

## **О петрофизике и направлениях ее развития**

### **О традиции использования термина "петрофизика",**

Благодаря скрупулезному прочтению глубокоуважаемыми коллегами [9] моих разноплановых соображений об определении содержания и назначения петрофизики создалось впечатление о необходимости вернуться к этому вопросу.

Я благодарен авторам [9] за данное мне моральное право обсудить достаточно общие вопросы, поскольку возможно, что это индуцирует содержательную дискуссию и поможет всем участникам и читателям лучше сориентироваться в разнообразии определений и мнений.

Я попытаюсь в ходе этого обсуждения опираться на свои представления, формируемые в ходе общения со старшими коллегами и на основе собственного опыта, и излагать их в намеренно слегка заостренном и утрированном виде.

Вначале о приписанном мне редуцировании петрофизики к измерениям на керне и только к ним. Конечно, я не согласен с тем, что петрофизику можно и нужно сводить к измерениям на керне. Аргументация такого рода, основанная на совместной публикации, которую лично я даже не видел в окончательном виде, мне не представляется корректной.

С одной стороны традиции (Г.А.Арчи, Дж.С.Пирсон, В.Н.Дахнов, М.Р.Вилли, В.Н.Кобранова, Б.Ю.Вендельштейн, М.М.Элланский), а с другой стороны существующая практика (пока не видел книги, названной "Петрофизика" с изложением теории методов каротажа) на мой взгляд не дают серьезных оснований называть петрофизикой всю промысловую геофизику.

Важно понимать отличие практики работ нефтяных сервисных компаний Запада и работ в России. Западные сервисные компании, не работая с керном, всегда пытались внедрить универсальные расчетные формулы, которые можно применять без всяких оглядываний на специфику изучаемого объекта. В России с самого начала была принята иная позиция – пристальный учет специфики объекта. В России было всегда принято отвечать за результаты интерпретации и обосновывать их. Была нужна полноценная петрофизика и петрофизики...

Усилиями В.Н.Дахнова петрофизика была выделена в России в отдельный учебный курс (насколько я в теме подобного нет ни в США ни во Франции ни в Англии ни в Норвегии). К сожалению, далеко не всем повезло с преподавателями. Не во всех ВУЗах курс петрофизики читается профессионально и увлеченными людьми. Порой такая практика может исказить отношение к этому предмету на долгие годы. И тем не менее нет никаких оснований принижать роль петрофизики и место петрофизики в России или уплощать ее (сводя к чисто эмпирическим соотношениям, что кое-где уже, к сожалению, практикуется).

С другой стороны в рамках таких дисциплины как "Физика пласта" и "Rock Physics" и даже "Литология" можно легко усмотреть попытки отщепить от привычных для многих петрофизиков представлений о предмете изрядное число разделов.

Надо ли обсуждать границы петрофизики или проще понимать под этим словом абсолютно все, обесмысливая само понятие?

Развитие отрасли знания и технологии вряд ли может оставаться целенаправленным, если основные ее цели и методы, сформулированные в определениях и базовых положениях, долгое время носят абстрактно-символический или, напротив, сугубо конкретный характер, с элементами обронзовения и отщеплены от актуальных задач и методов их решения.

Спорить на тему названия дисциплины и прав на ее самостоятельное существование мне представляется не слишком конструктивным.

Потенциал развития обычно зависит не столько от претензий, сколько от наличия и функционирования сообщества, состоящего из целеустремленных и способных к эффективной коммуникации специалистов (включая в нее и критику работ, не отвечающих нормам сообщества).

Вместе с тем прорисовка того, что может и должно входить в состав петрофизики и в какую сторону она может и должна развиваться на мой взгляд критически важна для самой петрофизики и ее судьбы в России.

В этой связи, не претендуя ни на полноту определений, ни на объективность оценок, представляется полезным высказать хотя в чем-то и наивные, но сформировавшиеся за долгие годы представления о петрофизике и направлении ее развития.

Оглядываясь назад, поневоле хочется позавидовать Арчи – просто указать на желаемое (определять по физическим свойствам состав и строение пород). Если при этом породы имеют упрощенный состав (скелет и поры) и строение (вот тут и вспоминаются модели Слехтера и Кармана) – задача вполне подъемна.

