СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ АЛЬПИЙСКОГО БОЛЬШОГО КАВКАЗА ПО ПАРАМЕТРУ «ОБЪЕМ РАЗМЫТЫХ ПОРОД»

Ф.Л. Яковлев¹, А.А. Сорокин¹

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, yak@ifz.ru, aas@ifz.ru

Задача сравнения нескольких конкурентных геодинамических моделей с целью выбора наиболее реальной или хотя бы отбора среди них внутренне непротиворечивых может решаться с привлечением как численных параметров (например, используя анализ полей напряжений), так и качественных (наличие или отсутствие структур относительного сжатия или растяжения). В наиболее простых случаях при сравнении конкурентных моделей могут быть выявлены такие ключевые признаки, которые в определенном диапазоне значений характеризуют только одну модель. В этом случае анализ одного этого признака в природном объекте дает однозначное решение – например, для крупных складок Байджансайского антиклинория М.В. Гзовский [1963] теоретически выявил различие складок продольного и поперечного изгиба по характеру поля напряжения на крыльях и в замках и показал преобладание вторых складок в природе.

По результатам составления сбалансированной модели альпийского осадочного чехла Большого Кавказа (БК) [Яковлев, 2009; 2012, 2015] было найдено резкое отличие этой модели от ряда других по одному из параметров, который может быть в принципе измерен в природном объекте – по объему размытых пород верхней части всего осадочного чехла. Указанная модель имеет величину сокращения пространства при формировании складчатости примерно в 50% (укорочение вдвое), что резко отличает ее от моделей фиксизма (геосинклинальных), для которых сокращение отсутствует, а амплитуда поднятия не превышает первых километров, и от моделей тектоники плит, в которых для Большого Кавказа декларируется сокращение пространства минимально на 200 км (т.е. более чем пятикратное).

Наиболее распространенным и общепризнанным типом моделей в настоящее время являются взгляды на строение и развитие Большого Кавказа с позиций тектоники плит, в которых авторы в целом опираются на теоретические схемы расширения Атлантического океана и закрытия океана Тетис с предсказанной для Кавказа амплитудой до 2000 км (например, [Зоненшайн, 1988]). К таким работам можно отнести [Гамкрелидзе, Гамкрелидзе, 1977; Хаин, 1984; Дотдуев, 1986; Копп, 2007; Маринин, Расцветаев, 2008; Robinson et. al., 1996; Mosar et al., 2010], основной их признак – декларация о наличии пологих надвигов в масштабе коры, с амплитудой в десятки и первые сотни километров. Наиболее детальные представления С.А. Дотдуева [1986] включают пододвигание блоков коры Закавказского массива под Большой Кавказ в районе Рача-Лечхумской разломной зоны и пододвигание всего осадочного чехла под Главный Кавказский надвиг (рис. 1, А). В этих моделях масштаб неотектонического поднятия не обсуждается, но преобладает мнение о справедливости традиционных представлений о незначительном, в первые километры, поднятии. Несложно заметить, что такая модель (очень большое сокращение пространства при минимальном размыве) не является сбалансированной по объему пород до и после складчатости. Попробуем дополнить эту модель собственными расчетами [Яковлев, 2015]. Если принять мощность осадочного чехла за 13 км, современную ширину полосы основной складчатой деформации за 50 км (с учетом амплитуды укорочения в 200 км это даст 250 км исходной ширины), то 5-ти кратное сокращение пространства даст увеличение мощности чехла до 65 км. Опираясь на то, что в таких моделях [Дотдуев, 1986; Robinson et. al., 1996] кровля фундамента находится на глубине примерно 10 км, получаем размыв около 55 км в среднем по площади указанной полосы деформаций БК.

Модель сбалансированной структуры Большого Кавказа была получена методом «геометрии складчатых доменов» [Яковлев, 2009], позволяющей восстанавливать доскладчатой структуру. Для этого структурные пересечения масштаба 1:10 000 или 1:100 000 делились на «домены», в которых замерялись основные геометрические параметры складок, сопоставляемые с эллипсоидом деформаций. Каждый домен восстанавливался до состояния горизонтальной слоистости с помощью компьютерной программы, в которой домен последовательно испытывал поворот, простой горизонтальный сдвиг и растяжение. Домены в доскладчатом состоянии объединялись в «структурные ячейки», ширина которых в доскладчатом состоянии была примерно равна



