

## Анализ разведки: новые парадигмы

Exploring exploration: new paradigms

**Известный благодаря своей исследовательской работе, связанной с углеводородами, ученый из Западной Сибири, профессор Николай П. Запивалов, Институт нефтяной геологии, Новосибирск, Россия, воспользовался проводимой два раза в году конференции Индийской Ассоциации геологов-нефтяников (APG) (проведенной в Гоа в прошлом сентябре) для оспаривания некоторых традиционных теорий о происхождении нефти и газа и о том, как следует проводить их поиски. Мы публикуем эту отредактированную версию его официального выступления.**

Американский нефтяной журнал *AAPG Explorer* однажды задал вопрос: что обнаруживает нефть? Ответы были разными, но многие профессионалы отреагировали с «идеями». Фактически, идеи, вера и интуиция имеют важное значение в изучении и разведке нефти и газа, и наряду с профессиональными знаниями, — главные критерии при исследованиях. Однако в последние годы стало ясно, что мы нуждаемся в новых идеях, которые могли бы быть преобразованы в новые технологии.

Опыт, полученный во второй половине 20-ого века, противоречит некоторым классическим теориям. Например, теория органического происхождения нефти и непереносимое наличие особых нефтематеринских пород еще не подтверждена. Антиклинальная теория потеряла некоторое доверие. Мы обнаруживаем, что нефть часто не встречается в структурных условиях, которые считаются объектом поисков распространенных в практике методов, особенно сейсморазведки, которые все еще нацелены на обнаружение структурных ловушек. Понятие пункта сбора и крышка залежи собирания также стало менее убедительным. Это сомнение в методике разведки отражено в коэффициенте успеха разведки, который остается низким (около 30 % в среднем для мира). Кроме того, прогнозы и виртуальные оценки ресурсов и запасов часто не подтверждаются на практике. Нефть может быть обнаружена в любых образованиях и условиях. Российские геологи всегда держали это в уме и породили активные дебаты на различных конференциях. Другие ученые также начинают признавать неорганическую теорию происхождения нефти.

Subir Raha на встрече геофизиков в г. Мумбай хорошо обобщил сложившуюся ситуацию, когда он сказал делегатам: «генерация и миграция углеводородов включает бесчисленные варианты, которые приводят к неопределенностям и

присущим рискам в разведке. Геофизики могут сыграть важную роль в сокращении этих неопределенностей и рисков, и их превращении в выгодные возможности».

### Новые теоретические парадигмы

#### *Разум над машиной*

По моему мнению, теория геологии нефти должна быть пересмотрена. Многие «классические» принципы подверглись критическому анализу. Индийские геологи играли ведущую роль в этой творческой деятельности. 2-ая конференция Ассоциации геологов-нефтяников в Khajuraho (сентябрь 2004 г.) была примером большого проявления и обсуждения новых идей, концепций и технологий. Темой конференции была «Разведка на высоком уровне для обнаружения большего количества нефти и газа». Это было великолепным событием, организованным под руководством покойного доктора D. Ray. Подобной интересной тематикой для 3-ей конференции APG, проведенной в Гоа в сентябре 2006 года стал «Анализ разведки — разум над машиной». Мы,

как геологи и геофизики, действительно должны внести свежий воздух в геологию нефти и повторно постичь много вещей, включая происхождение углеводорода, материнские породы, ловушки, флюидодинамические процессы и т.д.

Как геолог в течение 50 лет, я должен признать, что пробовал сменить мои классические представления, приобретенные в 20-ом веке, чтобы «выглядеть молодым», по крайней мере, как профессионал 21-ого века. В 1958 г. я выделял массив материнской породы (Баженовский горизонт поздней Юры) в Мезозойских отложениях Западной Сибири. Это был классический пример органической теории происхождения нефти (теория миграции седиментации). Некоторые геологи до сих пор думают, что этот горизонт был единственным источником генерации углеводорода для всего продуктивного мезозойского разреза Западной Сибири. Но много лет спустя, я отклонил собственное геохимическое открытие и теперь не рассматриваю Баженовский горизонт в качестве материнских пород широкой