С точки зрения нынешних задач, хотелось бы верить разделяемой мною с многими коллегами, современная петрофизика не только сохранила за собой романтические притязания Арчи и даже добавила к ним стремление *не только реконструировать состав и строение пород, но и оценить их прошлое (происхождение пород) и спрогнозировать будущее (в случае проектируемого техногенного воздействия на них) и оценивать уровень точности подобных прогнозов и реконструкций [6].*

#### **Что входит или может входить в современную петрофизку и служит потенциалом ее развития?**

Развитие петрофизики, как и других областей знания и технологий, определяется не только финансированием, но и наличием проблем и различных альтернативных путей продвижения к их решению.

Во всех областях знания существует противоречие, индуцируемое с одной стороны потребностью и желанием знать абсолютно все существенное о предмете изучения, а с другой пониманием того, что достижение такого идеала невозможно.

Создается впечатление, что основным постулатом петрофизики можно считать утверждение, что *породы с одинаковым составом и строением, прошедшие одинаковый путь развития, будут обладать одинаковым набором физических свойств.*

Но подобное утверждение мало приближает нас к построению моделей породы, учитывающих все многообразие физических, химических, геологических и биогенных факторов. Любая модель сложного не техногенного объекта является неполной и подчеркивает только наиболее важные ее черты в утрированной форме.

Понимание этого в случае петрофизики естественно подводит к плюрализму описания (уместно вспомнить В. Н. Дахнова, дававшего в своих публикациях [3] сразу несколько альтернативных моделей для расчета сопротивления глинистых песчаников, не говоря уже о варьированности значений всех констант).

В петрофизике любая модель не вполне точна, любое знание не вполне полно и такие характеристики как мера точности и контекст применимости являются основополагающими.

Остается надеяться на замечательный закон 20/80 (20% людей выпивают 80% пива), но для этого надо знать где и как отыскать нужные 80% информации.

Конечно, можно надеяться на существование подвижников или коллективов, способных узнать все обо всем, но при современном объеме потоков информации (вопрос легкого и полноценного доступа к ней - предмет отдельных забот) надеяться, что такие коллективы широко распространены, было бы крайне оптимистичным.

Тем не менее, уместно сделать попытку (безусловно субъективную) указать те направления, в которых петрофизика сталкивается с проблемами и особенно интенсивно развивается.

### **Подготовка образцов, профильные измерения, новые измеряемые атрибуты**

На мой взгляд основой петрофизики, по-прежнему остается эмпирический метод определения физических свойств горных пород, причем все большую роль начинает приобретать подготовка образцов, более тщательное и многокомпонентное изучение их состава (в частности его оценка на тех же образцах, на которых проводятся иные замеры) и структуры, более полноценное (особенно для сильно глинистых образцов) моделирование процессов вытеснения и фильтрации.

Еще одной важной темой является тема микрооднородности. Об усредненных свойствах можно говорить тогда, когда мы имеем репрезентативный объем (обычно это не менее 50 размеров самого крупного микрооднородного элемента породы).

Реально же ситуация, когда мы встречаемся с мезооднородными образцами, встречается все реже. Причин много, от неоднородности характера осадконакопления до конкреций и биотурбации.

Вместе с тем массовые томографические измерения с одной стороны слишком дороги, с другой содержат в себе информацию, которую хочется считать с одной стороны нерепрезентативной (объем пробы меньше сантиметра), а с другой сильно избыточной (детальность гарантированно много большая по объему, чем измеряемая в скважинах).

Создается впечатление, что много важной и полезной информации содержат профильные измерения, но по личному опыту они нередко дают оценки, значительно отличные от измерений на образцах пород.

С другой стороны как томографические, так и профильные измерения могут дать информацию как об уровне неоднородности, так и о корреляционных свойствах изучаемого объекта.

Существенным подспорьем в работе петрофизиков является использование фотографий керна. Вместе с тем полезным представлялась бы привязка элементов описания таких фотографий к отправляемым на исследование образцам.

Явно недостаточно используются в настоящее время данные гранулометрии, которые многое могут дать и для анализа обстановок осадконакопления и для изучения взаимосвязей физических свойств. Опыт использования этих данных показывает существенную роль процессов дезинтеграции. Кроме того, в случае высокой неоднородности различие материалов для объекта определения физических свойств и для оценки гранулометрии может оказаться очень существенным.

Еще один вопрос - литологическое описание и описание шлифов. По многим причинам описания слишком субъективны и не следуют единым схемам, нередко поверхностны и единообразны. Вместе с тем опыт автора показывает, что совместное использование данных керна и анализ текстовых описаний (с выделением из них информативных компонент) может дать полезную информацию.