Рис. 1. Три типа геодинамических моделей Большого Кавказа. А – модель аккреционного клина (А-субдукции) [Дотдуев, 1986]. Минимальная дистанция сокращения – 200 км, сокращение пространства происходит по двум покровам масштаба коры – Главному Кавказскому надвигу (разлому) и по Рача-Лечхумской разломной зоне. Б – модель сбалансированной структуры [Яковлев, 2012]; б1 – исходная структура; б2 – современная структура. В – модель неотектонического поднятия Е.Е. Милановского [1968], по [Карта, 1989]. Показаны линии границ полигонов, некоторые реки, подписаны изолинии поднятия (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0)

мощности всего осадочного чехла. Отношение современной и доскладчатой ширины «структурных ячеек» позволяло вычислить величину укорочения таких структур. Знание исходной мощности осадочного чехла, положения «стратиграфической глубины» (возраста) слоистых толщ, выходящих на поверхность на линии профиля, и величины укорочения позволяло определять современную глубину кровли фундамента и высоту виртуальной кровли всего чехла (амплитуду поднятия).

Разумеется, разница между виртуальной высотой кровли чехла и современным рельефом представляла собой «амплитуду размыва» осадочного чехла для конкретной структурной ячейки. Такие расчеты были проведены для 24 профилей общей современной длиной около 520 км в Северо-Западном Кавказе (СЗК), Чиаурской зоне и Юго-Восточной Кавказе (Тфанская и Шахдагская зоны). Основные параметры структуры были получены для 78 структурных ячеек (рис. 1, Б). Величины сокращения пространства составляли от 35% в среднем для Северо-Западного Кавказа и 40-55% для трех тектонических зон восточной части БК. Глубина кровли фундамента составляла 13-15 км в среднем, меняясь от 2-5 км до 25-30 км. Для Шахдагской, Тфанской и Чиаурской зон амплитуды неотектонического поднятия с олигоцена по настоящее время составили в среднем 9.6 км (при разбросе 7.2 ÷ 12.5), 19.2 км (12.2 ÷ 24.4) и 16.1 км (9.9 ÷ 22.2). Для ячеек СЗК они менялись от 0 до 22.2 км при среднем значении 8.9 км.

Геосинклинальная модель строения и развития Большого Кавказа («фиксистская») исторически является самой первой из трех и относится еще к периоду преобладания в геотектонике представлений о геосинклинальном развитии земной коры. Все разработки периода 1940 – 1970 годов строились на сборе информации о мощности и составе пород осадочного чехла, описания характера складчатых и разрывных деформаций, фиксации времени перерывов в осадконакоплении и угловых несогласий для определения времени формирования складчатости.

Результаты, которые следует отнести к интересующему нас классу моделей «фиксизма», можно разделить на две группы. В первую группу результатов можно объединить серию исследований Большого Кавказа сотрудниками В.В. Белоусова, специально направленных на отрицание горизонтального укорочения при складчатости, и в которых формирование складчатости объясняется в рамках модели «метаморфогенной» адвекции или аналогичных кинематических схем [Сорский, 1962; Шолпо, 1978; Шолпо и др., 1993]. Во второй группе исследований [Милановский, Хаин, 1963; Милановский, 1968] вопрос о механизме образования складчатости не ставился в качестве специального, а основное внимание уделялось только фиксации событий истории тектонического развития. Согласно этой методологии, время основной складчатости определялось по резкой смене характера осадконакопления и началу формирования нижней молассы (тонкозернистые осадки майкопской серии, олигоцен – нижний миоцен), которая в структурах вокруг БК ложится на подстилающие породы с угловым несогласием. Временем начала воздымания горного сооружения после окончания складчатости считается сарматский век (ранний миоцен), когда формируется верхняя моласса с мощными конгломератами. Поскольку в этих публикациях какие-либо утверждения о сокращении пространства отсутствовали, а сама структура в построениях занимала одну и ту же площадь, то эти результаты следует отнести к «фиксизму» в рамках поставленной проблемы подсчета объема размытых пород чехла.