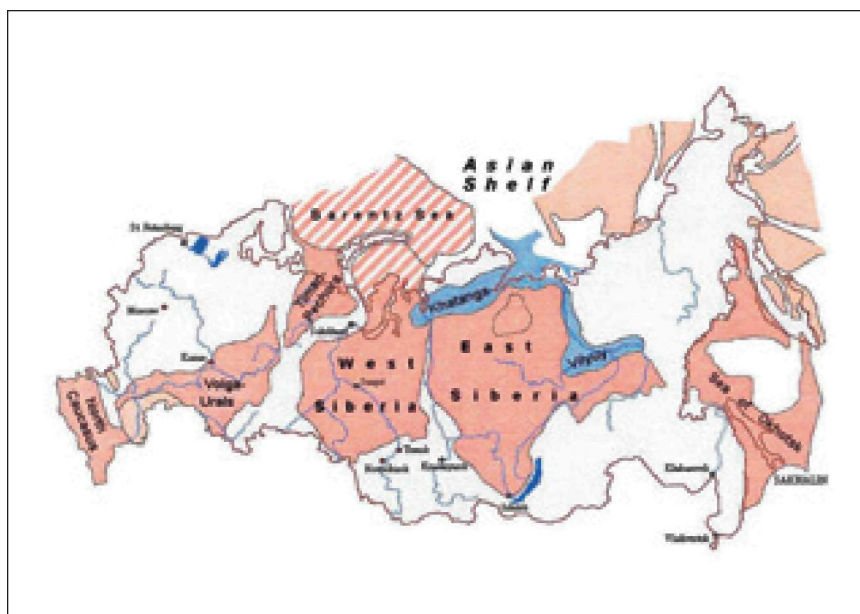


Рис. 1. Нефтеносные и газоносные провинции России.



Рис. 2. Месторождение Малоичское (-2750 — обобщенная изолиния вдоль Палеозойского чехла).

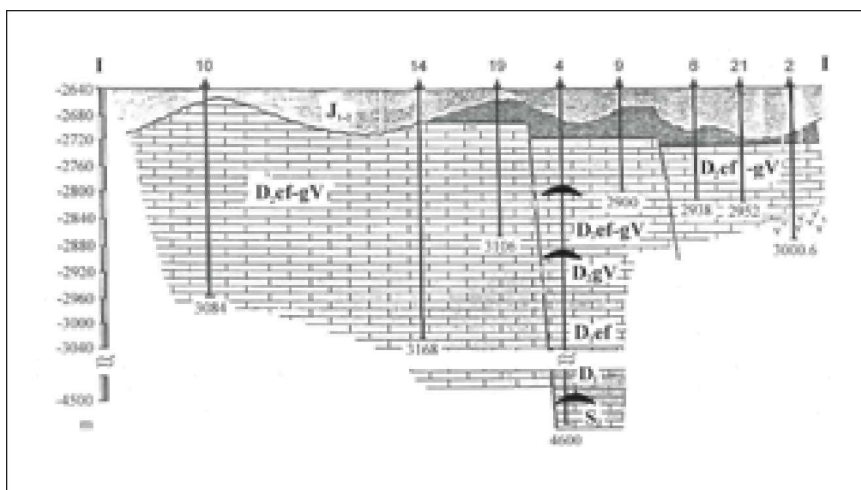


Рис. 3. Разрез вдоль профиля I-I.

распространенности. В результате, я уверенно склонял оппонентов из «классической школы» 20-ого века. Но я хочу процитировать А. И. Леворсена, который заявил в своей работе «Геология нефти» (1967 г.), что происхождение нефти и газа теряло свое значение, как обязательная предпосылка для разведки. Итак, нет необходимости в поиске особых материнских пород. Профессор Еременко и George Chillingar в их книге «Геология нефти и газа на границе столетий» (1996 г., на русском) отметили, что быстрый прогресс нефтяной промышленности привел к несоответствию между теорией и фактами. Авторы полагали, что было необходимо улучшить наши знания и сменить технологии как в «новых», так и «старых»

разработанных областях. Я разделяю их мнение о том, что процесс генерации углеводородов является постоянным и общим, в то время как процессы формирования месторождения, жизнь месторождения и регенерация месторождения удовлетворяют условиям других законов, которые важны как в теории, так и на практике.

