

Таблица 1

Химический состав гранитоидов Ялонварской структуры

	1 фаза	2 фаза	3 фаза
SiO ₂	61,88	70,32	74,52
TiO ₂	0,54	0,28	0,13
Al ₂ O ₃	15,07	13,91	13,20
Fe ₂ O ₃	2,70	1,42	0,88
FeO	2,66	1,27	0,63
MnO	0,08	0,03	0,03
MgO	3,71	1,36	0,60
CaO	4,28	1,54	1,28
Na ₂ O	3,93	4,04	4,46
K ₂ O	3,30	4,43	3,06
P ₂ O ₅	0,29	0,09	0,04
Li	31	15	11
Rb	156	126	89
Cs	13	7	4
Zn	84	39	91
Ba	1164	1224	806
Sr	327	142	93
Cr	285	156	121
Ni	122	19	23
Co	39	17	32
Cu	75	77	280
V	97	44	33
M#	0,56	0,49	0,43

Таблица 2

Содержание редкоземельных элементов в гранитоидах структуры

	3-я фаза (обр.Я-56В)	1 фаза (обр.Я-13А)	1 фаза (обр.Я-13-43)
La	34,8	68	5,64
Ce	51,9	134	21,4
Nd	17,8	64,7	18
Sm	2,74	9,6	6,94
Eu	0,54	2,23	1,14
Gd	1,17	6,76	7,52
Tb	0,26	0,93	1,29
Yb	1,09	1,58	1,32
Lu	0,14	0,19	0,17
(La/Yb) _n	21,3	28,7	2,8

В настоящее время источником для формирования санукитоидов признается метасоматизированная мантия перидотитового состава [9].

При сравнении данных по гранитоидам Ялонварской структуры с составами соответствующих по кремнекислотности пород вышеуказанных массивов [4, 6] отмечается некоторое отличие ялонварских пород: в них более высокие содержания Sr, Co, Rb и меньшие Sr. Образование карельских санукитоидов [3] связывают с формированием обогащенного мантийного источника в результате корово-мантийного взаимодействия в зонах субдукции, и происшедшего позднее частичного плавления мантии с образованием санукитоидных расплавов.

Предположение о субдукционном происхождении этих пород не согласуется, однако, с наблюдающимися вариациями изотопно-геохимических характеристик карельских санукитоидов [4].

Таким образом, вопрос о происхождении подобных пород остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю. Экспериментальная и техническая петрология. – М.: Научный Мир, 2000. 416 с.
2. Иващенко В.И., Лавров О.Б. Магматогенно-рудная (Мо, Cu, Au) система ялонварского вулканно-плутонического комплекса Карелии. Петрозаводск: Кар. НИЦ РАН, 1994. 128 с.
3. Коваленко А.В. Sm-Nd данные как ключ к пониманию происхождения архейских санукитоидов Карелии, Балтийский щит. Геохимия, 2008, №4, с. 403–413.
4. Ларионова Ю.А., Самсонов А.В., Шатагин К.Н. Источники архейских санукитоидов (высоко-Mg субщелочных гранитоидов) Карельского кратона: Sm-Nd и Rb-Sr изотопно-геохимические данные. Петрология, 2007, том 15, №6, с. 571–593.
5. Попов В.Е. Генезис вулканогенно-осадочных месторождений и их прогнозная оценка. Л., 1991, с. 287.
6. Ранний докембрий Балтийского щита./ред. В.А. Глебовицкий, СПб.: Наука, 2005.
7. Чекулаев В.П. Архейские «санукитоиды» на Балтийском щите. Докл. РАН, т. 368, №5, 1999, с. 676–678.
8. Чекулаев В.П., Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Гусева Н.С. Архейские высоко-Mg гранитоиды (санукитоиды) – индикаторы золотой минерализации в Карелии: геология, состав, пространственно-временной положение. // Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон. Тез. докл. Петрозаводск, 2002. С. 251–253.
9. Rapp R., Shimizu N., Norman M.C., Applegate G.S. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge experimental constraints at 3.8 GPa. // Chemical Geology. 2000. № 160. P. 335–356.
10. Shirey S.B., Hanson G.N. Mantle-derived Archaean monzodiorites and trachyandesites. // Nature. 1984. V. 310. P. 222–224.

