

вия, не допуская переходов оползневых процессов в опасную нелинейную фазу развития.

Как показывает мировой опыт, профилактические меры несравнимо эффективнее и экономичнее, более целесообразны, чем

устранение последствий уже произошедшей катастрофы. К тому же многовековая история Саратова не раз доказывала, что катастрофы в активных оползневых зонах оказываются несравнимо опаснее самых пессимистичных прогнозов.

### Л и т е р а т у р а

1. Бернацкий Л.Н и др. Оползни Среднего и Нижнего Поволжья и меры борьбы с ними /под ред. Е.В. Милановского и М.П. Семёнова. – М.-Л.: изд-во строительной литературы, 1935. – С.217.
2. Оползень близ Хвалынского Саратовской губернии. Оползни на Увек //Гидрологический вестник. – 1915. – № 2. – С.3-41.
3. Рагозин И.С., Дунаева Г.В. Оползни Саратовского Поволжья. – М.: АН СССР, 1962.
4. Браташова С.А., Иванов А.В. Оползневая опасность на юго-восточной окраине Саратова и полыньи как ее вероятный индикатор //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2005. – Вып.44. – С.59-64.
5. Голынец Ф.Ф. К изучению оползневых процессов и о борьбе с ними. (Некоторые новые сопоставления) //Труды Нижневолжского об-ва краевед. (геол. сб.). – Саратов, 1930. – Вып.37 (б). – С.37-62.
6. Сингатулин Р.А., Иванов А.В., Браташова С.А. Гибель Укека: геологический фактор (по материалам геолого-археологических исследований 2001-2006 гг.) //Археология евразийских степей: материалы учредительного съезда международного конгресса "Средневековая археология евразийских степей". – Казань, 2007. – Вып.1. – Т.1. – С.196-203.

## ГИПОТЕЗЫ. ДИСКУССИИ. ПРОБЛЕМЫ

---

УДК 551.24 (470.4/.5)

### НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ ПО ПОВОДУ ОДНОЙ ГИПОТЕЗЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

© 2010 г. Я.А. Рихтер  
Саратовский госуниверситет

Проблемы геодинамики возникновения и развития такой уникальной структуры земной коры как Прикаспийская впадина привлекают в последнее время внимание все более широкого круга исследователей. Спектр развиваемых ими представлений чрезвычайно широк, занимаемые авторами теоретические позиции нередко очень далеки и несовместимы. Происходящая дискуссия о генезисе Прикаспийской впадины сама

по себе способствует продвижению наших знаний о геологии и перспективах этого региона в отношении нефтегазоносности его недр. Именно в такой связи целесообразно рассмотреть недавно появившуюся работу, посвященную этой проблеме [2].

В отправных моментах гипотезы, предложенной в этой статье, содержатся некоторые положения, вызывающие вопросы и возражения. Ее авторы, рассмотрев вначале

альтернативную гипотезу образования впадины за счет растяжения под нагрузкой накопившихся осадков, нашли, что нет достаточных доказательств такого растяжения, и поэтому "почти всё погружение на склонах впадины и его основная часть (а возможно и всё погружение) в центральной части должны быть обусловлены значительным уплотнением пород в литосфере" (с.498). А это возможно "в древней, остывшей литосфере ... только за счет фазового перехода габбро в нижней коре в более плотные гранатовые гранулиты или эклогиты", как ранее предположил один из авторов [1]. Здесь уже видно, из чего исходят исследователи: они считают литосферу под Прикаспийской впадиной древней, что следует из традиционных до сих пор широко разделяемых представлений о докембрийском возрасте так называемого фундамента впадины – такого же, что и фундамент Восточно-Европейской платформы. И становится ясно, что авторам предстоит объяснить, как эта древняя континентальная кора могла погрузиться, дав место огромной впадине на ее поверхности. Попытка такого объяснения в свое время была предпринята В.В. Белоусовым [3] в его борьбе со сторонниками мобилизма и закреплена им как гипотеза "океанизации" континентальной коры. Некоторые геофизики и петрологи развивали близкие представления о "базификации" земной коры при ее погружении.

