позволяющие выделять трещинно-кавернозные зоны в массивных плотных магматических (а также в метаморфических и карбонатных) породах. Эти волны представляют собой отклик от скопления множества неоднородностей, какими являются трещины и каверны, заполненные газом или флюидом (нефтью, водой) на падающий фронт упругой волны.

Результующим параметром в этих методиках является энергия рассеянных волн. Этому параметру эквивалентна по смыслу интенсивность трещиноватости.

Новые технологии позволяют на предварительной, перед бурением, стадии выделять зоны или участки разреза разуплотнённых пород-коллекторов с высокими ФЕС и целенаправленно выбирать местоположение и глубину проектных скважин (рис. 3).

Таким образом, выявлены основные геологические факторы, влияющие на формирование зон разуплотнённых трещиноватых пород-коллекторов в кристаллических породах фундамента.

Первичная пустотность образуется в результате остывания магмы и тектонических процессов. Вторичная, наложенная пустотность формируется под воздействием гидротермальных и гипергенных процессов.

Предложены методы сейсморазведки с использованием рассеянных волн, позволяющие картировать эти зоны в образованиях фундамента.

## Итоги

На основании анализа геологических факторов формирования пустотности обоснована модель строения массивных пород.

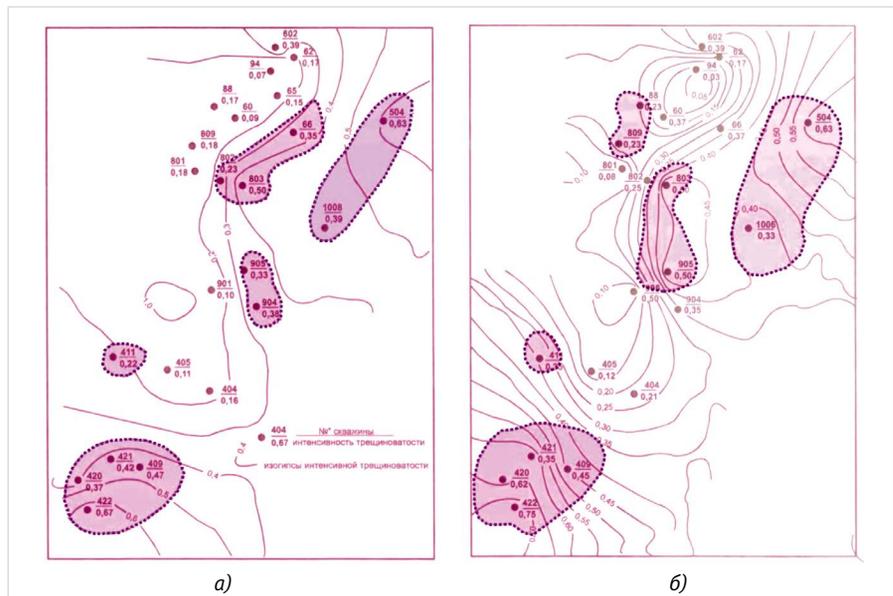


Рис. 1 — а — Распределение интенсивности трещиноватости вскрытого фундамента (данные ВИНГ, 1994 г.); б — Распределение интенсивности трещиноватости 200 м ниже кровли фундамента (данные ВИНГ, 1994 г.)

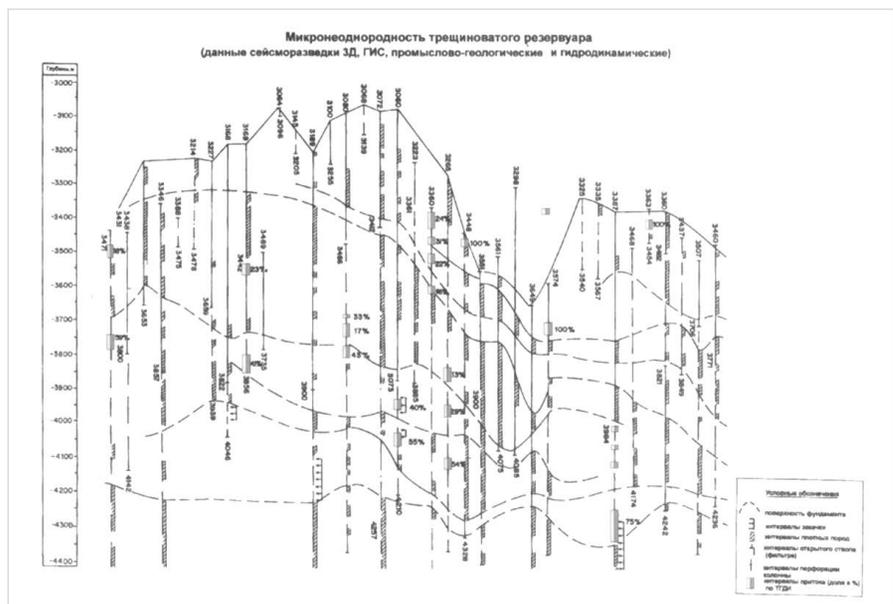


Рис. 2 — Микронеоднородность трещиноватого резервуара (данные сейсморазведки 3D, ГИС, промыслово-геологические и гидродинамические)