### Новые направления в разведке

Единственная вещь, более впечатляющая, чем Глубина наших Знаний, — наши Знания о Глубине. Методы и технологии прогноза и разведки могли бы снизить риски разведки. История нефтяной промышленности в различных

областях и странах показывает, что разведка на самом деле никогда не останавливалась на какой-либо значительный период времени. Это является правдой даже для России с ее обширными неразведанными территориями, как на суше, так и на море, и новыми перспективными формациями. Однако разведка углеводородов и добыча должны вестись на основе продвинутых научных разработок.

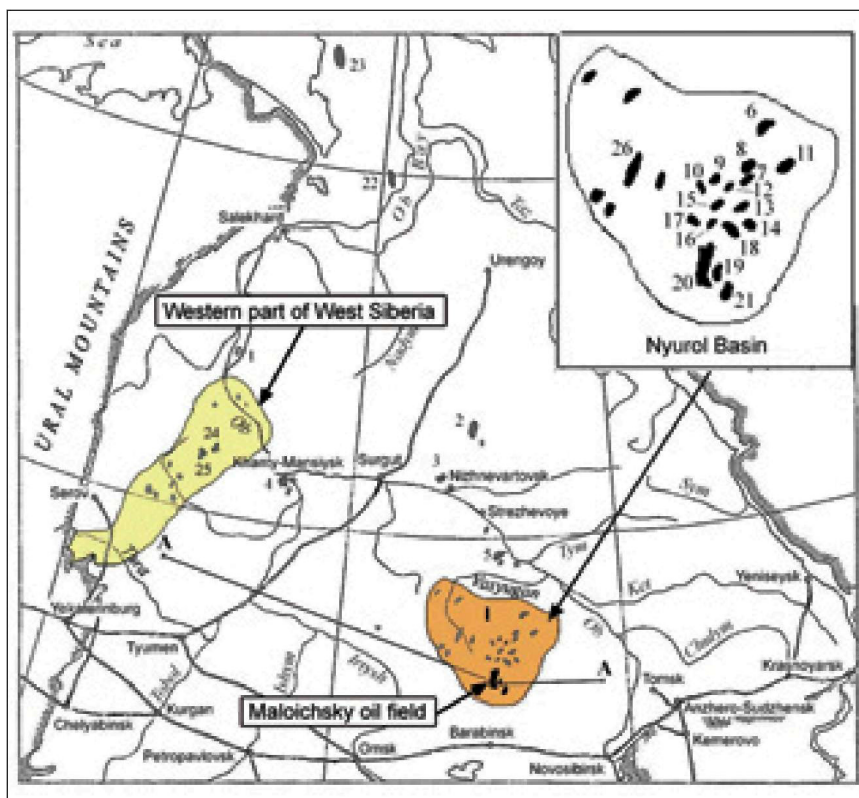
То, что кажется ясным, это что разведка, направленная на открытие новых запасов нефти, стала менее эффективной во многих районах мира. Когда ресурсы, потраченные на поиски новых запасов, превышают ценность обнаруженной нефти, необходимо искать новые пути увеличения резервов! Среди многих новых направлений разведки (бурение на большие глубины, пояса воды, газовые гидраты), я бы хотел обратить внимание на «фундамент». Разведка фундамента на нефть становится все более и более жизненно важной. Классические фундаменты на древних и молодых платформах считались «бесплодными» вплоть до весьма недавнего времени. Но такие факты, как материальный двигатель теории, говорят нечто обратное. Уже было открыто большое количество месторождений углеводородов в фундаменте на территории Америки, Европы, Азии и Австралии.

### Тектоническое положение фундамента

Термин «фундамент» имеет множество синонимов: уплотненная кора, кристаллическое (или складчатое) основание, цоколь, подстилающие породы, нижняя ступень и т. д. Фундамент в современном смысле слова — верхняя часть уплотненной земной коры, граничащая с кровлей платформ. Соответственно, нижнюю границу фундамента трудно определить. Состав, структура и объем фундамента меняются во времени, точно так же как верхняя граница изменяет свое положение в разрезе. В этом контексте специальный геологический термин «фундамент» теряет свой смысл, и именно поэтому я предпочитаю ставить его в кавычки. Даже в этом случае, фундамент продолжает быть предметом исследований сейчас и в будущем.