Авторы [2] приводят два скоростных разреза по данным глубинного сейсмического зондирования на профилях Пугачев-Бейнау и Маныш-Карачаганак, где показано распределение средних значений скоростей продольных сейсмических волн по подсчетным блокам разрезов. Из сопровождающего текста видно, как авторы пытаются "уничтожить" океаническую кору, выделяющуюся здесь ранее некоторыми исследователями. Они стараются преуменьшить и масштабы ее распространения, и показать, что подсчетные значения средней скорости волн в большинстве блоков этой коры (6,4-6,7 км/с)

близки или соответствуют параметрам для диоритового и даже гранитного слоев континентальной коры. И лишь в самой центральной части впадины в низах разреза земной коры можно, по их мнению, выделять ограниченные участки базальтового слоя. Мощность выделявшегося во впадине базальтового слоя, по их мнению, слишком велика (15 км) по сравнению со средней ее величиной для современной океанической коры (7 км). Стоит заметить, что сами авторы согласны с известными заключениями о том, что "скорости упругих волн в гранитах, гранодиоритах, диоритах и габбро изменяются в довольно широких пределах" и что "определения состава пород коры по сейсмическим данным не вполне однозначны".

Посмотрим далее, насколько соответствуют отправные моменты разработанного авторами механизма образования Прикаспийской впадины известным геологическим данным о ее строении и времени формирования. Начнем с того, что некорректно использовать для оценки общего погружения дна впадины с момента ее заложения в конце рифея и до ее обособления в середине пермского периода известную величину максимальной мощности осадочного слоя (20-22 км), как следует из текста последней фразы на с.496 [2]. Исходя из объема палеозойских образований в общем стратиграфическом разрезе отложений впадины, можно предположить, что к этому времени во впадине могло накопиться не более 40-50 % общей мощности осадочного разреза, т.е. около 8-10 км ( и это максимум для ее центральной части). Кроме того, следует учесть, что эти породы испытали уплотнение под давлением и прошли цементацию, поэтому их плотность могла достигать значений, соответствующих  $V_p = 5,5-6$  км/с. Отсюда следует, что современная картина строения впадины по данным ГСЗ, МОГТ не может прямо свидетельствовать о начальных и ранних стадиях развития впадины. Эти данные в большей мере соответствуют конечному

этапу ее формирования. И, следовательно, ложе впадины не было "отформовано" в самом начале и изменялось со временем.

В частности, совершенно необязательно предполагать, как авторы статьи [5], что в центральной части впадины на глубинах 13-16 км залегают карбонаты позднего ордовика – силура, а под ними – еще около 5 км терригенно-карбонатных осадков. Для этого нет никаких оснований, кроме тех, что предлагаемые для них параметры плотности и наблюдаемые скорости сейсмических волн вполне удовлетворяют условиям поставленной задачи.

Более вероятен другой вариант, когда в центральной части бассейна на тех же глубинах 3,5-4,1 км (ниже критической границы карбонатной компенсации) происходило медленное накопление тонкодисперсных осадков типа кремнисто-глинистых илов, но никак не карбонатных. Расчеты, сделанные авторами [2], дали результаты, несколько этому не противоречащие. Судя по приведенному в статье сейсмогеологическому разрезу, мощность отложений докунгурского палеозоя оценивается более чем в 8 км. В частности, полученные авторами оценки толщины накопившихся за это время на океанической коре осадков (при глубине океана 3,6-4,1 км) вполне этому соответствуют – около 9,4-10,7 км.

Далее следует заметить, что расчет величины погружения и соответствующего утонения континентальной коры в результате ее растяжения может быть правомерен только по отношению к бортовой зоне Прикаспийской впадины, где еще она, эта кора, прослеживается. Время развития этого процесса – с конца среднего девона до начала кунгурского века ранней перми – составляет около 100 млн лет, что примерно соответствует модели Мак Кензи [7], которую используют авторы. Значение коэффициента интенсивности растяжения  $\beta$  в этом случае не будет превышать 20 %, и авторы правы, говоря, что такое его значение не может обеспечить "наблюдаемое утонение коры в

2,4-2,6 раза". Зато для бортовой зоны впадины этого вполне достаточно, здесь, в ее пределах, происходило растяжение континентальной коры, приводившее к появлению ступенчатых опусканий вдоль литрических сбросов, вращению вдоль них опускающихся в сторону впадины блоков.