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ КОМПОНЕНТА НОВЕЙШИХ ДВИЖЕНИЙ ПЛАТФОРМЕННОЙ ОБЛАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЕ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ЛИТОСФЕРЫ

Копп М.Л.

Геологический институт РАН, г. Москва, kopp@ginras.ru

1) Горизонтальная компонента новейших движений и признаки ее проявления. Взбросо-надвиговая составляющая крупнейших платформенных разрывов востока Русской плиты – Жигулевского, Елшанско-Сергиевского, Северодонецкого, Маньчжурского и др. – фиксируется многочисленными буровыми и геофизическими данными

ми [2, 14, 15, 16]. Для большинства из этих разрывов доказано, что они деформируют не только чехол, но и кровлю фундамента; при этом, судя по наклонам мел-палеогеновых слоев, смещения происходили в новейшую эпоху. На Приволжской возвышенности и Общем Сырту уже давно известны неотектонические сбросы и грабены, сформировавшиеся при участии горизонтального растяжения. И там, и там сбросовые структуры образуют зоны кулисного строения, свидетельствующие о проявлении горизонтального сдвига. Вместе с тем, сами по себе новейшие сдвиги изучены недостаточно: они откартированы пока только на Промысловско-Цубукском валу Скифской плиты – правые сдвиги северо-западного простирания (по Н.И. Нестеровой и Н.П. Сарафутдинову); установлены и сдвиговые смещения овражной сети по активным разрывам в Мугоджарах [6].

Таковы фактические данные. Они немногочисленны, однако косвенные признаки: особенности структурного рисунка внутриплитных складок и валов, а также морфоструктуры современного рельефа, позволяют предполагать гораздо более широкое участие новейших горизонтальных напряжений. Так, внутри платформенного чехла обнаружены многие структурные рисунки, выявленные для складчатых областей, особенно связанные со сдвигами: эшелонированные цепочки куполов и валов (внутри Сальско-Маньчского новейшего вала, Саратовских и Жигулевских дислокаций, на Южном Урале); сигмоиды и коленообразные изломы валов, сопровождающиеся характерным для сдвигов «перекручиванием» сдвинутых крыльев (Донбасс, Сальско-Маньчский вал, Жигули, Тулвинский свод); виргации разного типа (Саратовские дислокации, Жигули); присдвиговые поперечные складки (Сальско-Маньчский вал) и др. [5]. Поскольку некоторые из этих структурных рисунков характерны для сильных деформаций в горизонтальной плоскости – например, структуры типа домино или мегабудинажа, образуемые доменами вращающихся вокруг вертикальной оси сдвигов (Сальско-Маньчский вал, Саратовские дислокации) – остается считать, что это результат смягченного проявления («просвечивания») на поверхности более сильных и глубинных структурных преобразований в фундаменте, происходивших в обстановке горизонтального сжатия.

Горизонтальная компонента смещения ощущается и в особенностях выраженной в рельефе плановой конфигурации линий разрывов [5]: наклонные сбросы выражены дугами с вогнутостью в сторону сброшенного крыла (Приволжский уступ, борта Окско-Донского прогиба), тогда как субвертикальные взбросы и взрезы относительно прямолинейны в плане. Для линий сдвигов характерна кулисность (западный борт Окско-Донского прогиба, Приволжско-Ергенинский уступ). Выраженные в рельефе разрывы сходной кинематики обнаруживают характерную для любых разрывных нарушений группировку в закономерные расположенные системы и домены. Таковы серии субмеридиональных сбросовых уступов восточной экспозиции в Нижнем Поволжье и Окско-Донском районе и субширотных, южной экспозиции – на Южном Урале и Общем Сырту; и там, и там из двух сопряженных систем сбросов разного знака развиты такие, у которых опускание сброшенного крыла направлено в сторону ближайшего депоцентра (в данном случае, Прикаспийской синеклизы в ее новейшем выражении). Участки растяжения устанавливаются по повторяющемуся структурному мотиву: система субпараллельных, удлиненных в плане валов и блоков, сильно асимметричных в поперечном сечении и поэтому напоминающих наклонные блоки рифтовых областей (Окско-Донский и Западно-Прикаспийский неотектонические прогибы).

