

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

А. М. НИКИШИН

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

MECHANISMS OF SEDIMENTARY BASIN FORMATION

A. M. NIKISHIN

Sedimentary basin is an area of consolidated Earth's crust covered with a thick layer of non-deformed sediment. There are two principal prerequisites to sedimentary basin formation: a space for sediment to settle to and a source of sediment. Major formation mechanisms of various sedimentary basins are discussed.

Осадочный бассейн – это область консолидированной земной коры, перекрытая мощной толщей недеформированных осадков. Для образования осадочного бассейна необходимы два главных условия: пространство для осаждения осадков и источник осадочного вещества. Рассмотрены основные механизмы формирования осадочных бассейнов разных типов.

ВВЕДЕНИЕ

Понятие “осадочный бассейн” трактуется разными исследователями различно. В классическом варианте осадочный бассейн — это блюдцеобразная впадина в земной коре, заполненная осадками. Но по мере изучения геологии Земли стало ясно, что есть много бассейнов с разной геометрией и природой. Поэтому наиболее простое и широкое понятие осадочного бассейна — это область консолидированной (то есть складчатой, метаморфизованной или базальтовой) земной коры любого типа, перекрытая чехлом недеформированных либо слабodeформированных осадков. Так как именно к осадочным бассейнам приурочены природные запасы нефти, газа и угля, к ним давно приковано внимание ученых. Классификации осадочных бассейнов, предложенные разными авторами, сложны и разнообразны. Геология и геодинамика осадочных бассейнов — бурно развивающиеся направления в науках о Земле. Последние сводки по осадочным бассейнам представлены в [1–4].

ГЛАВНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Что главное в механизмах образования осадочных бассейнов? Для образования осадочного бассейна необходимы два важнейших условия: 1) должно быть образовано пространство, которое может быть заполнено осадком какого-либо типа; 2) должен быть источник осадка любого вида. Существует много разных типов осадков, но доминируют два — обломочные осадки и продукты их разрушения (песчаники, глины, конгломераты) и биогенные осадки (известняки, кремни).

Обломочные осадки в большинстве случаев формируются при эрозии континентов, и особенно их наиболее приподнятых зон — горных областей. Они транспортируются в осадочные бассейны в основном речными системами. Биогенные осадки связаны с тем, что карбонаты или кремнезем образовывали скелеты микро- и макрофауны и флоры (нанопланктона, зоопланктона, рифостроящих организмов, двустворчатых моллюсков, аммонитов). Организмы с карбонатными или кремнеземными скелетами образовывали осадок на дне моря.

Рассмотрим только первое условие для формирования осадочного бассейна: как создается пространство, которое может быть заполнено осадком, при этом приведем только наиболее типичные случаи, которые хорошо изучены.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ПО МЕХАНИЗМАМ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Большинство осадочных бассейнов связаны с впадинами в рельефе, то есть на поверхности земной коры образовывались или обособливались понижения (депрессии), которые заполнялись осадками (например, во впадину-море текли реки и приносили обломочный материал, во впадине-море находилось огромное количество организмов и формировались биогенные известняки).

Как может возникнуть впадина на земной коре? (Конечно, и океаны в целом можно называть осадочными бассейнами, но традиционно они разделяются на континентальные окраины разных типов, глубоководные котловины, океанические приподнятые плато и срединные хребты.) Есть три основных варианта: 1) отшнурованные бассейны, 2) остаточные бассейны, 3) новообразованные бассейны — прогибы за счет погружения коры. Наша классификация есть некая идеализация реальных явлений, но она помогает понять, как образуются основные осадочные бассейны на Земле.