И в той, и в другой группах исследований мощность складчатого осадочного чехла показывалась как 10-15 км, положение кровли фундамента предполагалась на глубинах 6-8 км, соответственно, размытая часть осадочного чехла не могла превышать первых километров. Эти представления вполне соответствовали геоморфологическим наблюдениям [Милановский, 1968], по которым «вершинная поверхность», а также другие поверхности выравнивания на Большом Кавказе имели сарматский или более поздний возрасты. Е.Е. Милановский в своей монографии [1968] приводит карту высот таких поверхностей, которая в настоящий момент является основой карт неотектонических движений Кавказа [Карта, 1998]. Амплитуды поднятий здесь не превышали 4-5 км (рис. 1, В). Интересно, что Е.Е. Милановский ([1968], стр. 416-426) приводит оценки объемов размыва пород, которые составляют для Большого Кавказа 158 тыс. км³. Оценка амплитуд поднятий и объемов размыва осадочного чехла в моделях группы В.В. Белоусова не делалась.

Если сопоставить указанные величины амплитуд неотектонического поднятия и размыва для всех трех моделей строения и развития Большого Кавказа (55 км, 10-15 км и 2-3 км), имеющих разный геодинамический смысл, то становится понятно, что они отличаются друг от друга в 3-5 раз. Соответственно, если удастся вычислить амплитуды поднятия и общий объем размытых пород для всех трех моделей с точностью, превышающей 15-20%, и подсчитать объем осадков в окружающих неотектонических депрессиях (с такой же точностью), то при сопоставлении этих данных можно будет увидеть, какая из моделей ближе к природным значениям, тем самым получая возможность однозначно оценить их реалистичность по одному параметру.

Самым простым был подсчет поднятия Большого Кавказа по модели Е.Е. Милановского [1968], поскольку ей соответствовала карта неотектонических движений [Карта, 1989]. На карте были нанесены линии по координатной сетке с периодом 30 и 20 минут (примерно 41×37 км), и по изолиниям поднятия внутри каждого такого полигона (рис. 1В) в его центре определялась средняя высота поднятия в километрах. Эти данные заносились в таблицу Excel (таблица 1). Если полигон оказывался на границе размыв/погружение, то в дополнительной таблице эта величина корректировалась на долю площади поднятия, которое оно занимает на полигоне. Далее в этой же таблице скорректированные данные суммировались по широтным полосам. Следующая операция состояла в уточнении размера полигона на данной широте (от 39 до 43 км по широте и 37 км по долготе) и получении суммарного объема поднятия для данной широтной полосы полигонов. Последняя операция состояла в суммировании итогов для всех широтных полос (таблица 1). Вычисления производились по частям структуры – отдельно для C3K (до 42° восточной долготы), для Центрального Кавказа (с 42° по 48° восточной долготы; таблица 1) и для восточной небольшой оставшейся части БК (восточнее 48°). Эти значения составили соответственно 54 тыс. км³, 197.5 тыс. км³, 27.7 тыс. км³, что вместе дает величину в 279.3 тыс. км³.

Подсчет объемов поднятия по тем же полигонам по сбалансированной модели структуры БК [Яковлев, 2009: 2012: 2015] потребовал проведения дополнительных операций и введения некоторых допущений. Поскольку размер структурных ячеек был во много раз меньше размеров полигонов (рис. 2), то предварительно проводились два типа усреднений. Сначала в пределах каждой тектонической зоны (пример, для Тфанской и Шахдагской зон Юго-Восточного Кавказа) внутри каждого полигона проводилось усреднение значений (цифры в светлых кругах, рис. 2). При отсутствии данных использовались либо значения карты (для периферийных участков, карбонатная платформа), либо данные от аналогичной зоны (Ковдагская зона, аналог Чиаурской). Затем для каждого полигона оценивалась доля площади каждой тектонической зоны. Далее проводилось усреднение, объединяющее в одном полигоне данные для двух-трех зон с учетом доли их площади. Поскольку исследованная часть БК представляла собой очень небольшую площадь в горном сооружении (только в пределах СЗК данные были относительно полными), то амплитуда поднятия остальных полигонов оценивалась по аналогии с исследованными частями БК (таблица 2). Так, в таблице 2 в ячейках (кроме первой строки) вычисленными являются данные 5/4, 5/5, 8/12, 9/12 (строка/колонка). Для дальнейшего подсчета использовался тот же набор приемов, как и для оценок конвенционной модели (фиксизма). Для примера подсчетов в таблице 2 дается тот же участок БК, что и в таблице 1. Общий объем поднятия БК составил 944.7 тыс. км³.

