

УДК 549.903.55(1)

ББК 26.323

Т 67

**Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя.** Материалы XLIII Тектонического совещания. Том 2. М.: ГЕОС, 2010. – 502 с.  
ISBN 978-5-89118-497-8

Материалы совещания опубликованы при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 10-05-06006 г

Ответственный редактор  
*Н.Б. Кузнецов*

*На 1-й странице обложки: Переслаивание нижнесинемюрских аргиллитов и мергелей в разрезе Восточный Квантоксхэд (Западный Сомерсет, юго-восточная Англия). Фото М.А. Рогова, июль 2007 г.*

© ГИН РАН, 2010

© ГЕОС, 2010

2. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв.вузов. Геология и разведка. 1991. № 10. С. 3–27.

3. Сим Л.А., Брянцева Г.В., Чекмарев К.В. О перестройке структурного плана и севера Западно-Сибирской плиты и Полярного Урала в новейший этап // Проблемы тектонофизики: К 40-летию создания М.В. Гзовским Лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. М.: ИФЗ, 2008. С. 349–357.

4. Тектоническая история Полярного Урала. М.: Наука, 2001. 191 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 531).

5. Тимонин Н.И., Юдин В.В., Беляев А.А. Палеогеодинамика Пай-Хоя. Екатеринбург. УрО РАН, 2004. 226 с.

6. Юдин В.В. Орогенез Севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 286 с.

**Д.А. Симонов<sup>1</sup>, В.С. Захаров<sup>1</sup>, О.В. Гайдаленок<sup>1</sup>,  
Е.А. Маловичко<sup>1</sup>**

---

## **Применение методики расчета дискретных движений блоков земной коры активных областей по данным GPS на примере Южной Калифорнии**

**Введение.** В последние десятилетия при решении задач геодинамики все шире используются спутниковые данные высокоточного определения координат, преимущественно измерения GPS (глобальной системы позиционирования), для определения современных величин и скоростей смещений земной поверхности. Причем точность этих данных, а, следовательно, и точность получаемых благодаря ним выводов постоянно увеличивается. Хотя и не повсеместно, но возрастает и плотность сетей GPS. Два этих фактора позволяют перейти от оценки современных движений плит и микроплит к расчету дискретных движений более мелких блоков земной коры. Последние годы в мире начали развиваться методики определения таких движений [1–6]. Здесь намечаются два основных подхода к решению задачи.

К первой группе методов [5, 6] можно отнести методики, при которых сначала по геологическим, тектоническим, геоморфологическим и т.п. данным проводится выделение относительно жестких (вариант – жестко-упругих) блоков и их границ, а затем уже анализируются данные по пунктам GPS, попавшим в тот или иной блок, и вычисляются кине-

---

<sup>1</sup> Геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ)

матические характеристики движений (полюсы вращений, угловые скорости, относительные движения).

Ко второй группе методов [1–4] можно отнести методики, при которых за основу при выделении блоков берется главным образом анализ кинематики или соотношения взаимных перемещений пунктов сетей GPS для создания дискретных кинематических моделей отдельных регионов. При этом *в первую очередь* в качестве жестких однородных блоков земной коры принимаются кинематически однородные блоки, подтверждение границ которых проводится по геологическим и геоморфологическим данным.

**Целью** работы является изучение современной блоковой кинематики Южной Калифорнии с применением методики, разработанной авторами [1, 4], для подтверждения возможностей метода. Данный регион был выбран из-за того, что сеть GPS здесь является одной из лучших в мире. Кроме того, для данного региона уже имеется ряд схем блокового строения [5, 6], что позволяет сравнить результаты, полученные при разных подходах.

В качестве исходных данных для определения кинематики блоков была использована однородная база данных CMM3 (Crustal Motion Model. Vol. 3) сейсмологической службы Калифорнии. Для подтверждения границ были выбраны базы данных по современным активным разломам Геологической службы Калифорнии ([www.conservation.ca.gov/CGS](http://www.conservation.ca.gov/CGS)), геологическая карта Южной Калифорнии ([www.pubs.usgs.gov](http://www.pubs.usgs.gov)), данные дистанционного зондирования SRTM, Landsat ETM+. Кроме того, полученные результаты были сопоставлены с данными по решению механизмов очагов землетрясений.