Наконец, горизонтальная компонента устанавливается и по результатам изучения трещинных мезоструктур: зеркал скольжения, отрывов и стилолитов [1, 5, 9, 10]. Исследования такого рода позволяют как уточнить кинематику известных крупных разрывов, так и, при статистическом анализе большой массы замеров с помощью компьютера [1, 5], установить параметры регионального поля напряжений. Данные о кинематике крупных дизъюнктивов позволили составить структурно-кинематическую схему территории (рис.), где показаны знак разрывов и направления относительного смещения блоков.

2) Пространственные вариации новейшего поля напряжений/деформаций и их связь с межплитными напряжениями и внутриплитными неоднородностями. Наиболее серьезное воздействие на структурный рисунок рассматриваемых платформенных дислокаций оказала коллизия Индийского и особенно Аравийского осколков Гондваны с Евразией. Об этом свидетельствуют: 1) внутриплитная деформация происходила в обстановке субмеридионального укорочения и компенсирующего субширотного удлинения, что характерно и для находящихся южнее орогенов Кавказа и Копетдага. Это проявляется в закономерной ориентировке разрывов разной кинематики: взбросы субширотные, сбросы субмеридиональные, сдвиги диагональные (правые – северо-западного простирания, левые – северо-восточного); 2) сходство структурного рисунка с таковым Периаравийской коллизионной области (правые сдвиги сконцентрированы на западе, образуя единый домен с правыми сдвигами Западного Кавказа и Анатолии, а левые – на востоке, как в соседних Восточном Кавказе и Эльбурсе). Ось симметрии между сдвигами разного знака маркирует Транскавказскую «ось растекания» [5] – меридиональную линию, разделяющую блоки, выжимаемые к западу и востоку, и трассирующуюся к югу на Казбекский перелом Большого Кавказа и далее – на Аравийский выступ. Главные внутриплитные взбросы и надвиги, по крайней мере на юге, имеют южную вергентность, характерную для Кавказа и Тавра; 3) деформация платформенной области Юго-восточной Европы происходила преимущественно в обстановке растяжения, и в общей последовательности стресс-режимов области индентации (сильное сжатие около индентора – сдвиг на некотором удалении от него – растяжение на удалении) это соответствует внешней части области давления Аравийского инден-

тора. При этом обычные здесь субмеридиональные сбросы к северу (Среднее Поволжье, Северный Прикаспий) сменяются субширотными, маркирующими самую дальнюю периферию такой зоны – где должны уже проявиться компенсационные деформации, смягчающие эффект индентации [5]; 4) одновременность тектонических фаз для платформенной территории, Кавказа и Аравийской плиты [3, 5]. Новейшие внутриплитные структуры начали формироваться в конце раннего миоцена, но максимум движений пришелся на рубеж миоцена – плиоцена. Таким образом, по времени эти деформации совпадают с отколом Аравии от Африки и ее максимальным дрейфом к северу.