### **Анализ данных и информационный поиск в петрофизике**

Начиная с построения первых регрессионных уравнений, сфера применения анализа данных только расширяются. Если в 60-е годы требовалось по малым объемам данных путем применения самых изощренных методов того времени (включая только появившийся метод распознавания образов) попытаться уточнить аппроксимации или деления пород на литотипы, то к настоящему времени запросы в этой области резко изменились [10,11].

На порядки выросли объемы данных измерений (порой в ущерб качеству). К регрессионным методам добавился факторный анализ, метод главных компонент, многомерное шкалирование, сети Кохонена и различные виды нейронных сетей.

Пройден большой путь и в описании макрообъектов и взаимосвязей. От пионерских работ А.Б.Вистелиуса и расчетов вариограмм произошел переход к использованию спутниковых снимков.

Серьезный характер приобретает анализ закономерностей корреляций микро, мезо и макросвойств и их варьированности, проницаемости разломов и изучения геомеханических характеристик пород и прогноза их проницаемости.

На фоне усложнения объектов изучения и возросших требований к результатам моделирования особую роль приобрели базы знаний и доступ к информации.

К сожалению, разнообразие и сложность изучаемых объектов нередко сочетается с катастрофической неполнотой информации о них, их аналогах и практик работы с ними.

При этом ввиду культа спецотделов во многих крупных компаниях получить информацию из иностранных источников нередко становится интереснее и проще, чем из отечественных.

Перевод и публикация избранных западных статей, как и их реферирования, практически резко ограничен, а инструкции к распространяемому в России западному софту не затрагивают моментов обоснования и области применимости рекомендуемых соотношений.

В этой связи создание баз петрофизических данных и знаний (в том числе и персонализированных) и средств работы с ними выходит на одно из первых мест по значимости.

#### **Аналитические и численные методы в петрофизике и можно ли отделить петрофизику от теории микронеоднородных сред**

Как многим давно очевидно, имеются сходные методы расчета микронеоднородных сред разного типа (от строительных смесей до топливных элементов, капиллярно-пористых сред и некоторых видов наноматериалов), причем наиболее вдумчивые и честные авторы из разных предметных областей порой ссылаются на наиболее продвинутые разработки в других.

Для простейших видов пористых сред (укладки сфер и системы изолированных капилляров) получены известные решения. Предложены аналитические решения и для более сложных систем (укладки частиц и решетки капилляров). Тут имеются и спорные моменты и некорректные решения.

Уравнения первого порядка редуцируют свойства среды к свойствам усредненного единичного элемента, уравнения второго порядка ориентированы на простейший учет взаимодействия неоднородностей [4-6]. Так для решеток капилляров они необходимо должны включать элементы описания геометрии объектов и их взаимного расположения, скажем для решеток капилляров – распределение их размеров и топологию их соединения [5, 6, 11].

Вместе с тем попытки построить более общую теорию для расчетов в многообразных областях упираются в то, что самые простые модели уже давно построены, а сложные требуют учета особенностей тонкой структуры строения горных пород (вообще говоря, значимо различающейся и для таких пород как песчаники, карбонаты и метаморфические породы).

В последние годы интенсивно развивается направление, которое порой амбициозно называют цифровой петрофизикой. Вместе с тем, попытки использования томографических измерений для расчета физических свойств каждый раз в некотором приближении описывают путем расчета свойство единственного уникального образца.

Для расчетных соотношений необходимо предсказывать свойства совокупности образцов (в частности сопротивления и проницаемости) не точнее, чем парные корреляционные связи. Автору статьи не известны работы по томографии образцов и последующем расчете физических свойств, связывающие петрофизические показатели с литологией качественно лучше, чем метод Авдусина и Цветковой, разработанный более полувека назад. В этой связи перспективы такого направления на ближайшие годы трудно считать радужными.

Вместе с тем потенциально интересными являются перспективы оценки с помощью числовых моделей эффектов воздействия на пласт.

С другой стороны ряд параметров полуэмпирических моделей нередко может быть подстроен так, что дает хорошую аппроксимацию эмпирических данных.

Казалось бы, значимые для петрофизики особенности строения пород в этих классах должна давать литология или применение стереологических методов в литологии, но движение в этом направлении носит пока скорее чисто исследовательский характер.