Отшнурованные бассейны

Осадочный бассейн может быть образован при отшнуровывании (отделении поднятием) небольшого бассейна от более крупного. Например, между вулканической дугой типа Курильской и желобом океана часто вырастает поднятие за счет нагромождения вещества над зоной субдукции (зоной погружения литосферы в мантию). Это так называемая авулканическая дуга, создаваемая аккреционным комплексом (комплексом приращения), который по механизму формирования напоминает кучу осадка перед движущимся бульдозером в зоне надвига-поддвига литосферных плит. Данное формирующееся поднятие, как дамба, отделяет часть моря. И эта отшнурованная часть моря становится ловушкой для осадочного материала, сносимого с вулканической дуги. Таких примеров много. И наиболее типичными являются так называемые преддуговые прогибы, широко распространенные между вулканическими дугами (типа Камчатской, Японской, Индонезийской, Курильской) и соседними глубоководными желобами (рис. 1).

Остаточные бассейны

Остаточные осадочные бассейны образуются тогда, когда большой бассейн с удаленными источниками сноса

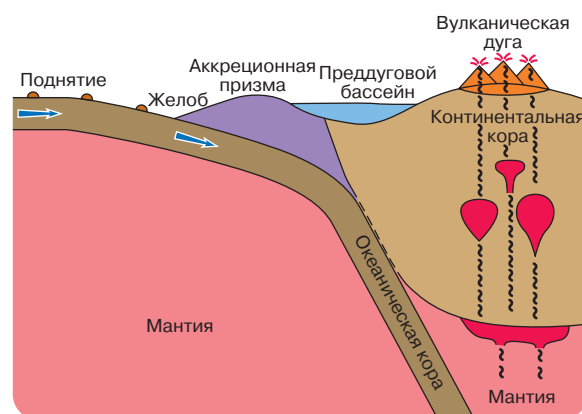


Рис. 1. Принципиальная схема тектонического положения преддугового бассейна

осадков резко сокращается в размерах в ходе субдукции (погружения в астеносферу) его литосферы и превращается в относительно небольшой глубокий бассейн, окруженный горными областями. В этом случае бассейн становится местом для быстрого осадконакопления. Типичный пример — впадина Восточного Средиземноморья, в которой мощность осадочного чехла достигает 10–15 км. Это остаток ранее существовавшего огромного океана Тетис шириной в сотни или тысячи километров, который в мезозое разделял Европу и Африку с Аравией (рис. 2).

Новообразованные бассейны-прогибы и механизмы их формирования

Новообразованные бассейны-прогибы — самый распространенный тип осадочных бассейнов. Среди новообразованных прогибов можно выделить четыре принципиально различающихся типа по механизму погружения: 1) прогибание из-за растяжения литосферы, 2) прогибание в связи со вдавливанием вниз блока литосферы в ходе ее сжатия, 3) прогибание литосферы из-за ее утяжеления, 4) прогибание литосферы в связи с ее изгибом. Все эти четыре типа прогибов (включая их сочетания) широко распространены.

Растяжение литосферы приводит к образованию рифта — большого грабена или системы грабенов в масштабах литосферы (рис. 3). Примеры рифтов — это современные впадины озер Байкал и Танганьика, рифтовые долины Кении и Эфиопии, рифтовая долина вдоль реки Рейн. Рассмотрим, как происходит образование рифтов.

Внешняя твердая оболочка Земли называется литосферой. В литосфере в целом чем глубже, тем более пластичные породы, так как с глубиной возрастает температура (но в связи с тем, что с глубиной меняется

