

# БИОСФЕРНЫЙ ГЕНЕЗИС РУДНЫХ ГИГАНТОВ: ЗАМЕЧАТЕЛЬНОЕ ДОСТИЖЕНИЕ ПЕТЕРБУРГСКИХ ГЕОЛОГОВ

**Я.Э. Юдович**

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Эл. почта: EYuYa@yandex.ru

В московском издательстве «Научный мир» выпущена книга профессоров геологического факультета Петербургского университета С.В. Аплонова и Б.А. Лебедева «Нафторудогенез: пространственные и временные соотношения гигантских месторождений». Редактор книги академик Д.В. Рундквист в своем предисловии дал книге очень высокую оценку, особо отметив оригинальность авторской концепции и огромный объем материалов, на которых она базируется.

Изучая эту замечательную книгу, мы можем без особого труда выделить в ней семь фундаментальных георетических положений, которые можно назвать *принципами аналогии* – между геологией «нефтяной» и «рудной».

**Аналогия 1.** Все нефтяные месторождения, как давно известно геологам-нефтяникам, являются эпигенетическими. Но и все рудные месторождения (во всяком случае, заведомо все гиганты) также являются эпигенетическими.

**Аналогия 2.** Для формирования газонефтяных месторождений необходим осадочный бассейн: и как материнский источник-генератор нефти и газа, и как резервуар – вместилище залежей. Но оказывается, что и для всех рудных месторождений (даже традиционно «магматических»!) совершенно обязательно существование того же самого осадочного бассейна. Разница лишь в том, что в молодых рудных месторождениях осадочный бассейн налицо, а в древних от него остались лишь реликты (а иногда и вовсе ничего не осталось, вследствие эрозии или ассимиляции магмой).

**Аналогия 3.** Крупнейшие газонефтяные месторождения формировались на платформах с мощным осадочным чехлом. Нефтяникам давно известно, что в горах (складчатых областях) «ловить нечего» – промышленных месторождений нефти и газа там не бывает. Но, как доказывают Б.А. Лебедев и С.В. Аплонов, и все рудные гиганты также формировались на платформах – только (в отличие от месторождений нефти и газа) в периоды их тектоно-магматической активизации, часто с проявлением вулканизма и/или интрузивного магматизма. Но как платформенный чехол, так и вообще осадочная оболочка Земли (стратисфера), согласно Вернадскому, являются образованиями биосферными (ибо признаки жизни улавливаются даже в древнейших на планете

осадочных или метаосадочных породах). Значит, можно сказать, что, в широком смысле, и рудные гиганты генетически или парагенетически связаны с «былыми биосферами».

**Аналогия 4.** Главным механизмом миграции нефтегазовых флюидов является механизм компрессионный – обусловленный разницей коэффициентов аномальности пластовых давлений по вертикали и латерали осадочного чехла. И хотя при создании рудных месторождений могли реализоваться и четыре других механизма миграции рудоносных флюидов, по крайней мере при формировании стратиформных гигантов ведущим был тот же самый компрессионный механизм.

**Аналогия 5.** Действие компрессионного механизма нефтегазообразования определяется свойствами регионального флюидоупора в данном осадочном бассейне. Нефтегазовые месторождения-гиганты образуются только под мощными региональными покрывками – солями и глинами, занимающими площади от сотен тысяч до первых миллионов квадратных километров. Без этого (даже при условии интенсивной нефтегазогенерации и при наличии прекрасных коллекторов) образование нефтегазовых месторождений невозможно. Но совершенно то же условие обязательно и для формирования рудных месторождений (где покрывки нефтяников чаще именуют экранами). И хотя качество «рудных» покрывок намного хуже, чем «газонефтяных», без достаточно хорошей и регионально выдержанной покрывки (экрана) рудные гиганты сформироваться не могут.