политона, км. 17 – объем поднятия в политонах (по строкам), в км, по 14, 15, то. внизу справа – итот.																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2.0	1.6	1.4											5	40.7	37	7529.5
2.7	2.7	1.6	1.0										7.25	40.7	37	10917.8
3.0	6.0	4.0	1.0									45	13.8	40.7	37	20781.4
2.0	3.5	3.5	4.0	2.0	2.0	2.5	1.0	3.0	3.0	0.5			25.7	41.4	37	39367.3
2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	3.0	2.5	2.0			28.8	41.4	37	44115.8
	2.0	2.0	1.5	2.0	2.5	2.7	3.5	4.0	3.5	2.5	1.0	44	23.95	41.4	37	36686.6
						2.0	1.0	3.0	3.5	4.0	2.5		13.3	42.1	37	20717.4
									2.5	3.0	2.5		6.75	42.1	37	10514.5
										3.0	3.5	43	4.4	42.1	37	6853.9
														И	того:	197484.2

Таблица 1. Подсчет объема размытых пород по конвенционной модели [Карта, 1989]. Первая строка – нумерация колонок. Колонки 1-12 – амплитуды поднятия на полигонах 20 × 30 минут координатной сетки, до коррекции, в км. 13 – широта (полигоны в строках таблицы). 14 – сумма по строкам (для данных после коррекции, здесь не даны). 15, 16 – длина стороны полигона, км. 17 – объем поднятия в полигонах (по строкам), в км³, по 14, 15, 16. Внизу справа – итог.

Подсчет объемов по модели тектоники плит и его результат будет показан ниже, после обсуждения всех результатов.

Полученные объемы поднятия по двум моделям не являются прямыми объемами размытых пород, поскольку часть этого объема занимает «объем горного сооружения». Объем горного





Рис. 2. Схема расположения и усреднения данных сбалансированной модели внутри полигонов. Показаны структурные профили (1-10) и структурные ячейки с величинами укорочения (прямоугольники, 36% - 67%, шкала внизу слева), границы тектонических зон (крупные разломы МСF, Malf) и средние величины поднятия для них (светло-серые круги, от 1.5 км до 19.4 км) и границы полигонов (темно-серые линии с индикацией координат)

Таблица 2. Подсчет объема размытых пород по сбалансированной модели [Яковлев, 2009; 2012; 2015]. Первая строка –
нумерация колонок. Колонки 1-12 – амплитуды поднятия на полигонах 20 × 30 минут координатной сетки, до коррекции, в
км. 13 - сумма по строкам (после коррекции, не даны). 14 - объем поднятия в полигонах (по строкам), в кубических км,
аналогично колонке 17 таблицы 1. Внизу справа – итог

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4.0	3.0	3.0										10.0	15059
10.0	5.0	5.0	2.0									22.0	33129.8
15.0	10.0	12.0	5.0									42.0	63247.8
2.0	15.0	15.0	15.0	5.0	4.0	3.0	3.0	3.0	2.0	1.0		68.0	104162.4
0.5	3.0	3.0	8.0	18.4	19.0	7.0	7.0	5.0	4.0	3.0		77.9	119327.2
	2.0	2.0	2.0	2.0	10.0	15.0	15.0	13.0	7.0	5.0	3.0	74.5	114119.1
						5.0	2.0	11.0	13.0	7.0	5.0	40.5	63086.9
									7.5	13.0	10.0	30.5	47509.9
										7.0	14.9	21.9	34113.6
											ł	Ітого:	593755.7

Для получения поправок за объем горного сооружения (объем рельефа выше уровня моря) использовались вычисления в среде программного обеспечения ArcGIS, при помощи набора инструментов Spatial Analyst. В качестве исходного материала для обработки были выбраны космические снимки SRTM на территорию Большого Кавказа с разрешением (размером) 80 м в пикселе. В начале вычислений была выполнена функция Fill (заполнение), это было необходимо для устранения локальных повышений и понижений в источнике данных – цифровой модели рельефа (ЦМР).

Далее, на основе исправленной ЦМР был выполнен расчет высот и на его основе построена шкала высот. После этого, используя известные значения ячеек ЦМР, были произведены расчеты площади каждого из высотных уровней, что дало возможность узнать какой объем от этого уровня до уровня моря они занимают. Далее был получен общий объем сооружения БК путем сложения полученных объемов (таблица 3). Вычисления показали, что объем горного сооружения Большого Кавказа составляет 118.8 тыс. км³. Для получения объема размытых горных пород это значение следовало вычитать из подсчитанных объемов поднятия по трем геодинамическим моделям. Так, для модели Е.Е. Милановского значение размытых пород составляет (279–119) = 160 тыс. км³, для сбалансированной модели – (945 – 119) = 826 тыс. км³.