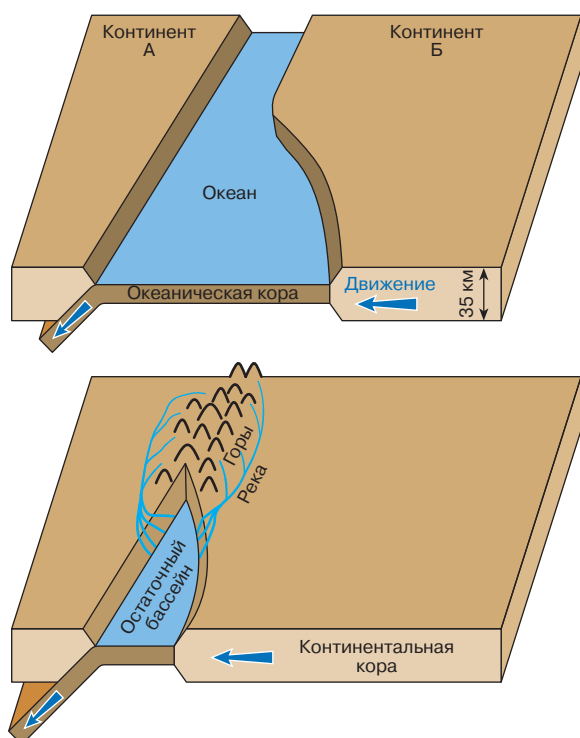


Рис. 2. Модель формирования остаточного осадочного бассейна. При закрытии океана типа мезозойского океана Тетис с неодинаковыми очертаниями континентов образуются остаточные океанические бассейны с мощным осадочным чехлом типа современного Восточного Средиземноморья

и химический состав литосферы, эта закономерность имеет более сложный характер). Литосфера под действием растяжения может вести себя двумя различными способами (см. рис. 3). Вариант I — литосфера пластически растягивается в шейку (как если бы вы растягивали мягкий пластилин), и на ее поверхности образуется линейное понижение (или рифт). Вариант II — литосфера рвется по пологому сбросу (разлому), и рифт образуется за счет смещения нависающего блока литосферы по этому сбросу. В природе ни первый, ни второй вариант в чистом виде не проявляются, но они реализуются совместно с большей ролью то одного, то другого механизма. Так образуются рифтовые впадины шириной по 20–150 км, которые широко распространены на Земле. Типичная толщина осадочного чехла в рифтах составляет 4–10 км. Если растяжение происходит и дальше, то континентальная литосфера разрывается и начинается образование океанического бассейна с корой базальтового состава. Ширина этого бассейна может быть от первых сотен километров (например, Красное море) до тысяч километров (например, Индийский

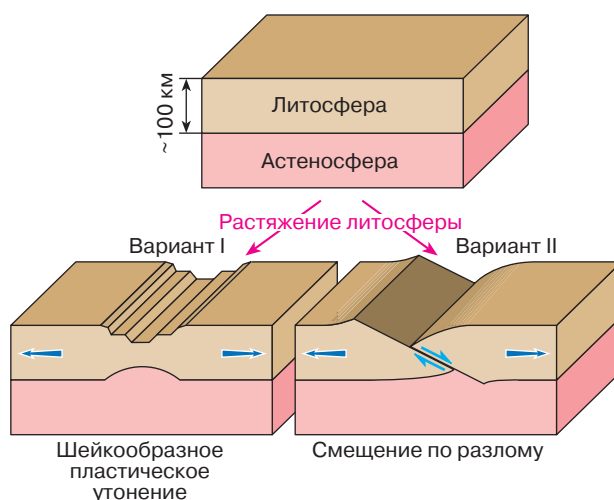


Рис. 3. Два основных механизма формирования рифтовых впадин. Литосфера — это твердая внешняя оболочка Земли, астеносфера ведет себя как эффективно жидкое вещество. Литосфера может либо пластически вытягиваться, либо рваться. Реальная литосфера в зависимости от ее толщины и на разных глубинах может деформироваться либо хрупко, либо пластически

океан). И океаны как гигантские впадины на Земле можно также рассматривать как осадочные бассейны.

Земная литосфера часто подвергается региональному сжатию с образованием осадочных бассейнов вдавливания литосферы, например в таких обширных горных областях, как системы гор от Тянь-Шаня до Алтая. При сжатии литосферы формируются межгорные впадины вдавливания коры или литосферы вниз типа впадин Ферганской долины и озера Иссык-Куль с мощностью осадочного чехла 5–8 км. Такое вдавливание коры вниз могло осуществляться двумя путями. Первый вариант — литосфера межгорной впадины вдавливается вниз как синклинальная общелитосферная складка, второй вариант — литосфера межгорной впадины, ограниченная взбросами, вдавливается вниз, зажата между двумя литосферными блоками, выдавливающимися вверх (рис. 4). Также можно сказать, что в природе оба этих механизма реализуются, но в разных случаях преобладает то первый, то второй вариант.