### **Отделимы ли петрофизики от интерпретаторов каротажа и сейсморазведки**

Надо ли при этом в круг петрофизиков включать всех, кто проводит измерения свойств породы и очищает (или пытается очистить) измеренные показания каротажа и сейсморазведки) их от влияния аппаратурных искажений, экранирования, интерференции и наводок?

Вопрос не столь уж однозначный. Например, лично мне психологически трудно причислять разработчиков томографов и программного обеспечения к ним к числу медиков.

Надо ли ограничиваться размерами (или рассматривать весь диапазон от нанометров до десятков метров)?

При комплексной речи, как правило, идет о решении целой группы задач, сводящихся (порой неявно) к нижеприведенной постановке [1-8, 11]:

1) Определение объема потенциальных минеральных и гранулометрических компонент, из которых могут состоять исследуемые породы;

2) Определение (с точностью до числовых значений коэффициентов) соотношений связи состава и строения пород с их каротажными и сейсмическими откликами (поиск семейств таких соотношений, дифференцируемых по литологии и генезису) - предмет петрофизики;

3) Определение (с точностью до числовых значений коэффициентов) соотношений связи состава и строения пород и их насыщения друг с другом (поиск семейств таких соотношения, дифференцируемых по литологии и генезису) - предмет петрофизики (впервые такие соотношения типа связей между пористостью и глинистостью ввели В.Н.Дахнов и В.Н.Кобранова, а Б.Ю.Вендельштейн и М.М.Элланский расширили их перечень);

4) Оценка или уточнение априорно известных коэффициентов соотношений, приведенных в двух предшествующих пунктах (по данным керна или геофизики);

5) Обработка путем комплексирования приведенных в двух предыдущих пунктах систем взаимосвязей;

6) В случае если результат представляется интерпретатору некорректным (противоречие с данными керна или испытаний, или добычи, или сильное взаимное противоречие качества восстановления геофизических методов по модели изучаемого объекта, найденной в ходе комплексирования) попытка уточнения представлений предшествующих пунктов и повторение работ вплоть до достижения удовлетворительного результата или исчерпания выделенных ресурсов.

Понятно, что результат интерпретации (как гармонизации расхождения геофизических данных и петрофизических знаний) по подобной схеме сильно зависит от объема петрофизических знаний интерпретатора и его инструментария [2, 5,6,11], поэтому

хороший интерпретатор должен иметь фундаментальные знания по петрофизике вообще и объектов его изучения в особенности.

Вместе с тем отмечу, что знания только петрофизики интерпретатору явно недостаточно, хотя бы потому, что в приведенном выше перечне действий намеренно опущены эффекты аппаратных поправок и устранения мешающих факторов (типа прискважинной зоны или экранных эффектов).

Понятно, что такая методика работ представляется последовательной, но возможен и ее параллельный вариант, когда ветви альтернатив обрабатываются одновременно. Уместно теперь вернуться к предмету обсуждения, представленному в [9].

### **Некоторые проблемы интерпретации карбонатов Восточной Сибири с точки зрения современной петрофизики**

Карбонатные отложения со сложной структурой порового пространства (наличием сообщающихся микрокаверн и трещин) и минералогическим разнообразием (известняки, доломиты, ангидриты и соли), осложненные наличием глин, радиоактивных минералов и гидрофобностью, вдобавок с заметным содержанием бора и гадолиния и ферромагнетиков и с присутствием газа, на данный момент безусловно представляют сложный и интересный объект для петрофизических исследований [9].

Более того известно о наличии значимого различия структуры порового пространства пород между месторождениями и стратиграфическими подразделениями.

Специалисту легко понять и то, какие трудности вызывает интерпретация таких отложений, и то насколько легко можно обойти их, ссылаясь только на сходимость с данными керн и испытаний.

В этой связи представляется, что публикация могла бы только выиграть, если бы в ней были приведены давно уже традиционные для петрофизиков кросс-плоты взаимосвязи пористости с проницаемостью и параметра пористости с пористостью. Желательно наличие таких кросс-плотов и по керну и по проинтерпретированному каротажу.

Конечно, лучше если бы они были продифференцированы по содержанию отдельных минералов, а также по стратиграфии и принадлежности к разным элементам трактов.