Небесспорны представления авторов и о последующей истории развития Прикаспийской впадины. Так, они считают, как и авторы работ [1, 4, 5], что со среднего девона в ней происходило мелководное осадконакопление и лишь эпизодически в начале позднего девона, а затем в конце раннекаменноугольной эпохи и во второй половине позднекаменноугольной происходили быстрые погружения "как в центральной части впадины, так и на ее склонах, за ~ 1 млн лет", что привело к формированию на месте шельфа глубоководного бассейна [2]. Однако на основе современных данных можно утверждать: по мере приближения со стороны бортовой зоны к внутренней части впадины становится все более ясным, что палеозойские отложения малых и средних глубин бортовой зоны сменяются типичными глубоководными, и, следовательно, Прикаспийская впадина сохраняла свой глубоководный характер, унаследованный от океанического бассейна раннего палеозоя. Отмеченные события и их последствия относятся, по мнению автора этой статьи, только к бортовой зоне впадины – области шельфа, где происходили локальные погружения в результате упругого изгиба и растяжения континентальной земной коры (точнее, литосферы), вовлекаемой в общее опускание глубоководной Прикаспийской впадины. Не стоит принимать всерьез доводы в пользу слабого растяжения земной коры под впадиной, основанные на наблюдаемой картине отражений на временных разрезах и их интерпретации как непрерывных слоев (например, среднего девона) во всех частях впадины. В условиях общего погружения его скорость вряд ли заметно превышала скорость осадконакопления, а разрывные дис-

локации, фиксируемые на этих разрезах, могли быть и более поздними.

Попробуем теперь произвести расчеты, используя ту же модель Мак Кензи. При толщине океанической коры в 15 км (максимальной) и мощности осадочного слоя 5 км, что может соответствовать условиям некомпенсированного погружения в глубоководных условиях за девонско-раннекаменноугольное время, т. е. порядка 80-100 млн лет, растяжение земной коры под дном впадины могло составить 50 %. При средней толщине океанической коры в 10 км и прочих равных условиях растяжение земной коры составит 60 %, т. е. практически близкую величину. Эта оценка растяжения должна примерно соответствовать утонению земной коры в 1,5-1,8 раза. Однако, судя по геофизическим данным, толщина геофизического базальтового слоя под Прикаспийской впадиной явно больше (порядка 15-18 км), и, следовательно, можно предполагать, что растяжение ее дна под нагрузкой осадков было еще меньшим (возможно, и мощность осадков была меньше чем 5 км).

Таким образом, простое приложение модели Мак Кензи к нашему случаю неправомерно. Процесс формирования впадины был более сложным. Одновременно с погружением и, может быть, вследствие него происходило расширение впадины за счет обрушения и сползания блоков на ее бортах вдоль листрических сбросов. Сам эффект растяжения при нагрузке осадками проявлялся в основном на бортах впадины (начиная с их упругого изгиба) и выражался в расширении зоны образующихся ступенеобразных дислокаций, а в целом – в утонении континентальной земной коры, окружающей впадину. В свою очередь сами блоки надвигались на днище впадины, возможно, перекрывая и дислоцируя глубоководные осадки раннего и среднего палеозоя. Захваченная этими дислокациями периферия впадины составила в итоге не менее 40 % ее площади вдоль западной и северной бортовых зон с глубиной до "консолидированной коры" 8-10 км.

Углы наклона листрических сбросов, ограничивавших блоки, как известно, зависят от степени растяжения, его скорости (интенсивности) при погружении коры и накоплении осадков по соотношению [6]:

$$\beta = \frac{\sin \varphi}{\sin (\varphi - \theta)},$$

где  $\varphi$  – начальный угол наклона сбросов. При  $\beta = 1,5$  и среднем значении начального наклона  $\varphi = 45^\circ$  углы наклона в конечной стадии составят не более  $13-15^\circ$ , следовательно, эти сбросы с глубиной выполаживаются до 8-10 км. При ширине ступеней наклонных блоков в 5-20 км их смещение по листрическим сбросам должно сформировать уступы в рельефе континентального склона порядка 1,1-5,5 км (при  $\theta = 13-15$ ). И эти уступы существуют! Они обнаруживаются на сейсмических профилях поперечных к бортовой зоне направлений, подтверждаются бурением в виде асимметричных "прогибов"-полуграбенных, в целом параллельных бортовой зоне и заполненных более поздними осадками верхнего палеозоя и мезозоя (авторы рассматриваемой здесь гипотезы, видимо, считают, что этого не наблюдается). При этом важно учитывать, что наибольшие расчетные значения высоты уступов (до 5,5 км) на самом деле распределяются иначе – как общие суммарные величины для серии меньших по размерам блоков. Кроме того, следует принимать во внимание значение ползучести и пластической вязкости вещества этих блоков, что также снижает степень контрастности рельефа их поверхности.