Прогибание в связи с утяжелением литосферы (или термальное погружение) является наиболее распространенным вариантом формирования широких осадочных бассейнов типа Северного моря и Западной Сибири. Часто такое прогибание протекает после завершения этапа рифтообразования, оно называется пострифтовым погружением. Рассмотрим, в чем его суть (рис. 5). При рифтинге (то есть рифтообразовании) происходит шейкообразное утонение литосферы. Под литосферой рас-

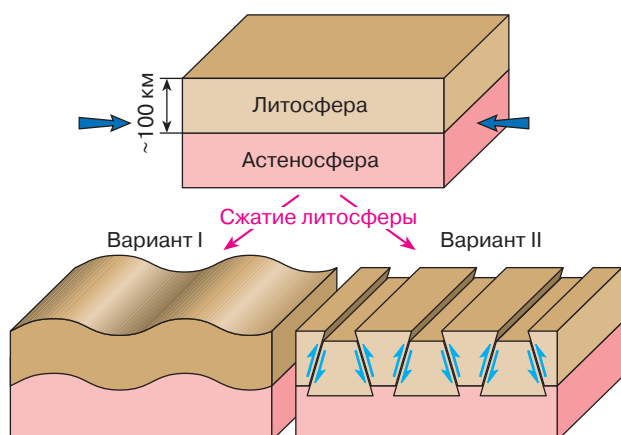


Рис. 4. Два механизма формирования впадин вдавливания литосферы вниз. Литосфера при региональном сжатии может либо изгибаться в складки, либо рваться на блоки, из которых одни вдавливаются, а другие выдавливаются. Опускающиеся зоны образуют межгорные впадины, а поднимающиеся – горные хребты

полагается астеносфера с частично расплавленным веществом мантии. Под зоной шейкообразного утонения литосферы (рифтом) уменьшается давление на вещество астеносферы (происходит так называемая декомпрессия). Как известно, при снижении давления температура плавления породы понижается, значит, астеносфера под рифтом повышает степень своего плавления и становится легче. Часто из мантии в зону этого усиленного плавления может перетекать дополнительно более горячее вещество. Под рифтом в итоге образуется “горячее пятно”. Когда рифтинг останавливается и декомпрессия заканчивается, то горячее пятно начинает охлаждаться сверху. Его бывшее астеносферное вещество наращивает толщину литосферы снизу. В итоге литосфера утолщается и становится плотнее подстилающей ее астеносферы и полоса бывшей рифтовой зоны погружается. Величина этого погружения может составлять 3–10 км. Так как величина горячего пятна под рифтом обычно намного шире самого рифта, то полоса зоны пострифтового погружения составляет обычно 300–800 км.

Одними из гигантских осадочных бассейнов являются пассивные окраины континентов типа атлантических с их шельфами. В них мощность осадочного чехла может достигать 10–20 км. Главная фаза погружения пассивных окраин пострифтовая. Известно, что раньше на месте пассивных окраин были континентальные рифты. Потом рифтинг в них перерос в раздвижение континентов и спрединг океанической коры (то есть формирование новой коры в зоне раздвижения литосферных плит), и ось этого спрединга в виде срединно-океанического хребта постоянно отодвигалась от пас-