Таблица 3. Подсчет объема горного сооружения по данным космических снимков. Первая строка – нумерация колонок. 1 – высота в м., 2 – количество ячеек (пикселей), 3 – площадь одной ячейки (пикселя) в м², 4 - площадь для диапазона высот в м², 5 – объем диапазона высот в м³, 6 – объем диапазона высот в км³

1	2	3	4	5	6
100	146214	6400	935769600	93576960000	94
250	622433	6400	3983571200	9,95893E+11	996
500	939818	6400	6014835200	3,00742E+12	3007
750	1042887	6400	6674476800	5,00586E+12	5006
1000	2250533	6400	14403411200	1,44034E+13	14403
1500	2367980	6400	15155072000	2,27326E+13	22733
2000	2155639	6400	13796089600	2,75922E+13	27592
2500	1486621	6400	9514374400	2,37859E+13	23786
3000	815405	6400	5218592000	1,56558E+13	15656
3500	208098	6400	1331827200	4,6614E+12	4661
4000	26016	6400	166502400	6,6601E+11	666
4500	5133	6400	32851200	1,4783E+11	148
5000	1475	6400	9440000	47200000000	47
				Итого:	118795

Подсчет объема накопленных осадков производился для окружающих неотектонических депрессий к северу и югу от Большого Кавказа (рис. 3). К основным депрессиям следует отнести бассейн Южного Каспия и Куринскую депрессию (вместе с Алазанской впадиной), бассейн Северного Каспия (включая Терскую и Кусарскую впадины), Индоло-Кубанский прогиб, Таманский прогиб, Туапсинскую впадину и вал Шатского, а также восточную часть бассейна Черного моря. В этих структурах необходимо было найти мощности осадочных пород, относящихся к майкопской серии (олигоцен-нижний миоцен, нижняя моласса) и к верхней молассе. К сожалению, в настоящий момент такие вычисления могут быть сделаны только очень приблизительно, в первую очередь по причине большой неопределенности исходного материала – а именно – карт мощностей и возраста кайнозойских и мезозойских пород в депрессиях вокруг Большого Кавказа, поскольку не существует какой-либо одной карты, составленной по единообразной методике на всю интересующую нас площадь. Поиск материала по критерию наиболее однородных данных показал, что карта неотектонических движений [Карта, 1989] может быть использована для восточной части региона (Северный и Южный Каспий) для оценки мощностей верхней молассы. Для того, чтобы оценить мощности майкопской серии, следовало привлекать материалы глубинного зондирования, в которых можно было приблизительно оценить долю майкопских толщ относительно вышележащих кайнозойских образований. Для западной части региона наиболее подходящим материалом оказалась карта мощностей мезокайнозойских отложений ([Милановский, 1996], стр. 320, рис. 73). Указанная карта, вероятно, не обладала большой точностью, а кроме этого, имела заметные искажения топографической основы. Поскольку нас интересовала мощность комплексов только нижней и верхней моласс, то по дополнительным материалам следовало оценить долю отложений ниже олигоценовых. Для этого привлекались некоторые данные скважин и структурные профили глубинного зондирования. Кроме этого, были использованы найденные материалы по локальным структурам (Таманский и Туапсинский прогибы), которые позволяли несколько расширить территорию на запад в район Крыма и проверить корректность сделанных допущений и поправок в основном материале путем сравнения объемов накопленных осадков в областях перекрытия разных материалов. Такие проверки выявили отклонения, не превышавшие 10-15%, что является вполне допустимым в рамках поставленной задачи проведения предварительных расчетов. После получения всех материалов, вычисления проводились на полигонах 30 на 20 и 30 на 30 минут координатной сетки, пример вычислений показан в таблице 4.

На следующей стадии расчетов сначала были приблизительно вычислены объемы майкопской серии для прогибов Северного и Южного Каспия (строки 1 и 2 таблицы 5), исходя из нескольких геофизических пересечений в Каспийском море, в которых были показаны мощности и верхней, и нижней моласс. В строке 3 таблицы 5 показаны мощности кайнозойских отложений для черноморского региона без западных частей, которые вычислялись отдельно (строки 4 и 5). После этого была вычислена максимальная величина объема кайнозойского осадочного чехла всех депрессий вокруг Большого Кавказа, которая равнялась 2.6 млн. км³. Однако здесь следует ввести еще одну поправку, величина которой не может быть установлена точно. Впадина Южного Каспия принимала в себя осадки не только Большого Кавказа, но также, частично, Малого Кавказа, Эльбурса и Копетдага. Величина сноса твердого материала с них не может быть подсчитана. Для учета этой особенности были вычислены дополнительно два варианта с 0.5 и 0.25 долей всех осадков Южного Каспия (варианты 2 и 3, таблица 5), что составило в сумме 1.9 и 1.5 млн. км³.