**Методика расчетов.** Движения блоков, особенно небольших, являются достаточно сложными и могут быть представлены как вращение вокруг различных полюсов, как вращение вокруг внутренней оси или как комбинация обоих типов движения. В работах [1, 4] разработаны оригинальные алгоритмы, позволяющие выделять наборы точек («кластеры»), принадлежащих к *единому эйлерову* полюсу  $P$  и имеющих *одинаковую угловую* скорость  $\omega$  (в пределах заданных ошибок). Эти кластеры интерпретировались нами как *жесткие кинематические блоки*, при этом критерием являлась именно согласованность движения. В качестве жесткого блока земной коры такой блок можно рассматривать после подтверждения его границ по геологическим данным. Заданные ошибки в данной работе принимались достаточно большими (отклонение линейного вектора скорости  $10^\circ$  и отклонение угловой скорости  $10\%$ ). Такой выбор параметров позволяет пренебречь незначительными внутренними вращениями, что существенно упрощает анализ, хотя и существует вероятность потери мелких изометричных блоков. Минимизация

ошибок является следующим шагом исследований. Была проведена проверка методики кластеризации на чувствительность к выбору *начальной точки*. Выявлено, что конечный результат кластеризации *не зависит* от этого выбора и является достаточно устойчивым.

На основании вычисленных параметров движения определяются относительные движения отдельных блоков. В настоящей работе используется один из четырех методов определения относительных движений, представленных в [1, 4]. Метод имеет следующие алгоритмы: 1) выбирается блок 1, который имеет эйлеров полюс  $P_1(\phi_1, \lambda_1)$ , вектор угловой скорости  $\omega_1$ , и точка  $T$ , относящаяся к блоку 2, который имеет эйлеров полюс  $P_2(\phi_2, \lambda_2)$ , вектор угловой скорости  $\omega_2$ ; 2) вычисляется угловая скорость  $\omega' = \omega_2 - \omega_1$  блока 2 относительно блока 1; 3) вычисляется относительная линейная скорость точки  $T$  в глобальной системе координат  $V' = [\omega' \times r]$ , где  $r$  – радиус-вектор точки  $T$ ; 4) вычисляется скорость относительного движения в локальной системе координат.

В данном методе точки в самом блоке остаются неподвижными друг относительно друга в пределах заданной ошибки. Метод не учитывает собственного вращения блоков, поэтому наиболее корректные результаты методика даст при работе с вытянутыми структурами, как в данной работе.

**Результат проведенного анализа.** В Южной Калифорнии удалось выделить ряд блоков, в основном линейно вытянутых в Северо-Западном направлении вдоль разлома Сан-Андреас, и определить характер и скорости их движения. Одним из наиболее интересных результатов является то, что вдоль асейсмичной части разлома Сан-Андреас, на участке между разломами Гарлок и Сан-Джасинто, выделяется кинематически стабильная область шириной 10–20 км. В пределах этой области движения пунктов GPS на обоих крыльях разлома является согласованным, т.е. разлом является «зажатым», или «запертым», что может свидетельствовать о накоплении напряжений на этой его части и о возможности катастрофического землетрясения. Движения остальных выделенных блоков определялось нами *относительно именно этой стабильной зоны*. Важно отметить, что относительные скорости движения блоков возрастают по мере удаления от разлома Сан-Андреас. Севернее разлома, в районе пустыни Мохаве, выделяется ряд кинематически однородных кластеров, но, в связи с тем, что здесь сильно развит чехол рыхлых четвертичных отложений, подтвердить границы геологических блоков по имеющимся материалам оказалось крайне затруднительным.

Южнее разлома Сан-Андреас удалось более уверенно выделить несколько линейно вытянутых блоков. Скорость и направление их движения в целом соответствуют общему структурному плану, однако их гра-

ницы не всегда можно подтвердить откартированными современными разломами. Причем интересно, что чаще всего подтверждаются разломами транспрессионные границы, в то время как чисто сдвиговые или трансенсионные границы кинематических блоков не всегда совпадают с сеткой разломов. В ряде случаев удается отдешифровать такие границы по данным дистанционного зондирования, однако результаты дешифрирования требуют полевого подтверждения.