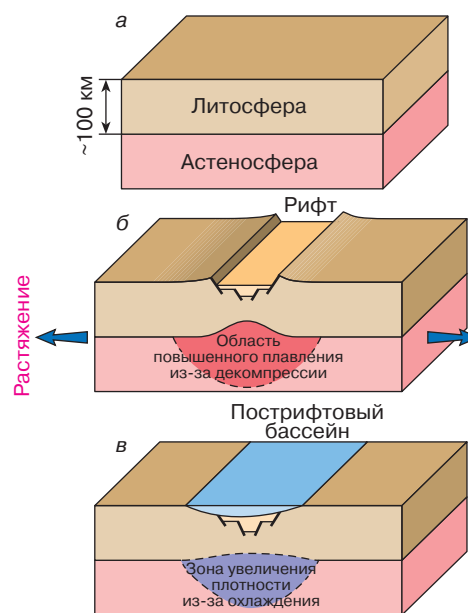


Рис. 5. Модель формирования пострифтового осадочного бассейна: а – дорифтовая стадия, б – рифтовая стадия (растяжение литосферы), в – пострифтовая стадия (растяжение прекратилось)

сивной окраины. В итоге литосфера пассивной окраины охлаждалась, утолщалась и медленно погружалась на многие километры.

Есть гипотезы, что погружение литосферы за счет ее утяжеления может проходить и без рифтинга. Известно, что горные породы, слагающие литосферу, состоят из минералов. При разных давлениях, температурах, наличии или отсутствия флюидов в минералах, слагающих породы, могут происходить фазовые изменения с переменной их плотностей. Есть гипотетические варианты, что эти фазовые переходы имеют значительные масштабы [1], а так как реально температуры в литосфере могут меняться на сотни градусов (как и другие параметры), то вполне вероятен механизм погружения литосферы в связи с фазовыми переходами в ней и с образованием прогиба на поверхности.

Земная литосфера под воздействием приложенных к ней сил может изгибаться, и там, где она изгибается вниз, возникает так называемый флексурный осадочный бассейн (от англ. flexure – изгиб). Есть три основных случая изгиба литосферы с формированием осадочных бассейнов: 1) зона субдукции континентальной литосферы, 2) зона изгиба литосферы под избыточной тяжестью литосферы горного сооружения и 3) зона изгиба литосферы из-за надвинутых на нее масс (рис. 6). Все они приурочены к предгорным осадочным бассейнам, располагающимися между формирующим-

ся горным поясом и сопряженной более стабильной областью. Поэтому они называются краевыми прогибами с типичной мощностью осадков в них 5–8 км.

Первый случай — континентальная литосфера поддвигается (субдуцирует) под континентальную литосферу. Это наблюдается, например, между Индийским субконтинентом и Гималаями и между Аравийским субконтинентом и Загросом. При этом в зоне поддвига литосфера субдуцирующего континента изгибается и погружается вниз. В зоне ее изгиба и погружения на поверхности возникает депрессия, и она заполняется осадками. Так перед фронтом Гималаев возник Предгималайский (или Индо-Гангский) краевой прогиб, а перед фронтом Загроса — Предзагросский (или Персидского залива) краевой прогиб.

Второй случай — зона изгиба литосферы под избыточной тяжестью литосферы горного сооружения. При формировании горных сооружений типа Большого Кавказа, Альп, Пиренеев происходит закрытие глубоководного бассейна за счет сближения его бортов. Например, на месте Большого Кавказа 35 млн лет назад существовал глубоководный бассейн типа современного Черного моря с земной корой толщиной около 15 км,

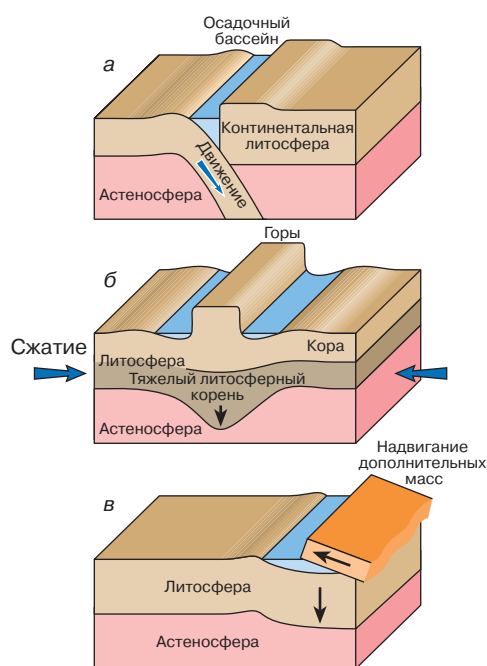


Рис. 6. Три основных типа флексурных бассейнов: а — зона континентальной субдукции (поддвига литосферы одного континента под литосферу другого континента), б — зоны погружения из-за избыточной тяжести литосферы горного сооружения, в — зона изгиба литосферы под дополнительной тяжестью надвинутых на нее масс