**Аналогия 6.** В свою очередь, формирование региональных флюидоупоров определяется историей осадочного бассейна, ибо в одних бассейнах они формировались, а в других нет. Первый тип бассейнов назван авторами «гармоничным», второй – «дисгармоничным», или «хаотическим». Поэтому все нефтегазовые гиганты рождались только в гармоничных бассейнах (или, по крайней мере, на гармоничных отрезках истории тех бассейнов, которые не полностью отвечали понятию гармоничных). Совершенно аналогично, все рудные гиганты приурочены к тем же самым гармоничным бассейнам, где ранее происходило мощное нефтегазоаккумуляция: именно здесь сосредоточено 87% мировых запасов руд этих гигантов.

<sup>1</sup> Аплонов С.В., Лебедев Б.А. Нафторудогенез: пространственные и временные соотношения гигантских месторождений. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.

**Аналогия 7.** Для движения нефтегазового флюида от области генерации к области аккумуляции необходимы пути миграции. После нескольких десятилетий ожесточенных дискуссий геологи-нефтяники наконец установили, что такими путями являются довольно узкие зоны повышенной проницаемости осадочного чехла – зоны сконцентрированной в пространстве трещиноватости. В таких зонах происходит гидрофобизация стенок трещин, позволяющая сжтому нефтегазовому флюиду выдавливаться вверх и вбок относительно неподвижной пластовой воды.

Совершенно аналогично, для миграции рудоносных флюидов необходимо создание зон проницаемости в осадочном чехле. Но «экономная» Природа, как правило, не создает новых зон – рудоносные флюиды движутся (с большим отрывом во времени) по тем же путям, по которым ранее двигались нефтегазовые флюиды. Разница лишь в том, что здесь движется сам водный (газонасыщенный) горячий флюид с растворенными в нем рудными компонентами. Кроме того, другое важное (и очевидное) различие – активное участие магматизма в рудогенезе (особенно в рифтогенных вулкано-тектонических депрессиях).

Итак, впервые примененный (с беспрецедентной отвагой) в «рудной» геологии давно освоенный геологами-нефтяниками **бассейновый анализ** оказался тем волшебным ключиком, с помощью которого Б.А. Лебедев и С.В. Аплонов сумели отпереть драгоценный ларец с рудными месторождениями-гигантами. Итоговым результатом всех названных аналогий явилась концепция НАФТОРУДОГЕНЕЗА – формирования рудных месторождений в теснейшей парагенетической и пространственной связи с былым нафтегенезом – в тех же самых «гармоничных» осадочных бассейнах, где находятся (или находились в прошлом!) гигантские нефтегазовые месторождения.

Этот итоговый результат удачно сформулировал академик Д.В. Рундквист в своем редакторском предисловии:

*«В представлении авторов, нефтегазонакопление как бы готовит осадочный бассейн к будущему рудообразованию – возникновению многих типов рудных, главным образом стратиформных месторождений. С ходом времени, по мере удреждения осадочного бассейна, неизбежно проявляются процессы тектоно-магматической активизации и реювенации, что приводит к рассеянию углеводородов. Но пути их былой миграции остаются и наследуются рудоносными растворами и расплавами, которые насыщаются компонентами осадочных пород, дифференцируются и приобретают определенную металлогеническую специализацию.*

*Обосновывая свою идею, авторы восстановили единый генетический ряд осадочных бассейнов, от молодых к древним. Он начинается с уникальных по запасам углеводородов мезозойско-кайнозойских бассейнов Персидского залива и Западной Сибири, в которых, естественно, еще не начали формироваться рудные месторождения. Затем рассматриваются средне-позднепалеозойские месторождения Северной Америки, в которых сохранились лишь отдельные (хотя и довольно богатые) нефтегазоносные впадины, соседствующие с поднятиями, включающими гигантские месторождения цветных металлов Миссисипского типа. В качестве примера богатой рудоносности при все еще сохраняющейся промыш-*

*ленной нефтегазоносности авторами приводятся позднерифеские-раннепалеозойские бассейны Китая и Восточной Сибири, а также акитканские (1,9–1,6 млрд лет) бассейны Австралии. И наконец, в качестве примера уникальной рудоносности вулканогенно-осадочного бассейна приводится пример Южной Африки, где от былой нефтегазоносности (по мнению авторов) сохранились лишь следы в виде многочисленных битумопроявлений» [1, с. 4].*

Остановимся несколько подробнее на двух базовых (и наиболее оригинальных) понятиях концепции нафторудогенеза – о гармоничных бассейнах и о компрессионном механизме миграции флюидов.