### Повсеместные открытия

Большое количество месторождений, открытых в фундаменте привело к серьезному изменению парадигмы разведки на нефть. Более чем 500 нефтяных и газовых залежей были уже обнаружены в них, в различных



породах, включая метаморфические и характеризовались добычей

**Рис. 4.** Главные палеозойские месторождения Западной Сибири. Уже известно около 100 месторождений.

магматические. Эти залежи включают некоторые с высокой добычей и большими запасами; и их локализации распределены по всему миру, кроме Антарктиды. Например, месторождение «Белый тигр» на шельфе Вьетнама замечательна хорошим уровнем добычи, около двух тысяч тонн в день, а ежегодная добыча нефти составляет около 13 миллионов тонн из гранитов. В России, было обращено серьезное внимание на разведку в фундаменте. Около 100 месторождений со значительными запасами нефти и газа уже известны в древних породах фундамента (Докембрий, Палеозой) Западной Сибири.

### Открытия, сделанные в Индии

Индия приняла призыв и должна была выделить инновационные и комплексные способы для его продвижения. Промышленные запасы нефти были открыты в гранитном фундаменте месторождений Mumbai Neega и Boroholla, а также газа в месторождении Porto Nova. В 1980 г. комиссия нефти и природного газа (ONGC) зарегистрировала четыре эксплуатационные газовые скважины в месторождении PY-1, включая успешную поисково-разведочную скважину PY-1-1. Пробные испытания скважин по сообщениям

почти 13 миллионов фут<sup>3</sup>/день. Продуктивный пояс месторождения PY-1 в разрезах характеризуется мощностями около 200 футов и глубинами залегания 5000-5500 футов. Открытие находится в прибрежном бассейне Cauvery, в около 100 милях к югу от Chennai в Бенгальском заливе. Оценочная скважина была пробурена в 1997 г. (скважина PY-1-12) для подтверждения значимости открытого в 1980 г. газового месторождения, о котором сообщает ONGC.

Коллектор, которой располагается в неоднородных докембрийских метаморфизованных гранитах, и экранируется сланцами Мела и Эоцена, лежит на гребне простирающегося с северо-востока на юго-запад фундамента, известного как возвышенность Portonovo (Anon, 1995 г.). Месторождение расположено на глубине воды около 250 футов. Было оценено, что PY-1 может давать 250 миллиардов фут<sup>3</sup> газа и 1.16 тысяч баррелей конденсата при разработке месторождения без воздействия на пласт. Системы подготовки продукции скважин к транспортировке были разработаны в соответствии с темпами добычи, составляющими 53 миллиона эталонных кубических футов газа в день и 600 баррелей конденсата в день.

Таким образом, открытие коллекторов нефти и газа в фундаменте может быть расценено как работа, проделанная в 20-ом веке и задача для 21-ого века. Необходимо разработать новый метод обнаружения и картирования перспективных объектов фундамента. И также необходимо держать в уме, что коллекторы (резервуары) трещиноватые. Это новая парадигма разведки, требующая внедрения новых технологий; но пока мы владеем только концепциями. Я полагаю, что мы должны обратить особое внимание на эти проблемы, особенно в пределах моего личного опыта и причастности к открытиям месторождений нефти в фундаменте Западной Сибири.

### Сибирский опыт

*Если кто-либо полагает, что плата за знания и опыт слишком дорога, то пусть он пробует получить прибыль, основываясь на незнании.*

Согласно классическим тектоническим правилам все домезозойские структуры интерпретируются как фундамент. Эти отложения главным образом изучались как фундамент молодой Западносибирской плиты согласно структурно-тектонической точке зрения. Поэтому, скважины, включая ключевые и параметрические, часто