Рис. 3. Схема расположения материалов, использованных для подсчета накопленных отложений (Pg₃ - Q) в депрессиях вокруг Большого Кавказа. Показаны названия основных кайнозойских депрессий и прогибов, а также граница исследованной территории (штриховая линия)

Таблица 4. Подсчет объема пород верхней молассы (по [Карта, 1989]) для района Южного Каспия. Первая строка – нумерация колонок. Колонки 1-12 – амплитуды погружения на полигонах 20 × 30 минут координатной сетки; от 48° до 54° в. д., в строках 2-11 от 40° до 36.7° с. ш.; 13 – сумма по строкам; 14, 15 – размеры полигонов в км; 16 – объем погружения в полигонах (по строкам), в км³. Внизу справа – итог

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3.5	5.5	6.0	7.5	9.0	10.0	10.0	8.0	6.5	6.0	5.5	5.5	83	43.3	37	132974.3
1.0	3.5	6.0	7.5	8.0	9.5	10.5	10.0	9.0	7.5	6.5	6.0	85	43.3	37	136178.5
	2.0	5.5	6.5	8.5	9.5	8.5	10.0	10.0	8.5	7.5	7.0	83.5	43.3	37	133775.4
	0.5	5.5	6.5	7.5	10.0	9.5	10.0	9.3	9.3	8.5	7.5	84.1	43.9	37	136603.6
		3.5	7.0	7.5	9.5	8.5	9.0	9.3	9.3	9.0	7.0	79.6	43.9	37	129294.3
		5.0	6.5	8.0	7.5	7.5	8.2	9.2	9.2	8.5	7.0	76.6	43.9	37	124421.4
		4.0	6.5	6.8	7.2	7.3	7.7	8.0	8.2	7.5	6.5	69.7	44.5	37	114761.1
		3.0	6.0	6.3	6.7	7.0	7.2	7.3	7.5	7.0	6.0	64	44.5	37	105376.0
		0.5	3.5	4.5	6.1	6.3	6.5	6.7	6.7	6.2	5.0	52	44.5	37	85618.0
					2.5	4.5	5.5	6.0	6.0	5.0	4.0	33.5	45	37	55777.5
													И	того:	1154780.0

Теперь можно сопоставить в самом первом приближении данные о теоретической величине размыва верхней части осадочного чехла для двух разных геодинамических моделей – без сокращения [Милановский, 1968] и с умеренным, 50% сокращением [Яковлев, 2009; 2012; 2015]. Объем размытых пород по модели Е.Е. Милановского, 160 тыс. км³, в сопоставлении с объемом накопленных осадков 2.6 млн. км³ (или, минимально, 1.5 млн. км³) выглядит явно слишком малым объемом для соблюдения хотя бы некоторого баланса. Здесь надо заметить, что в каноническом виде

указанный объем относится только к 15 млн. лет, и может сопоставляться только с верхней молассой. Если мы добавим к модели Е.Е. Милановского еще столько же, полагая, что выше поверхности выравнивания находилась размытая «воздушная часть» структуры, в модели не упомянутая, т.е. если принять объем за 320 тыс. км³, то ситуация улучшится, но не принципиально – соотношение теоретического размыва и природного объема осадков останется в пределах 0.06 (вариант 1) – 0.17 (вариант 2). Объем размытых пород по сбалансированной модели, 826 тыс. км³, соотносится с объемом осадков окружающих новейших депрессий существенно лучше – доля «теоретические» / «природные данные» составляет для трех вариантов 0.32, 0.43, 0.55.