### Базовое понятие о «гармоничных бассейнах»

Это понятие исходит из построенной авторами на основе обобщения колоссальных литолого-стратиграфических материалов *кривой глобальной цикличности седиментации для фанерозоя* – изменения во времени (от венда до кайнозоя включительно) *площадей седиментации* в осадочных бассейнах континентального блока Земли. Такое изменение, как известно, обусловлено режимом глобальных трансгрессий на континенты (площади седиментации растут) и регрессий (площади седиментации убывают). Всего в фанерозое выделено три таких глобальных цикла, каждый примерно соответствующий длительности галактического года (в среднем 210 млн лет): (1) вендско-раннепалеозойский (240 млн лет), средне-позднепалеозойский (180 млн лет) и мезозойско-кайнозойский (210 млн лет).

Гармоничными названы такие осадочные бассейны, в которых выделенные три глобальных цикла фанерозоя проявились синхронно. Особенно четкими хронологическими реперами оказываются черные сланцы, обычно маркирующие максимумы трансгрессий (и реже – начало регрессий). Гармоничные бассейны формировались в результате постколлизии рифтинга на краях Суперконтинентов, и седиментация в них происходила почти непрерывно. Те же осадочные бассейны (например, Сибирская платформа в палеозое), в которых такой синхронности с глобальной кривой цикличности нет, названы «дисгармоничными». Для таких бассейнов характерны многочисленные перерывы в седиментации.

Зачем же понадобилось авторам разделять осадочные бассейны на два типа – «гармоничных» и «дисгармоничных»? Затем, что, как выясняется, **практически вся промышленная нефтегазоносность и все рудные месторождения-гиганты связаны исключительно с «гармоничными» бассейнами!** Если же в разрезе какого-то региона периоды «гармонии» и «хаоса» чередовались во времени, то нефте- и рудоносными оказываются только «гармоничные» части осадочной колонки.

Например, Западно-Сибирский бассейн (выбранный как эталон) и бассейн Персидского залива, несмотря на разницу их литологии (первый имеет терригенный разрез, второй – существенно карбонатно-эвапоритовый), являются по характеру своей цикличности полностью гармоничными и в сумме забирают на себя 70% всех мировых запасов нефти, тогда как бассейн Сибирской платформы гармонично развивался только в венде и раннем кембрии, и поэтому нефтеносна только эта часть его разреза. **Всего таких «гармоничных» бассей-**

нов (полностью или в существенной своей части) в фанерозое насчитывается 22, и только с ними связано более 90% всей промышленной нефтеносности планеты<sup>2</sup>. Для до-фанерозойской истории Земли авторы дерзко реконструируют решающее участие в рудогенезе былых гармоничных бассейнов – на гренвильской Родинии (1,1 млрд лет) и на карельской Пангее-1 или Megaree (1,9 млрд лет).

Как уже сказано, причина этой вполне достоверной эмпирической закономерности заключается в том, что только в «гармоничных» бассейнах присутствуют необходимые для формирования месторождений материнские формации и те главные *флюидоупоры*, которые полностью экранируют продуктивную часть разреза. Употребив термин «флюидоупоры», мы обнаруживаем второе основание, на котором построена концепция нафторудогенеза – компрессионный механизм миграции рудоносных флюидов.