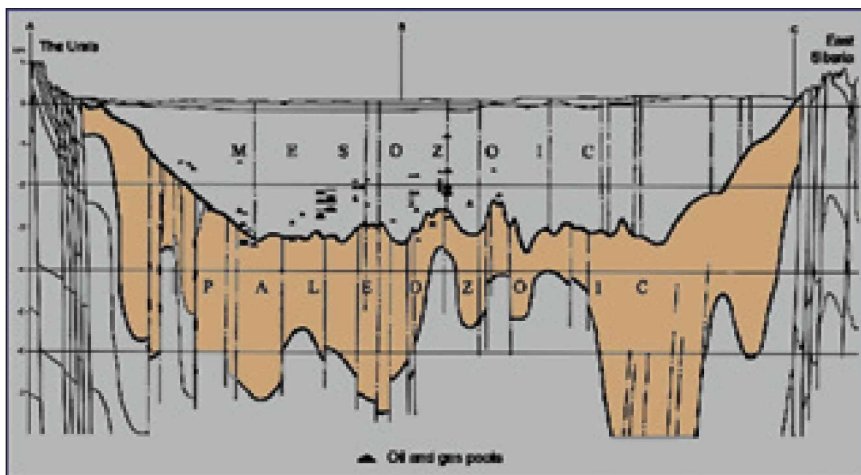


Рис. 5. Разрез вдоль профиля через Западную Сибирь.

бурились только до кровли фундамента. Таким был традиционный метод разведки месторождений нефти и газа в рассматриваемой области. Некоторые исследователи до сих пор защищают идею о наличии нефти в Палеозойских отложениях вследствие миграции из смежных Юрских слоев. Главная ошибка, по-моему, в оценке количества нефти и газа в палеозойских отложениях, кстати, наряду с юрско-меловыми отложениями, и на основе «Мезозойских» структурных методов.

Западная Сибирь — самый большой продуктивный осадочный бассейн в мире. Около 1000 месторождений нефти и газа были открыты в Мезозое и 100 в Палеозое. (Рис. 1)

Я был первооткрывателем Малоичского месторождения нефти. Главный нефтяной коллектор этого месторождения связан с органическими обломочными известняками, известняковыми брекчиями и метасоматическими доломитами фронтальной наклонной фации (скважины Малоичская - 2, 4, 6, 9). Темпы добычи нефти составляют 150-200 м<sup>3</sup>/д, эффективная пористость достигает 6-12 %, проницаемость 0.088 мкм<sup>2</sup>. Резервуар пористый и трещиноватый. Месторождение находилось в стадии пробной коммерческой разработки (рис. 2, 3).

Эти четыре параметрических скважины, пробуренные там в 1978 г. имеют особое значение. Основа буровой скважины достигала глубины 4600 м и скважина проходила 1800 м палеозойских (Силур и Девон) карбонатных пород. Выходы нефти были получены даже из силурских отложений с глубины 4500 м, на 1700 м ниже, чем палеозойский чехол. Эта скважина в полной мере открыла три залежи. Скважина, предоставила уникальные геологические и геофизические данные. Рифы в палеозойских породах были обнаружены там впервые.

Следует отметить, что палеозойские отложения формируют растущую часть оцененных запасов в данной области. Например, в недавно выбранной Пресненской нефтяной области доюрские ресурсы составляют 10 миллиардов тонн, что намного больше, чем содержится в мезозойских отложениях; хотя всего несколько лет назад область считали неперспективной. Мощность перспективных палеозойских формаций превышает полную мощность мезозойских отложений, здесь открыты гигантские месторождения нефти и газа.

### Новые парадигмы в разработке месторождений

#### Движение к прибыли

В разработке месторождений сейчас используются некоторые новые технологии. Глубинный гидроразрыв пластов и горизонтальное бурение в России преобладают, особенно в Западной Сибири. Эти методы показали надежными при интенсивной разработке месторождений и отвечают за российский успех в начале 21-го столетия. Эти технологии были основаны на теориях, предлагаемых в статьях видными нефтяными специалистами. Однако они не позволяют полное извлечение нефти и

месторождения стали быстро истощаться. Нефтеносные зоны в форме столбов различных размеров внутри фундамента (содержат большое количество остаточной пластовой нефти) могут оставаться незатронутыми в течение долгого времени и текущие значения коэффициента нефтеотдачи являются низкими. Это напоминает рекурсивный процесс. Но мы должны работать с такими месторождениями в течение долгого времени. (Рис. 6)