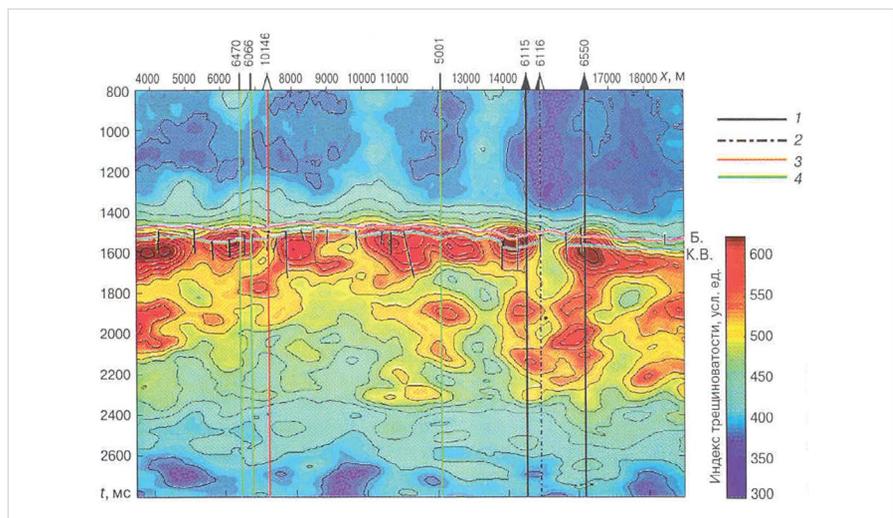


Рис. 3 — Вертикальный разрез поля трещиноватости вдоль профиля с вынесенными скважинами результатами испытаний коры выветривания: 1 — приток нефти; 2 — пленка нефти; 3 — сухо; 4 — испытания не проводились. Северо-Даниловское месторождение (Ю.Л. Курьянов и др., 2008)

**Выводы**

Обоснована неравномерно-ячеистая модель строения гранитоидных массивов. Даны рекомендации по выбору положения и обоснованию глубины проектных скважин.

**Список используемой литературы**

1. Димитриевский А.Н., Шустер В.Л., Пуанова С.А. Доюрский комплекс Западной Сибири — новый этаж нефтегазоносности (Проблемы поисков, разведки и освоения месторождений углеводородов). LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 135 с.
2. Шустер В.Л. Проблемы нефтегазоносности кристаллических пород фундамента. М.: Геоинформмарк, 2003. 48 с.
3. Муслимов Р.Х., Лапинская Т.А. Кристаллический фундамент Татарстана и проблемы его нефтегазоносности. Казань: Дента, 1996. 487 с.
4. Хахаев Б.Н., Горбачев В.И., Бочкарев В.С. и др. Основные результаты сверхглубокого бурения в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Сб. докладов «Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности». Новосибирск. 2008. С. 224–227.
5. Осипов М.А. Формирование расслоенных плутонов с позиции термоусадки. М.: Наука, 1982. 233 с.
6. Попков В.Н., Рабинович А.А., Туров Н.И. Модель резервуара газовой залежи в гранитном массиве // Геология нефти и газа. 1989. № 8. С. 27–30.
7. Шустер В.Л., Такаев Ю.Г. Мировой опыт изучения нефтегазоносности кристаллического фундамента. Разведочная геофизика. М.: Геоинформмарк, 1997. 71 с.
8. Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Нестеров Н.И. (мл.), Нечипорук Л.А. Закономерности размещения залежей нефти и газа в Западно-Сибирском мегабассейне // Горные ведомости. 2007. № 10. С. 6–23.
9. Куряшева Н.К. Прогнозирование, картирование залежей нефти и газа в верхней части доюрского комплекса по сейсмологическим данным в Шаймском нефтегазоносном районе и на прилегающих участках. Автореферат кандидатской диссертации. Тюмень, 2005. 22 с.
10. Курьянов Ю.А., Кузнецов В.И. и др. Опыт использования поля рассеянных сейсмических волн для прогноза трещиноватых зон // Технология сейсморазведки. 2008. №1. С. 60–69.
11. Кремлев А.Н., Ерохин Г.Н. и др. Прогноз коллекторов трещинно-кавернового типа по рассеянным сейсмическим волнам // Технологии сейсморазведки. 2008. №3.
12. Левянт В.Б., Шустер В.Л. Выделение в фундаменте зон трещиноватых пород методами сейсморазведки 3Д // Геология нефти и газа. 2002. №2. С. 21–26.