### Базовое понятие о компрессионном механизме миграции

Исходя из надежно доказанной эпигенетической природы всех рудных гигантов (возраст руд всегда моложе возраста вмещающих пород), авторы радикально ставят вопрос о механизме рудообразования. Что в этом процессе главное: термодинамика флюида (температура, давление, концентрация); свойства вмещающей руды среды (например, ее рН–Еh характеристики); характеристика источника рудного вещества (коровые или мантийные магмы, магматические или метаморфические горные породы, черные сланцы и другие осадочные породы; гидротермы, вулканогенные или горячие седиментационные рассолы)? Полностью признавая важность всех этих факторов рудообразования, авторы ни один из них не считают основным. **Главным, определяющим (и потому являющимся универсальной основой для классификации рудогенеза!) признается только одно – механизм миграции рудоносных флюидов.**

В 2000 г. Б.А. Лебедев в соавторстве с Э.М. Пинским предложил классификацию пяти механизмов миграции флюидов, создающей рудные месторождения (и по-разному проявленных на разных этапах истории Земли) [4]: *конвективный* – за счет разности температур; *компрессионный* – за счет разности коэффициентов аномальности давлений; *гравитационный* – за счет разности плотностей флюидов; *инфильтрационный* – за счет разности высот рельефа; *концентрационный* – за счет различий растворов по концентрации отдельных компонентов (химическому потенциалу).

В частности, в нефтегазоносных бассейнах наиболее крупные месторождения образуются за счет совместного действия двух механизмов – компрессионного и гравитационного. Первый типичен для нижних частей бассейнов, где регионально распространены аномально высокие пластовые давления, а второй – в верхних

их частях, где движение углеводородов до конечной зоны аккумуляции происходит за счет отличия их плотности от плотности пластовых вод.

Другой вариант совмещения этих же механизмов типичен для полиметаллических месторождений Северной Америки (полиметалльные, баритовые и флюоритовые месторождения «типа Миссисипи»). Сначала в глубоких частях нефтегазоносных бассейнов реализуется гравитационный обмен растворами соленосных и подсолевых отложений, что имеет следствием образование металлоносных рассолов. Затем под действием компрессионного механизма эти рассолы перемещаются по латерали и вверх по разрезу, формируя рудные залежи.

Как уже сказано, совершенно аналогично тому, что установлено в нефтяной геологии, обязательным условием работы компрессионного механизма оказывается наличие флюидоупора, создающего под собой аномально высокие пластовые давления (АВПД)<sup>3</sup>. Отличие между коэффициентами аномальности в расположенных друг над другом проницаемых телах зависит от свойств разделяющего их флюидоупора. Само же возрастание коэффициентов аномальности функционально связано с продолжающимся до современности газообразованием. Поскольку полностью непроницаемых флюидоупоров не бывает, то поддержание давлений, превышающих гидростатические, возможно лишь при непрерывном поступлении все новых порций газовой фазы.

**Замечательно (как подчеркивает Б.А. Лебедев), что классификация механизмов миграции полностью приложима не только к растворам (водным флюидам), но и к расплавам!** Более того, иногда однотипные движения расплавов и растворов совпадают в пространстве и связаны генетически. Так, мантийная конвекция, которая является главным геодинамическим фактором тектонических движений, обуславливает подъем астеносферы, который, в свою очередь, определяет образование срединно-океанического хребта и рифтогенез. Их же следствием служит конвективный массоперенос, контролирующий гидротермальное сульфидообразование.

То же относится и к компрессионному механизму. Интрузии гранитов возможны только при условии их сильного флюидонасыщения, поэтому кислый расплав начинает двигаться при достижении определенной разности коэффициентов аномальности давлений между ним и тем участком разреза, куда он перемещается. Само же движение расплава вверх в осадочные толщи приводит к разогреву, мобилизации флюидов и их миграции – также по компрессионному механизму.

Хотя для трех остальных механизмов Лебедева – Пинского пространственного совпадения между однотипными движениями расплавов и растворов не наблюдается, существование этих механизмов бесспорно и для расплавов. Гравитационный механизм, который

<sup>2</sup> Первые 11 образовались по краям Евразии, остальные – по краям Пангеи: (1) Западно-Канадский и Уиллистон; (2) Восточных Скалистых гор; (3) Западный Внутренний; (4) Пермский; (5) Мичиганский и Иллинойский; (6) Преаппалачский; (7) Центральноевропейский; (8) Баренцевоморский; (9) Тимано-Печорский; (10) Волго-Уральский; (11) Прикаспийский; (12) Северного склона Аляски; (13) Бофорта-Маккензи; (14) Свердруп; (15) Североморский; (16) Западно-Сибирский; (17) Мексиканского залива; (18) Сахаро-Восточно-Средиземноморский; (19) Персидского залива; (20) Предкавказский; (21) Южно-Мангышлакский; (22) Амударьинский.