Кинематика выделенных блоков хорошо согласуется с данными по сейсмичности района. Особенно интересным является то, что транспрессионные границы выделенных блоков хорошо совпадают с областями, в которых распространены землетрясения со взбросовыми типами механизмов очагов. Важно, что одна из таких сейсмически активных транспрессионных границ протягивается вдоль разломов Санта-Сюзанна и Сими, юго-восточнее кинематически стабильной части разлома Сан-Андреас, что может свидетельствовать о частичной разгрузке напряжений вдоль этих разломов, что также может отражаться на активности разлома Сан-Андреас на данном сегменте.

**Выводы.** Таким образом, предложенная методика позволяет получать достаточно хорошие результаты при анализе блоковой кинематики активных областей. Полученные результаты в целом коррелируют с геологическими и сейсмологическими данными, несмотря на ряд проблем, требующих разрешения. Кроме того, результаты могут быть использованы в качестве дополнительной информации при прогнозе землетрясений. Вместе с этим, достаточно серьезной проблемой является разработка методов, позволяющих учитывать внутреннее вращение блоков, что существенно повысит точность исследований.

### *Литература*

1. Захаров В.С., Симонов Д.А. Анализ современных дискретных движений блоков земной коры геодинамически активных областей по данным GPS // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 2010 (в печати).
2. Зубович А.В., Макаров В.И., Кузиков С.И., Мосиенко О.И., Щелочков Г.Г. Внутриконтинентальное горообразование в Центральной Азии по данным спутниковой геодезии. // Геотектоника. 2007, № 1. С. 16–29.
3. Зубович А.В., Мосиенко О.И., Кузиков С.И., Меллорс Р. Изучение современной тектоники Тянь-Шаня по данным космической геодезии // Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли: В 2 т. М.: ГЕОС, 2006. С. 243–244. (Материалы XXXIX Тектонич. совещ. Т. 1).
4. Симонов Д.А., Захаров В.С., Лю С. Методики анализа современных дискретных движений блоков геодинамически активных областей по данным GPS (на примере Эгейско-Анаголийского региона) // Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли: В 2 т. М.: ГЕОС, 2006. С. 215–219. (Материалы XXXIX Тектонич. совещ. Т. 2).

5. *McCaffrey R.* Block kinematics of the Pacific–North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data. // *J. Geophys. Res.* 2005. Vol. 110, №B07401. doi:10.1029/2004JB003307

6. *Meade B.J., Hager B.H.* Block models of crustal motion in southern California constrained by GPS measurements // *J. Geophys. Res.* 2005. Vol. 110, №B03403. doi:10.1029/2004JB003209.

---

**А.Н. Сироткин<sup>1</sup>**

## **Архипелаг Шпицберген: геодинамика ранне-среднепалеозойского этапа развития основания Баренцевоморской плиты**

Каледонский этап в геологической истории Шпицбергена во многом является ключевым, поэтому так велико к нему внимание геологов. Доминирующие версии истории этого региона обосновывают возможность каледонского коллизионного орогенеза, сопровождаемого интенсивным метаморфизмом и внедрением гранитных интрузий. Этот процесс завершился орогенным этапом с формированием девонской красноцветной молассы во внутренних и наложенных впадинах [4 и др.]. Другие исследователи [9] относят девонский грабен Шпицбергена к эпиорогенной рифтовой зоне, где рифтогенез являлся непосредственным продолжением орогенного этапа развития. Одновременно работами ряда авторов [1, 7 и др.] обосновывалось существование платформенного режима на Шпицбергене в раннем палеозое и, следовательно, иная природа девонских тектонических процессов. В последнее время высказаны идеи, что девонский комплекс Шпицбергена сформирован в обстановке среднепалеозойского внутриплатформенного рифтогенеза [6, 12 и др.].

Допалеозойский фундамент Баренцевоморской плиты на Шпицбергене представлен комплексами  $PR_1$  и  $R_1$  метаморфитов,  $R_2$  осадочно-вулканогенным комплексом и  $R_3$ – $V$  платформенными отложениями. Здесь проявлены предраннепалеозойский перерыв и несогласие, которые предполагались ранее [1, 7 и др.] и доказаны теперь [6]. Отложения  $PZ_1$  формировались в платформенных обстановках [1, 4 и др.]. Девонский орогенез на Шпицбергене стал результатом заложения на древней платформе рифтогенной структуры (рис. 1) вследствие регенерации более древнего, среднерифейского палеорифта в ходе тектономагматиче-

---

<sup>1</sup> ФГУНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (ПМГРЭ), Ломоносов, Россия