литосферой толщиной около 100 км и шириной около 200 км. При постепенном закрытии его борта сближались до полного столкновения около 11 млн лет назад. При сжатии бывшего глубоководного бассейна вещество его коры и литосферы не могло исчезнуть — оно образовало горный пояс с толщиной коры 45–50 км и толщиной литосферы до 250 км (зона с утолщенной литосферой имеет так называемый литосферный корень). Эта утолщенная литосфера с повышенной плотностью сделала литосферу горного сооружения более тяжелой, чем литосфера сопряженных областей. Под тяжестью избыточного веса литосферы орогена сопряженные с ним области начинали погружаться и образовывать предгорные осадочные бассейны. Механизм станет понятнее, если представить, земную литосферу в виде упругой пластины. Если на эту упругую пластину поставить линейно-вытянутую гирию («горный пояс»), то под тяжестью гири пластина прогнется и возле гири появятся линейные понижения из-за изгиба — краевые (предгорные) прогибы. Вероятно, так сформировались краевые прогибы севернее и южнее Большого Кавказа, вдоль которых текут реки Кубань, Терек, Кура. На концах горного сооружения такого типа (окончаниях линейно-вытянутой гири) также будет идти погружение. Вероятно, так сформировались глубокие осадочные бассейны на окончаниях Большого Кавказа — зона Апшеронского полуострова в районе Баку и зона Таманского полуострова в районе Тамани–Керчи. Утолщение литосферы при формировании горного пояса при сжатии не может идти бесконечно. Этот корень растет вниз за счет его сжатия и сплющивания. Ниже литосферного корня располагается менее плотная астеносфера. Тяжелый литосферный корень может оторваться и утонуть в астеносфере (как, например, отрывается большая сосулька). Отрыв тяжелого корня приводит к быстрому изостатическому подъему горного сооружения по тому же механизму, как если бы с корабля сбросили в воду тяжелый груз (при этом корабль сразу приподнимается). Возможно, нечто подобное произошло под центральной частью Большого Кавказа 5–10 млн лет назад. После этого события Большой Кавказ стал быстро подниматься, а на его оси возникли вулканы Эльбрус, Казбек и др. Образование этих вулканов на оси горного пояса объясняется тем, что после отрыва литосферных корней астеносферное горячее вещество близко подошло к подошве коры, вызвав его плавление и последующий вулканизм.

Третий случай — зона изгиба литосферы из-за надвинутых на нее масс. При формировании многих горно-складчатых зон типа Альп и Карпат происходит надвигание складчатых масс горного пояса на сопряженную стабильную область. Часто толщина таких надвиговых поясов достигает 5–15 км. Это означает,

что на литосферу ранее стабильной области сверху накладывается дополнительная масса. Под тяжестью дополнительной массы предгорная часть должна погружаться с формированием краевого бассейна. Этот механизм реально широко распространен (Предальпийский, Предкарпатский, Предуральский краевые прогибы), но обычно в сочетании с описанными выше первым и вторым случаями.

БАССЕЙНЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПОДНЯТИЯМИ

Есть осадочные бассейны, связанные не с прогибами, а с поднятиями. Это, например, подводные плато типа Кергелен в океанах. В океанах на дне низкая скорость осадконакопления, но на плато глубина может составлять сотни метров. На дне плато поселяется огромное количество организмов, а в толще воды живет масса планктона и нанопланктона с карбонатными скелетами. На этих плато часто происходит значительная по масштабам карбонатная седиментация за счет микроорганизмов или, например, рифостроющих организмов. Вариантами таких океанических плато являются многочисленные атоллы и гайоты с их гигантскими рифовыми постройками.