<sup>3</sup> Возможность движения флюидов возникает за счет разности коэффициентов аномальности пластовых давлений – частных от деления пластового давления на условное гидростатическое.

для растворов имеет вспомогательное значение, – для расплавов как раз самый важный, поскольку он определяет фундаментальные процессы «всплывания» континентальной коры над океанической или субдукцию океанической коры под континенты.

Движение же расплавов за счет неровностей рельефа (как бы инфильтрационный механизм) или химические реакции при смешении двух разных по составу расплавов (концентрационный механизм) наиболее свойственны вулcano-тектоническим депрессиям. В частности, действие концентрационного механизма массопереноса расплавов обусловлено резкими колебаниями их химизма. Эти колебания усиливаются за счет того, что расплавы поступают то из мантийного, то из разных коровых источников.

Если при формировании одного и того же рудного месторождения действовали два механизма миграции, то они всегда были разделены во времени и пространстве. Так, компрессионный механизм реализуется на этапах активизации при преобладающем сжатии, в частности, в ходе интрузивного магматизма. В то же время конвективный механизм реализуется при преобладающем растяжении, в основном после проявления различного по составу вулканизма.

### Несколько общих замечаний

Монография петербургских ученых построена во многих отношениях необычно.

1. Полностью поглощенные изложением своей новаторской идеологии, авторы пренебрегают обстоятельным обоснованием некоторых положений, которые кажутся им самоочевидными (на основе своих же ранее полученных результатов). Но ссылки на эти результаты (известные только авторам, но не читателю) либо очень скупы, либо вообще отсутствуют. Возьмем, например, крайне важное для теории рудогенеза утверждение проф. Лебедева о том, что коэффициенты аномальности пластовых давлений теоретически не могут превысить величину 2,6, а чаще всего они намного ниже (например, для газового гиганта Большого Уренгоя они не превосходят величины 1,95). Понятно, что проф. Лебедев это «давно знает» (такое знание исходит из детально изученных нефтяниками свойств покровов, ни одна из которых не может выдержать  $AVPD > 2,6$ ) – но знает ли это рядовой читатель? Поэтому иные места в самой большой Главе 3 этой книги напоминают не столько обычный геологический текст (фактический материал и его обсуждение), сколько доказательство некой теоремы, аксиоматика которой остается скрытой от читателя. Такое построение, скорее всего, объясняется опасением авторов слишком раздуть объем книги.

2. Тем не менее, авторам удалось решить весьма трудную задачу обобщенного изложения колоссального фактического материала: из рудных гигантов выбраны самые интересные, причем их описание максимально унифицировано, а красивые цветные иллюстрации выполнены с разработанной авторами единой легендой.

3. В методическом отношении чрезвычайно ценной является чисто «нефтяная» рекомендация – использовать при поисках рудных месторождений в первую очередь данные сейсморазведки, а прочие геофизические методы применять лишь как вспомогательные – для выявления более мелких рудоносных зон и отдельных месторождений.

4. Очень яркой особенностью монографии является авторский радикализм – если из предложенной модели логически вытекают необычные (хотя бы никогда и никем не высказанные) следствия – то авторы не смущаясь идут в своих выводах до конца. Например, уникальное богатство Южной и Экваториальной Африки золотом, ураном, марганцем объясняется тем, что «в течение колоссального интервала времени на большей части Южной и Экваториальной Африки и Бразилии накапливались столь же мощные разрезы, как и в гармоничных формациях фанерозоя» [1, с. 109]. При анализе размещения заведомо вулканогенных рудных гигантов в Андах дерзко утверждается, что на самом деле именно «фанерозойские гармоничные осадочные толщи в наибольшей степени определяют и дифференцированный состав вулканитов, обусловленный ассимиляцией расплавами осадочных пород и содержащихся в них флюидов, и состав самих рудоносных растворов» [1, с. 117]. Более того, на основе построенной авторами карты (рис. 3.7.1 на с. 118) они заявили, что «полученный результат превзошел все ожидания», поскольку оказалось, что «зональность в распределении по площади руд разного состава превосходно совпадает с площадями распространения разновозрастных гармоничных осадочных бассейнов» [1, с. 117] – и это при том, что в действительности в вулканогенных надсубдукционных толщах Анд от этих бассейнов практически ничего не осталось! И таких радикальных, удивляющих своей смелостью утверждений в книге множество. Например, даже в размещении кимберлитовых трубок на Сибирской платформе главным признается отнюдь не эндогенный фактор, а наличие мощного соленосного флюидупора в кембрийской толще!