Для уточнения ситуации воспользуемся тем, что «черноморская» часть осадочных бассейнов в обозначенных контурах (рис. 3) имеет источником сноса только структуры Большого Кавказа, если пренебречь сносом осадков с Восточно-Европейской платформы палео-Доном. Проведенные такие подсчеты (для БК – по современному водоразделу) показали, что теоретический размыв и снос в бассейн Черного Моря для сбалансированной модели составит 513 тыс. км³, а с поправкой за рельеф – 448 тыс. км³. Объем кайнозойских осадков для структур Черного Моря составляет 592 тыс. км³, что очень близко к этому «теоретическому» размыву (448 тыс. км³), который составляет 0.76 от объема осадков. С учетом возможного дополнительного приноса осадков с Восточно-Европейской платформы и при «желательной» точности в 15-20%, такой результат является вполне удовлетворительным. Доля теоретического размыва для модели Е.Е. Милановского, рассчитанной таким же образом, составляет от 0.14 для декларированной версии до 0.29 для скорректированной (отношение, соответственно, 87 тыс. км³ и 174 тыс. км³ к 592 тыс. км³).

В заключение попробуем оценить теоретический объем размытых пород чехла для модели пододвигания по двум покровам масштаба коры [Дотдуев, 1986]. В этой модели для структуры северного разлома (Главный Кавказский надвиг) декларируется надвигание его на значительные объемы осадочного чехла. Нам представляется, что это маловероятно, поскольку, во-первых,

	прогибы	майкоп	верхняя моласса	суммарно	Вариант 2	Вариант 3
1	северный Каспий	119100	397000	516100	516100	516100
2	южный Каспий	346500	1155000	1501500	750750	375375
3	Индоло-Кубанский плюс Черное море	Основной объем		516000	516000	516000
4	Таманский прогиб	Добавлено		58600	58600	58600
5	Таупсинский)	Добавлено		17000	17000	17000
			всего	2609200	1858450	1483075

Таблица 5. Подсчет общего объема накопленных кайнозойских осадков в депрессиях вокруг Большого Кавказа. (см. текст)

существование такой линзы осадков под кристаллическим фундаментом на глубинах 10-30 км (рис. 1, А) не подтверждается геофизическими данными, а, во-вторых, не подтверждается сдвоенная (80 км?) мощность кристаллического фундамента. Поэтому будем считать, что все минимальное укорочение структуры (200 км) было реализовано в полосе основных деформаций, которая занимает ширину около 50 км, и касается только осадочного чехла. Средняя величина неотектонического подъема для всех 78 структурных ячеек в этой полосе по сбалансированной модели составляет 12.5 км. Как это было уже показано выше, неотектонический подъем и размыв осадков согласно нашей интерпретации модели Дотдуева может составить примерно 55 км. Это означает, что дополнительный объем размытых пород относительно сбалансированной модели составит 42.5 км, величину которого можно распространить на полосу шириной 50 км и длиной 1000 км (длина всего сооружения БК). Это составит дополнительный объем в 2125 тыс. км³, которые следует добавить к 826 тыс. км³ объема размытых пород по сбалансированной модели, что дает общую сумму 2.95 млн. км³ минимально. Сравнивая этот объем теоретического размыва с полученными величинами объемов накопленных осадков (2.6 млн. км³ без поправок для Южного Каспия, 1.86 млн. км³ и 1.48 млн. км³ для двух вариантов с поправками, таблица 5) и с учетом того, что существовали дополнительные источники сноса, становится понятно, что модель сокращения пространства минимально в 200 км [Дотдуев, 1986] дает избыточное количество размытых пород БК относительно наблюдаемого в природе объема накопленных осадков. С целью уточнения ситуации можно так же использовать сравнение объемов осадков для черноморского бассейна. Теоретический объем размыва для модели большого сокращения можно разделить между Каспийским и Черноморским бассейнами в той же пропорции, как и для сбалансированной модели. В этом случае соответствующая часть для Черного моря составит 1601 тыс. км³. Если сравнить эту цифру с объемом осадков Черноморского бассейна (592 тыс. км³), то видно, что теоретический размыв по модели

С.А. Дотдуева [1986] превышает объем существующих осадков в 2.7 раза. То есть модель имеет, безусловно, избыточный теоретический размыв относительно природных объемов осадков в прогибах.

Таким образом, теоретические объемы размытых пород верхней части осадочного чехла для трех типов геодинамических моделей строения и развития Большого Кавказа отличаются друг от друга достаточно сильно для того, чтобы эти значения заведомо не перекрывались даже с любыми возможными ошибками подсчетов. Так, объемы размыва по сбалансированной модели с умеренным сокращением пространства больше традиционной модели без сокращения в 2.5 раза (для версии с поправкой, с двойным объемом для традиционной модели) или в 5 раз (для версии без поправки). Эта же модель умеренного сокращения по объемам размытых пород в 3.6 раза меньше объемов размыва по современной модели (с минимум пятикратным, 80%, сокращением). Расчеты объемов кайнозойских осадочных пород, заполняющих те депрессии, которые окружают Большой Кавказ, дали цифры, наиболее близкие к сбалансированной модели с умеренным сокращением. Другие две модели имеют такие объемы теоретического размыва, которые или явно недостаточны, или явно избыточны относительно природных структур.