Характер реализации коллизионных напряжений зависел от неоднородностей платформенной коры. Там, где направленное с юга давление наталкивалось на мощную кору Украинского щита и Воронежского массива, оно в большей степени реализовалось в форме сжатия (Донбасс); там же, где оно встречало утоненную кору Прикаспийской синеклизы, преобладало растяжение (Нижнее Поволжье, Общий Сырт) [5, 9]. В сторону последней (к востоку) было направлено и главное латеральное выжимание блоков из Транскавказской области концентрации сжатия. При всем этом наиболее сильному смятию, в надвиговом режиме, подвергался мощный чехол авлакогенов, тогда жесткие выступы фундамента испытывали хрупкое разрушение с формированием глубинных сдвигов и сбросов. Региональное поле субмеридионального укорочения – субширотного удлинения сильно искажалось около Уральского внутриплитного шва, где на новейшем этапе концентрировалось поперечное ему субширотное сжатие. Постепенное искривление осей горизонтального укорочения от субмеридионального до субширотного направления прослежено мезотектоническими замерами от Общего Сырта до Южного Урала [7, 9]. Характер неотектонического структурного рисунка и вергентности орогена Южного Урала–Мугоджар заставляет предполагать, что здесь происходило встречное взаимодействие периферических зон давления Аравийского и Индийского инденторов, которое усиливало присутствие масштабной внутриплитной неоднородности – восточного края жесткого Восточно-Европейского кратона [6, 7, 13]. Деформация дифференцировалась и здесь: участки относительно тонкой коры Прикаспийской и Западно-Сибирской впадин пододвигались с образованием краевых надвигов – «внутриплитная субдукция» (Мугоджары, Северный Урал), а в месте схождения блоков с корой близкой мощности (Казахстанский щит Туранской плиты и Волго-Камская антеклиза ВЕП) возник высокий дивергентный ороген Южного Урала – «внутриплитная коллизия» [7].

Обобщение более широкого материала о пиренейских и ларамийских внутриплитных дислокациях Северо-Западной Евразии, о палеогеновом сдвиге вдоль линии Торнквиста, об особенностях кайнозойского развития зоны спрединга к северо-западу от Скандинавии и о сдвигах Урала убеждает в том, что сам Восточно-Европейский кратон в кайнозое слегка сдвинулся к юго-востоку [4, 5]. После того как в палеоцене западноевропейская часть Евразийской плиты и отрезок зоны спрединга к северо-западу были заблокированы коллизиями в Альпах, последняя резко распространилась в Арктику; в результате Восточная Европа вместе с Сибирью начала движение к юго-востоку по правому сдвигу вдоль линии Торнквиста. Как самостоятельная субплита Восточная Европа отделилась от Сибири в эоцене – скорее всего, в связи с блокировкой Азии Индостаном; кроме того, по курсу ее дрейфа еще сохранялось свободное пространство в виде Загросского реликта Тетиса. В плиоцене движение субплиты было остановлено Аравийско-Евразийской коллизией, и, вероятно, результатом этого явились ее общее сжатие и поднятие Фенноскандии, создавшее условия для материкового оледенения. Таким образом, представление о единстве и жесткости Евразийской плиты в кайнозое справедливо лишь в самом первом приближении. На деле же последняя представляла собой менявшийся во времени калейдоскоп субплит, с разной скоростью отходивших от оси спрединга. При этом наибольшее ускорение в движении к югу получали те фрагменты Евразии, которые не были заблокированы на юге альпийскими коллизиями.

3) Новейшее поле напряжений/деформаций в вертикальном разрезе и проблема передачи межплитных напряжений. При анализе связей внутриплитных дислокаций с процессами на активных границах плит приходится решать вопрос о возможности передачи напряжений на столь далекие расстояния. В этой связи представляется существенным усложнение деформаций с глубиной, констатируемое во многих работах. Вглубь, к фундаменту, возрастает амплитуда выраженных на поверхности и при этом хорошо разбуренных Жигулевского и Елшанско-Сергиевского новейших взбросо-надвигов, а надвиг вдоль северного крыла Оренбургского вала (предположительно новейший [2 и др.]) вообще выражен только в нижних горизонтах чехла и в фундаменте, а в верхних он постепенно затухает. Все это можно объяснить тем, что роль передатчика позднеальпийские напряжения от коллизионного пояса играет жесткий платформенный фундамент, тогда как в чехле они лишь рассеиваются по мере ухода вверх от глубокозалегающего горизонта срыва. Общее затухание структур сжатия вверх проявляется не только в их выполаживании, но и в наличии ареалов макро- и мезотектонических структур растяжения непосредственно над приподымающими кровлю козырьками глубинных надвигов (Саратовские дислокации, Общий Сырт): из-за потери амплитуды и превращения по сути во флексуры сжатия наверху они только приподымают и растягивают свою кровлю [5, 9]. Это проявляется также и в противоречии между сложным структурным рисунком глубинных горизонтов чехла, свидетельствующим о достаточно напряженных деформациях в горизонтальной плоскости (см. выше), и пологой структурой поверхности.