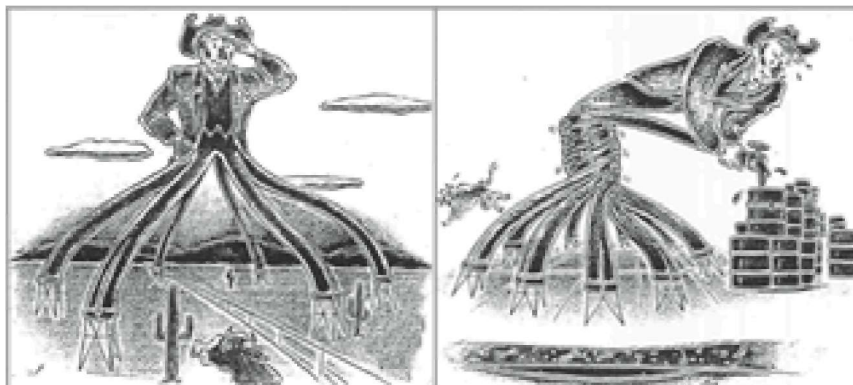
Мы должны помнить, что нефтяное месторождение — «живая» система и мы не должны «убить» ее.

Мы должны разработать это экономичным и эффективным путем. Необходимо периодическое восстановление. Это описано в моей книге «Флюидодинамические модели нефтяных систем» (Российское издание, 2003 г.).

Эксперименты показали, что равновесие может быть нарушено либо вследствие увеличения размера колонны (d), скорости набегающего потока ( $i_0$ ), либо вследствие уменьшения капиллярного соударения ( $pk^\circ$ ). Это приводит к разрушению столба и включает содержащую им нефть в полный фильтрационный поток. Используя эти технологии можно создать отклоняющий экран в формации и регулировать фильтрационные потоки для повышения коэффициента нефтеотдачи и уменьшения содержания воды.

### Заключение

В последние годы было много фактов и открытий, которые трудно объяснить на основе классических концепций последнего столетия. Поэтому необходимо обновить нашу теоретическую базу для прогноза, разведки и разработки. Самым интересным новым направлением разведки должно стать обнаружение больших нефтяных и газовых



месторождений в «фундаменте». Мы также должны разработать новые понятия и технологии, основанные на геофлюидодинамике в разработке месторождения. И мы должны всегда напоминать себе, что новые парадигмы созданы только разумом.

Мы должны сделать это сейчас, поскольку время поджимает. Давайте делать завтрашний день более ярким, а послезавтра — еще ярче!



**Рис. 6.** Нарушение фильтрации в колонне с забитыми капиллярами (физическое моделирование и математические вычисления, проведены в Институте гидродинамики, Новосибирск, Россия).

### Ссылки на литературу

- Sircar, A. [2004] Hydrocarbon production from fractured basement formations. *Current Science*, 87, 2, 25, (in English).
- Zapivalov, N. P., Minko, V. A., Pluman, I. I., and Rozhok, N. G. [1974] The discovery of Paleozoic oil in the Maloichskoye field in Novosibirsk Region, *New data on geology and economic minerals of West Siberia, Tomsk*, 8, 30-34 (in Russian).
- Zapivalov, N. P., Kretov, A. I., Naritzina, and K. V., Repin, S. P. [1976] Drilling and testing peculiarities in cavernous-fractured limestones, *Exploration methods, technology, and organization, Moscow*, 12, 16- 26 (in Russian).
- Zapivalov, N. P., and Sokolov, B. S. [1977] The stratigraphy of oil-promising Paleozoic section of West Siberia. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 237, 1, 174-176 (in Russian).
- Zapivalov, N.P. [1990] Oil and gas pools in ancient beds of West Siberia. *Urgent questions of regional geology of Siberia, Novosibirsk*, 24-26 (in Russian).
- Zapivalov, N.P. [2004] Petroleum potential of the Paleozoic basement of West Siberia (prediction and reality). *Oil Industry, Moscow*, 7, 76-80 (in Russian).