КАК ФОРМИРОВАЛИСЬ РЕАЛЬНЫЕ ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ

Мы рассмотрели основные механизмы формирования осадочных бассейнов. Но каждый конкретный осадочный бассейн образовался за счет многих механизмов, которые менялись во времени последовательно или действовали одновременно. Рассмотрим некоторые классические примеры. В зоне крупнейшего на Земле нефтеносного осадочного бассейна — краевого прогиба Персидского залива около 270–260 млн лет назад формировался рифт. Затем рифт раскололся, и началось раздвижение океанического бассейна. Район прогиба Персидского залива стал пассивной окраинной океана атлантического типа. На этой окраине в области шельфа в мезозое в условиях теплого климата происходило быстрое осадконакопление с формированием нефтематеринских пород, изначально обогащенных органическим материалом. Примерно 35–40 млн лет назад на эту пассивную окраину стал надвигаться Загросский ороген (современный горный пояс) и между Аравией и Загросом стала формироваться зона субдукции с поддвигом Аравийского субконтинента под Загрос. На бассейн бывшей пассивной окраины сверху наложился флексурный бассейн зоны континентальной субдукции. Надвигание горных масс Загроса в сторону Аравии вызвало дополнительное погружение краевого прогиба за счет веса надвигов. Значит, современный бассейн Персидского залива возник при действии нескольких механизмов погружения литосферы.

Современный осадочный бассейн Южного Каспия, продолжающийся на суше в Азербайджан и Туркмению, также считается крупнейшим нефтегазоносным бассейном мира. Его история пока не установлена, но намечена следующая последовательность событий. Примерно 160–155 млн лет назад начался рифтинг, который 155–145 млн лет назад привел к формированию микроокеанического бассейна типа современного Тирренского моря с корой, близкой по строению к океанической. Затем 145–35 млн лет назад бассейн медленно погружался за счет охлаждения его литосферы и заполнялся осадками. Примерно 35 млн лет назад на месте Кавказа, Эльбруса и Копетдага начали формироваться складчатые сооружения, которые примерно последние 11 млн лет испытывают воздымание и превратились в горы. Бассейн Южного Каспия стал краевым прогибом сразу для трех горных систем: Большого Кавказа, Эльбруса и Копетдага. Погружение Южного Каспия ускорилось сразу за счет двух основных механизмов: его литосфера вдавливалась вниз из-за регионального сжатия и его литосфера погружается в связи с избыточной тяжестью литосферы орогенов Большого Кавказа и Эльбруса. Можно уверенно говорить, что гигантский осадочный бассейн Южного Каспия возник за счет нескольких механизмов погружения. Большинство современных крупнейших нефтегазоносных бассейнов имеют сложную историю и формировались в ходе действий разных механизмов.

Автор благодарен своим ученикам А.В. Ершову, М.В. Коротаеву, С.Н. Болотову и П.А. Фокину, с которыми он совместно разрабатывает модели формирования осадочных бассейнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артюшков Е.В.* Физическая тектоника. М.: Наука, 1993. 456 с.
2. *Никишин А.М., Ершов А.В., Копеевич Л.Ф. и др.* Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов. М.: М-во природы, 1999. 524 с. (Сер. метод. руководств по геодинам. анализу при геол. картировании / Под ред. Н.В. Межеловского, А.Ф. Морозова).
3. *Соколов Б.А.* Эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов. М.: Наука, 1980. 244 с.
4. *Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995. 480 с.

Рецензент статьи М.Г. Ломизе

Анатолий Михайлович Никишин, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии и истории Земли геологического факультета МГУ. Область научных интересов – глобальная геология и планетология, геология и моделирование осадочных бассейнов, внутриплитная тектоника. Автор более 230 научных работ и двух учебных пособий.