Не менее интересно и важно изучение влияния содержания солей в микрокавернах и поровом пространстве, поро-аспектного отношения, а также влияния газа на скорости продольных и поперечных волн и показания нейтронных методов.

Интерпретация субъективна и порой ее результаты в разных авторских коллективах различны, что определяется и составом использованных знаний и умениями и инструментарием для работы и субъективными предпочтениями и сроком и ресурсами на выполнение работы.

Понятно, что результаты интерпретация сильно зависят от объема и качества измерений и часто являются искусством возможного ("больших семь шапок из овцы не выкроить никак"), но тем опаснее оставлять у себя, коллег и заказчиков ощущение недостигнутой полноты и надежности полученных результатов.

Без полного и совместного анализа всей запрашиваемой, но не встреченной в [9] информации на мой вкус говорить о наличии в представленном в публикации [9] материале полноценных элементов современной петрофизики все же пока преждевременно.

### **Вместо заключения.**

Трудно на нескольких страницах написать о научном направлении, которому посвятили жизнь многие учителя и коллеги. Наверняка многое упущено или поверхностно, а какие-то оценки весьма субъективны. Предполагая по умолчанию

профессиональную рациональность и занятость глубокоуважаемых коллег, тем не менее, призываю их к критике и дополнению вышеизложенных соображений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вендельштейн Б.Ю. Исследование разрезов нефтяных и газовых скважин методом собственных потенциалов. М.: Недра, 1966. - 203 с.
2. Вендельштейн Б.Ю., Еникеев Б.Н. Некоторые особенности методологии построения, оформления построения, оформления и использования петрофизического знания и пути его совершенствования. ГЕОФИЗИКА 10 лет ПАНГЕЕ М.: ЕАГО 2004 стр. 65-73 <http://petrogloss.narod.ru/geoph10p.htm>
3. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. Недра. М., 1975.
4. Еникеев Б.Н. К проблеме построения моделей удельного электрического сопротивления горных пород (некоторые проблемы теории обобщенной проводимости многокомпонентных смесей). Саратов: СГУ Математические методы в геологии. 1979 стр.70-96.
5. Еникеев Б.Н., Кашик А.С., Чуринова И.М., Шпикалов Ю.А. Системный подход к задаче оценки свойств пласта по данным каротажа. М.: ВНИИОЭНГ 1980. 38 стр.
6. Еникеев Б.Н. Моделирование в петрофизике (решения, проблемы и перспективы). В сб. "Актуальные вопросы петрофизики сложнопостроенных коллекторов." Краснодар "Просвещение- Юг". 2010. стр.6-68.
7. Ефимов В.А., Мальшаков А. В. Анализ методов расчета фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов В Сб. "Актуальные вопросы петрофизики сложнопостроенных коллекторов" Краснодар Просвещение-Юг 2010 стр.69-91
8. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. М.: Гостоптехиздат, 1962. - 487 с.
9. Козяр В. Ф., Козяр Н.В., Волнухин А.Н. Опыт петрофизического изучения пород и коллекторов геофизическими методами (на примере сложнопостроенных разрезов Восточной Сибири) КАРОТАЖНИК Вып 6(420) 2014 стр. 3-17  
[http://www.karotazh.ru/sites/default/files/files/karotazhnik/Karotazh\\_6\\_2014\\_3\\_17.pdf](http://www.karotazh.ru/sites/default/files/files/karotazhnik/Karotazh_6_2014_3_17.pdf)
10. Методические рекомендации по подсчету запасов нефти и газа объемным методом (под редакцией В.И.Петерсилье, В.И.Пороскуна, Г.Г.Яценко). [2003] М.: ВНИГНИ-Тверь Геофизика.
11. Элланский М.М., Еникеев Б.Н.. Использование многомерных связей в нефтегазовой геологии - М.: Недра, 1991.

#### **Еникеев Борис Николаевич**

Главный петрофизик ЗАО "Пангея", к. т. н. Окончил в 1971 г. МИНХиГП. Соработчик систем машинной интерпретации каротажа Ц-2, Ц-3, АСОИГИС, ИНГИС, PetroSoftTools и др. Автор направления в петрофизике и интерпретации по построению, настройке и использованию математических моделей горных пород. Член SPWLA, EAGE. Автор более 100 публикаций и книг.

Тел. (495) 280 38 34 E-mail: [bne@pangea.ru](mailto:bne@pangea.ru), [bnenator@gmail.com](mailto:bnenator@gmail.com)