Заключение:

1. Подсчеты объемов размытых пород верхней части осадочного чехла для трех типов геодинамических моделей Большого Кавказа в сопоставлении с подсчитанным объемом природных кайнозойских депрессий вокруг горного сооружения позволили оценить реалистичность всех трех моделей. Наиболее близкой к природе является сбалансированная модель, имеющая сокращение пространства около 50%. Остальные модели по указанному параметру не находят никакого подтверждения при сравнении с данными природных структур.

2. Существует общее мнение о неотектоническом подъеме структуры Большого Кавказа и размыве ее верхней части, согласно которому подъем не превышает величину в 2-5 км. Это мнение было сформировано во время возникновения модели Е.Е. Милановского [1968], и оно также фактически принято для моделей с очень сильным сокращением. Такие оценки нуждаются в пересмотре.

Литература

- 1. Гамкрелидзе П.Д., Гамкрелидзе И.П. Тектонические покровы Южного склона Большого Кавказа // Труды Геологического института АН ГССР. Вып. 57. Тбилиси: Мецниереба. 1977. 82 с.
- 2. *Гзовский М.В.* Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Ч. III, IV. М.: Изд-во АН СССР. 1963. 544 с.
- 3. Дотдуев С.И. О покровном строении Большого Кавказа // Геотектоника. 1986. №5. С. 94-106.
- 4. Зоненшайн Л.П. Исчезнувший океан Тетис / Л.П. Зоненшайн // Вестник АН СССР. 1988. № 4. С. 59-70.
- 5. Карта новейшей тектоники Северной Евразии, М-б. 1:5 000 000 (гл. ред. А. Ф. Грачев). ГЕОС. ОИФЗ РАН. Москва. 12 листов. 1998. объяснительная записка. 147 с.
- Копп М.Л. Позднеальпийская коллизионная структура Кавказского региона / глава 8 // Большой Кавказ в альпийскую эпоху: Под ред. Ю.Г. Леонова. М.: ГЕОС. 2007. С. 285-316.
- Маринин А.В., Расцветаев Л.М. Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики. К 40-летию создания М.В.Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Отв. ред. Ю.Л. Ребецкий. М.: Изд. ИФЗ РАН. 2008. С. 191-224.
- 8. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра. 1968. 483 с.
- 9. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии) / Учебник // М.: Издательство МГУ. 1996. 448 с.
- 10. Милановский Е.Е., Хаин В.Е. Геологическое строение Кавказа. М.: Изд-во МГУ. 1963. 357 с.
- 11. Сорский А.А. Об условиях формирования полной складчатости в осевой зоне Восточного Кавказа // Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм образования. М.: Изд-во АН СССР. 1962. С. 9-41.
- 12. Хаин В.Е. Региональная геотектоника: Альпийский средиземноморский пояс. М.: Недра. 1984. 344 с.
- 13. Шолпо В.Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. М.: Недра. 1978. 176 с.
- 14. Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука. 1993. 192 с.
- 15. *Яковлев Ф.Л*. Реконструкция структур линейной складчатости с использованием объемного балансирования // Физика Земли. 2009. №. 11. С. 1023–1034.
- Яковлев Ф.Л. Опыт построения сбалансированной структуры восточной части альпийского Большого Кавказа по данным количественных исследований линейной складчатости // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Т. 19, №1. С. 191-214.
- Яковлев Ф.Л. Многоранговый деформационный анализ линейной складчатости на примере альпийского Большого Кавказа // Диссертация на ученую степень д.г-м.н. по специальности 25.00.03 «Геотектоника и геодинамика». ИФЗ РАН. 2015. С. 472. рукопись
- Mosar J., Kangarli T., Bochud M., Brunet M-F., Glasmacher U.A., Rast A., Sosson M. Cenozoic-Recent tectonics and uplift in the Greater Caucasus: a perspective from Azerbaijan // Geological Society London, Special Publication. 2010. V. 340. P. 261-280.
- Robinson A. G., Rudat J.H., Banks C.J., Wiles R.L.F. Petroleum geology of the Black Sea // Marine and Petroleum Geology. 1996. V. 13(2). P. 195–223.