Активное участие в альпийских деформациях платформенного фундамента и коры в целом проявляется также в сейсмологических и геофизических данных. С ним можно связать повышенную сейсмичность Приазовья и Воронежского массива (А.А. Никонов). Интересно, что эпицентры приурочены к новейшим разрывам, особенно сдвигам [8], что, вероятно, следует связывать с крутым наклоном последних и, соответственно, более глубоким проникновением в кору. Фиксируемый повышенной сейсмичностью на глубинах 5-18 км горизонт хрупких деформаций приурочен к верхней коре. Еще глубже (в районе границы верхней и нижней коры – в т.н. «средней» коре) на основе наличия многочисленных волноводов прогнозируется интенсивное течение материала предположительно неотектонического возраста [12]. О том же свидетельствуют и результаты сопоставления разноточинных сейсмических моделей коры со структурным планом разновозрастных структур фанерозоя [11]: они показывают, что лучше всего выражена на глубине (особенно в нижней коре) субмеридиональная ориентировка крупнейших уступов, характерная именно для новейшей структуры (где она образовалась в результате субширотного растяжения). Таким образом, можно предполагать, что главный фронт направленных от Аравийской плиты-индентора позднеальпийских напряжений, утоняясь и погружаясь к северу, в пределах платформы оказался выражен горизонтом срыва (детachment) в нижней коре. Блоки же прочной верхней коры выглядят в таком аспекте как реликты древней структуры, которые, как льдины, транспортируются более текучим слоем и испытывают хрупкую деформацию в виде своего рода तोпления.

4) Можно сделать **главные выводы**: разные тектонические процессы, происходящие на противоположных ограничениях Евразийской плиты (спрединг – на севере и коллизия – на юге), каждый по своему, способствуют ее внутриплитной деформации. При этом они протекают согласованно, и, соответственно, в каждой точке внутри плиты одновременно действуют силы, исходящие из разных источников. Коллизионные напряжения передаются через платформенный фундамент (особенно локализуясь в нижней коре), тогда как в верхней части коры и платформенном чехле глубинные горизонтальные перемещения постепенно гасились и трансформировались в вертикальные, образовавшие систему пологих структур облекания. Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации «Научные школы» № НШ-7559.2006.5, и Программы № 6 ОНЗ РАН.