Возвращаясь к теме нашего обсуждения, следует констатировать, что авторы в ряде своих допущений и выводов приходят к противоречиям и несоответствиям с наблюдаемой геолого-геофизической картиной и ее объективно выстроенной интерпретацией. Принимая непрерывный характер сейсмических волновых отражений за соответствующее им поведение геологических границ внутри впадины (в центральной ее части, –

оговариваются авторы, см. с.498), они приходят к заключению об отсутствии серьезного растяжения дна впадины (оставляя для него величину не более 2,5-3,2 %), что приводит их к оценке мощности накопленных осадков не более 0,5-0,6 км. И так как эта оценка совершенно не соответствует фактам, то авторы отбрасывают саму гипотезу о латеральном растяжении земной коры как негодную и выбирают альтернативную – о роли уплотнения пород земной коры и литосферы в целом за счет погружения и фазового перехода габбро нижней коры в гранатовые гранулиты (эклогиты).

Такой выход уже был ранее предложен одним из авторов [1]. В основе этой гипотезы лежит относительно простая петрологическая схема, согласно которой при определенных термодинамических условиях возможен фазовый переход минералов основных пород (габбро в том числе) в минералы высоких давлений гранулитовой и эклогитовой фаций регионального метаморфизма. Однако в данном случае важна не столько осуществимость такого перехода, сколько геодинамическая роль этого явления в общем процессе формирования Прикаспийской впадины. Самое трудное остается: не ясны причины этой эклогитизации габбро в низах земной коры, и главное – не ясно, что было раньше – само погружение (хотя бы в начале) или эклогитизация, ведущая к погружению и "удерживающая" земную кору континентального типа в погруженном состоянии? В последнем варианте не ясны причины активной эклогитизации (если последняя вызывает погружение). Как эта схема напоминает представления В.В.Белоусова и его сторонников в 60-70-е годы прошедшего столетия о "базификации" земной коры континентов, ее "океанизации" и т.п.!

Отметим и некоторые спорные моменты предложенной гипотезы. Авторы приходят в своих расчетах к тому, что начальная толщина слоя основных пород (габбро) должна достигать огромной величины 30,7 км, при переходе в эклогиты она уменьшается

до 25,6 км, давая место осадочным толщам порядка 20 км, что требуется, так как соответствует известным данным геофизики. Авторы помещают этот мощный слой эклогитов под разделом Мохо, хотя по петрологическим критериям относят его к коре. Установленные здесь для кромки мантии значения  $V_p$  находятся в пределах 7,9-8,1 км/с, это не смущает авторов, считающих такие значения несколько меньшими, чем необходимо для верхов мантии, и указывающих на то, что такие же значения  $V_p$  характерны для эклогитов с плотностью, примерно равной 3500 кг/м<sup>3</sup>. Последнее указание вполне уместно, но относится к экстремальным давлениям и вызываемой ими плотности, что, вероятнее всего, не соответствует области раздела Мохо. Обычная плотность эклогитов несколько меньше принятой авторами. Гравиметрические данные, на которые они ссылаются, с той же степенью вероятности могут быть подтверждением того, что на тех же глубинах в мантии содержатся аномально плотные массы, находящиеся в относительно охлажденном состоянии.

Вызывает сомнение и еще одно условие, принятое авторами при их расчетах: необходимость быстрого погружения и такого же быстрого уплотнения вещества земной коры при эклогитизации. Они считают, что "одновременное погружение без значительного растяжения в обеих областях (на склонах и в центральной части впадины – авт.) свидетельствует о том, что оно было обусловлено одним и тем же механизмом – быстрым уплотнением пород основного состава в нижней коре" (с.499). И этот механизм – действие мантийного плюма, доставляющего необходимый для этого глубинный флюид. Вот причина эклогитизации! Однако в этом случае восходящие мантийные плюмы должны вызывать не только поток флюидов, но и тепла, что обуславливает разогрев литосферы в целом и земной коры в частности (и это как раз наблюдается для недр Прикаспийской впадины), и, следовательно, ее разуплотнение, что никак не

может сочетаться с эклогитизацией пород ее нижней части.