5. Еще одной оригинальной особенностью книги является наличие в ней четырех Приложений (то, что в западной литературе называют «Appendix»). Это следствие все того же стремления авторов максимально разгрузить текст от «излишнего» материала, чтобы короче и яснее изложить свою основную концепцию. Но эти «аппендиксы» весьма оригинальны, интересны и значимы. В них авторы излагают свои взгляды по ряду ключевых проблем геологии: возникновения жизни и биологической эволюции на планете; глобальной и региональной цикличности; геодинамики осадочных бассейнов. Также впервые дана здесь обоснованная геологическая (а не только физическая) трактовка генезиса природных атомных реакторов (феномен Окло). Достаточно привести название только одного из Приложений – «Неудавшиеся океаны», чтобы читатель поверил, что его ждет весьма интересное чтение.

6. Мы уже отмечали достижения авторов по части геологического «дизайна», но не грех повторить, что монография великолепно иллюстрирована. Дело не только в высоком качестве печати и радующей разнообразием цветовой гамме, но и в целом ряде умных приемов. Так, нетрудно догадаться, что авторские иллюстрации даются в цвете, а все заимствованные – черно-белые. На картинках, характеризующих отдельные гиганты, дана весьма полезная нагрузка – полуколичественные сведения о качестве руд и даже некоторые суждения об их генезисе.

К сожалению, на взгляд придирчивого читателя, эту прекрасно оформленную книгу никак не украшает нелепый формат библиографии в конце (навязанный чиновниками от издательства): в списке литературы

библиографическому описанию зачем-то предпослана ссылка в квадратных скобках! Такие художества возможны только в нашей стране – о чем нам уже приходилось писать [2].

Последнее по счету, но не по важности: столь значительная монография, знаменующая настоящий прорыв в теории рудогенеза, делает честь петербургской науке, и что особо примечательно – науке университетской, всегда уступавшей по своему уровню науке академической. В данном случае мы имеем отрадное исключение: книга создана на кафедре геофизики, до недавнего времени ничем не выделявшейся из ряда других кафедр современного геологического факультета

Санкт-Петербургского университета. Однако кафедра совершенно преобразилась с приходом молодого энергичного заведующего – проф. С.В. Аплонова. Здесь читаются самые современные курсы, защищаются прекрасные дипломные проекты, выпускники кафедры идут нарасхват.

Творческое содружество привлеченного на кафедру выдающегося геолога-нефтяника проф. Б.А. Лебедева (в свое время сделавшего себе имя в геохимии осадочных бассейнов [3]) с большим поклонником и знатоком современной геодинамики, блестящим профессионалом-геофизиком проф. С.В. Аплоновым дало в итоге замечательный результат.

## Литература

1. Аплонов С.В., Лебедев Б.А. Нафторудогенез: пространственные и временные соотношения гигантских месторождений. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
2. Кетрис М.П., Юдович Я.Э., Хауэр Дж. Неорганическая геохимия углей. Аналитическая библиография, 1800–2006 гг. – Сыктывкар: Геопринт, 2008. – 252 с.
3. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. – Л.: Недра, 1992. – 239 с.
4. Лебедев Б.А., Пинский Э.М. Механизмы формирования эпигенетических месторождений и их эволюция в истории Земли // Отеч. геология. – 2000. – № 2. – С. 13–17.