**Структурно-кинематическая
карта платформенной области Юго-Восточной Европы
для новейшего этапа развития**

1 – мегаскладки и валы; 2 – надвиги и взбросы; 3 – сдвиги; 4 – сбросы; 5 – главное направление давления Аравийской плиты; 6 – локальные участки концентрации давления; 7 – направления латерального выжимания блоков; 8 – направления горизонтального растяжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гущенко О.И. Кинематический принцип относительной хронологии палеонапряжений (основной алгоритм тектонического стресс-мониторинга литосферы) // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М., Наука. 1999. С. 108-125 (Тр. ГИН РАН; вып. 515).
2. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Структурная геология юго-востока Восточно-Европейской платформы. Уфа: Гилем. 2001. 234 с.
3. Копп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе // М.: Научный Мир, 1997, 314 с. (Тр. ГИН РАН, вып. 506).
4. Копп М.Л. Трансевразийский правый сдвиг вдоль линии Торнквиста и предполагаемая кинематика Восточно-Европейской субплиты в кайнозое // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М., Наука. 1999. С. 84-107.
5. Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 340 с. (Тр. ГИН РАН; вып. 552).
6. Копп М.Л. Новейшие деформации Мугоджар и динамические обстановки их формирования // Бюл. МОИП. Отд. геол. Т. 79. Вып. 2. С. 8-23.
7. Копп М.Л. Новейшая деформация Южного Урала и Мугоджар и ее вероятное происхождение // Геотектоника. 2005. № 5. С. 36-61.
8. Копп М.Л., Егоров Е.Ю., Никонов А.А. Кинематика новейшей структуры и сейсмичность Окско-Донского миоцен-четвертичного прогиба // Доклады РАН. 2002. Т. 385, №3. С.387-392.
9. Копп М.Л., Егоров Е.Ю., Борисов М.Е., Кудашев А.В. Новейшее поле деформаций Общего Сырта (Северный Прикаспий) // «Тектонофизика сегодня (к юбилею М.В.Гзовского)». М.: Изд-во ОИФЗ РАН. 2002. С. 248-271.
10. Копп М.Л., Тверитинова Т.Ю. Кинематика Жигулевского новейшего разлома // Бюлл. МОИП, отд. геол. 1999. Т. 74. Вып. 5. С. 18-29.
11. Копп М.Л., Щукин Ю.К. Глубинные корни новейшей структуры платформенной области Юго-Восточной Европы // Тектоника и дислокации платформ и их горно-складчатых обрамлений. Мат-лы межд. конференции (компьютерная версия). 2003.
12. Леонов Ю.Г. Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника. 1995. № 6. С. 3-21.
13. Лёвин Ф.Д., Фомин В.И. Происхождение современных Уральских гор (на примере Среднего и Южного Урала) // Отечественная геология. 2001. № 3. С. 31-40.
14. Лобов В.А., Кавеев И.Х. О некоторых аспектах изучения надвиговых дислокаций в Волго-Уральской провинции // Геология, разработка нефтяных месторождений, физика и гидродинамика пласта. Казань, 1975. с. 27-33 (Тр. Тат. гос. НИПИ нефт. пром-ти; Вып. XXX).
15. Новейшая тектоника и геодинамика области сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты / Макаров В.И., Макарова Н.В., Несмеянов С.А. и др.; Ин-т геоэкологии РАН. – М.: Наука. 206 с.
16. Sobornov K. Structural evolution of the Karpinskiy swell, Russia // C.R. Acad.Sci. 1995, T. 321, ser. II, P. 161-169.

НОВЕЙШАЯ СТРУКТУРА ТУЛВИНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПЕРМСКОГО ПРИУРАЛЬЯ И ЕЕ СООТНОШЕНИЕ С ПАЛЕОСТРУКТУРАМИ ФАНЕРОЗОЙСКОГО ЧЕХЛА

Копп М.Л., Колесниченко А.А.

Геологический институт РАН, г. Москва, korp@ginras.ru, kolesn_al@mail.ru

Тулвинская возвышенность Пермского Приуралья по мнению большинства исследователей и по нашим данным имеет неотектоническую природу [1,2,3,5,7]. Тулвинский вал, меридионального направления, отделен от соседних новейших поднятий линейными прогибами: Среднекамским – на западе и Нижнесыльвинским – на востоке. О том, что Тулвинский свод представляет собой новейшее поднятие, свидетельствуют деформации террас рек, высоты вершинной и базисной поверхностей, степень горизонтальной и вертикальной расчлененности, уклоны продольных профилей рек и т.д. Особенно важно резкое увеличение горизонтальной расчлененности, что характерно именно для умеренных поднятий платформенного типа [1,2,3]. Наконец, тектоническая активность проявляется в современных вертикальных движениях, перепады которых достигают 10 мм (А.В. Сидоров и др., 1992). При этом центральной части Тулвинского вала соответствует область интенсивного современного подъема земной поверхности.

Проведенное нами полевое изучение кинематики трещинных мезоструктур позволило реконструировать послепермское поле напряжений/деформаций [5]. Оно характеризуется субгоризонтальной ориентировкой его главных осей: субширотная ось сжатия/укорочения и субмеридиональная ось растяжения/удлинения. Важно подчеркнуть, что парагенезы мезоструктур, установленные в пермских отложениях, обнаруживаются и в четвертичных. Это означает, что данные об ориентации осей главных напряжений, полученные по замерам в пермских породах, можно распространить и на новейший этап. Вместе с находящимися южнее поднятиями Общего Сырта и Бугульминско-Белебеевским Тулвинский вал образует меридиональную цепочку, которую можно рассматривать в виде единого неотектонического мегавала – Сыртовско-Тулвинского. Последний пространственно принадлежит к