Отсюда следует, что выводы авторов не могут считаться обоснованными и убедительными. Их заключение, что "такие погружения (как Прикаспийская впадина – авт.) возможны только на континентальной коре, в нижней части которой расположен мощный слой пород основного состава" (с.499), по меньшей мере парадоксально.

Для построения современной модели образования и дальнейшего формирования Прикаспийской впадины необходимо привлечение новейших данных о ее строении и характере сопряжения с окружающими ее структурами, в первую очередь, со структурами Восточно-Европейской платформы. Решающими здесь, как это ни странно на первый взгляд, окажутся геологические данные, а не геофизические. Теперь уже нельзя игнорировать новые факты о палеогеографии и палеотектонике зоны сопряжения

Прикаспийской впадины и Восточно-Европейской платформы [4, 5, 10, 8, 11 и др.], прямо указывающие на существование в среднем и позднем палеозое в этой зоне пассивной окраины палеоконтинента Балтии [6, 7] и, следовательно, также недвусмысленно свидетельствующие о находившемся по соседству, на месте Прикаспийской впадины, палеоокеане с соответствующим типом земной коры. Также важно учитывать современные данные о закономерной смене фациально-литологического состава палеозойских отложений от мелководных шельфовых до настоящих глубоководных по мере удаления от бортовой зоны впадины внутрь ее, что выяснено по результатам глубокого бурения последних лет. Конечно, остается еще много проблем, но они носят уже частный характер и в целом не влияют на самую постановку задачи, условия которой теперь определены с необходимой достоверностью.

#### Л и т е р а т у р а

1. Артющков Е.В. Физическая тектоника. – М.: Наука, 1993.
2. Артющков Е.В., Егоркин А.В. Механизм образования Прикаспийской впадины //Докл. РАН, 2005. – Т.400. – № 4. – С.494-499.
3. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М.: Недра, 1975.
4. Писаренко Ю.А. Вопросы сейсмостратиграфии, ее соотношения со стратиграфией и другими направлениями геологии //Недра Поволжья и Прикаспия. – 1997. – Вып.14. – С.3-7.
5. Писаренко Ю.А., Кривонос В.Н. Критический анализ депрессионной и инверсионной моделей Прикаспийской впадины //Недра Поволжья и Прикаспия. – 1995. – Вып.9. – С.3-10.
6. Рихтер Я.А. Прикаспийская впадина – реликт палеозойского океана? //Недра Поволжья и Прикаспия. – 1997. – Вып.12. – С.3-9.
7. Рихтер Я.А. Очерки региональной геодинамики Прикаспийской впадины и ее обрамления //Труды НИИ геологии Саратовского госуниверситета. Нов. сер. – Т.ХIV. – Саратов: изд-во "Научная книга", 2003.
8. Шебалдин В.П. Тектоника Саратовской области. – Саратов: ОАО "Саратовнефтегеофизика", 2008.
9. Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия. – М.: Научный мир, 1998.
10. Югай Т.А., Московкин О.В., Фёдорова М.Д. Новые данные по палеогеографии и фациям терригенного среднего карбона Саратовско-Волгоградского Поволжья //Недра Поволжья и Прикаспия. – 1996. – Вып.10. – С.15-20.
11. Яцкевич С.В., Постнова Е.В., Умнова Л.Н. Литолого-стратиграфические и фациальные особенности разрезов подсолового палеозоя Волго-Уральской нефтегазоносной провинции //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2009. – Вып.57. – С.3-28.
12. Brunet M.-F., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Lobkovsky L.I. //Tectonophysics. – 1999. – V.313. – P.85-106.
13. Le Pichon X., Sibuet J.C. //Geophys. Res. – 1981. – V.86. – P.3708-3720.
14. McKenzie D. //Earth and Planet Sci. Lett. – 1978. – V.40. – P.25-32.