ENGLISH

GEOLOGY

UDC 551

## The formation of zones of uncompacted rocks in the formations of the basement and new seismic technology to map

**Authors:**

Vladimir L. Shuster — Sc. D. (geology), professor, chief research worker<sup>1</sup>, academician<sup>2</sup>; [tshuster@mail.ru](mailto:tshuster@mail.ru)

<sup>1</sup>Institute of oil and gas problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The article described the main primary and secondary geological factors influencing the formation of voidness in the massive basement rocks. In work was proposed the new seismic technology developed by Russian scientists, allowing predicting areas.

Western Siberia, Vietnam.

**Results**

Based on the analysis of the geological factors in the formation of voidness grounded model for the structure of massive rocks.

structure of the granitoid massifs. Recommendations on the choice and justification of the depth of the wells project have done.

**Keywords**

basement, oil, fracture, uncompacted rocks, seismic, scattered waves

**Materials and methods**

Geological and geophysical data of

**Conclusions**

Justified unevenly-mesh model of the

**References**

1. Dimitrievskiy A.N., Shuster V.L., Puanova S.A. *Doyurskiy kompleks Zapadnoy Sibiri — novyy etazh neftegazonosnosti (Problemy poiskov, razvedki i osvoeniya mestorozhdeniy uglevodorodov)* [Pre-Jurassic complex of Western Siberia is new layout of petroleum deposits (Problems of exploration and development the hydrocarbons)]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, 135 p.
2. Shuster V.L. *Problemy neftegazonosnosti kristallicheskih porod fundamenta* [The petroleum problem of crystalline rock basement]. Moscow: *Geoinformmark*, 2003, 48 p.
3. Muslimov R.Kh., Lapinskaya T.A. *Kristallicheskiy fundament Tatarstana i problemy ego neftegazonosnosti* [Tatarstam crystalline rock and problem of its petroleum deposits]. Kazan: *Denta*, 1996, 487 p.
4. Khakhaev B.N., Gorbachev V.I., Bochkarev V.S. i dr. *Osnovnye rezul'taty sverkhglubokogo bureniya v Zapadnosibirskoy neftegazonosnoy provintsii* [Main results of extra-deep drilling on Western Siberia oil-and-gas province]. Book of reports "Fundamental rock, structures of margins the West Siberian Mesozoic and Cianozoic stand-by tank and its geodynamical evolution and oil-and-gas problems", Novosibirsk, 2008, pp. 224–227.
5. Osipov M.A. *Formirovaniye rassloennykh plutonov s pozitsii termousadki* [Formation of laminated plutons from a perspective of heat shrinkage]. Moscow: *Nauka*, 1982, 233 p.
6. Popkov V.N., Rabinovich A.A., Turon N.I. *Model' rezervuara gazovoy zalezhi v granitnom massive* [Model of gas deposits in the granite massif]. *Geologiya nefiti i gaza*, 1989, issue 8, pp. 27–30.
7. Shuster V.L., Takayev Yu.G. *Mirovoy opyt izucheniya neftegazonosnosti kristallicheskogo fundamenta. Razvedochnaya geofizika* [World experience of studying oil and gas potential of the crystalline rock. Exploration geophysics]. Moscow: *Geoinformmark*, 1997, 71 p.
8. Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M., Nesterov N.I. (jr.), Nchiporuk L.A. *Zakonomernosti razmeshcheniya zalezhey nefiti i gaza v Zapadno-Sibirskom megabasseyne* [Pattern of location the oil and gas in Western Siberia megabasin]. *Gornye vedomosti*, 2007, issue 10, pp. 6–23.
9. Kuryshcheva N.K. *Prognozirovaniye, kartirovaniye zalezhey nefiti i gaza v verkhney chasti doyurskogo kompleksa po seysmologicheskim dannym v Shaimskom neftegazonosnom rayone i na priliegayushchikh uchastkakh* [Forecasting, mapping of oil and gas in the upper part of the pre-Jurassic zone seismological data in Shaim oil and gas region and adjacent areas]. Tyumen, 2005, 22 p.
10. Kur'yanov Yu.A., Kuznetsov V.I. i dr. *Opyt ispol'zovaniya polya rasseyannykh seysmicheskikh voln dlya prognoza treshchinovatykh zon* [Experience in the use of the field scattered seismic waves for forecasting fractured zones]. *Tekhnologiya seysmorazvedki*, 2008, issue 3, pp. 60–69.
11. Kremlev A.N., Erokhin G.N. i dr. *Prognoz kollektorov treshchinno-kavernovogo tipa po rasseyannym seysmicheskim volnam* [Forecast fracture-cavern collectors by scattered seismic waves]. *Tekhnologiya seysmorazvedki*, 2008, issue 3.
12. Levyant V.B., Shuster V.L. *Vydeleniye v fundamente zon treshchinovatykh porod metodami seysmorazvedki 3D* [Isolation in the foundation zone of fractured rock by seismic exploration 3D-methods]. *Geologiya nefiti i gaza*, 2002, issue 2, pp. 21–26.