

Важнейшие достижения Лаборатории неотектоники и космической геологии за 1992-1996 г.г.

Исследования Лаборатории неотектоники и космической геологии в 1992-1996 г.г. осуществлялись в области неотектоники, сейсмотектоники, современной геодинамики и использования аэрокосмических материалов для изучения новейших и современных геологических процессов. Они проводились по тематическим планам научных работ института в соответствии с Приоритетными направлениями научных исследований ОГГГН РАН, а также по ГНТП "Глобальные изменения природной среды и климата" (проекты 1.4 и 2.2), проекту 94-05-16828-а РФФИ, проектам МCV000 и МРG000 Международного научного фонда, проекту П-2 "Карта активных разломов Мира" Международной программы "Литосфера".

## **Неотектоника**

Важнейшим результатом в области неотектоники является подготовленное В.Г.Трифоновым монографическое обобщение "Неотектоника Евразии". В книге проанализированы основные тектонотипы неотектонических структурных ситуаций: Курило-Камчатская островная дуга, области внутриконтинентальной коллизии Центральной Азии, Монголии, Китая и Ближнего Востока, область сложного сочетания рифтогенных процессов и внутриконтинентального орогенеза Средиземноморского сегмента Альпийско-Гималайского подвижного пояса, рифтовые зоны Байкала и Исландии. Сравнение тектонотипов с другими неотектоническими образованиями позволило представить и объяснить широкий спектр неотектонических явлений в подвижных поясах. Выделены характерные типы структурных сочетаний, возникающих в условиях сближения литосферных плит:

1. субдукция, которая в чистом виде практически нигде не проявляется, а сопровождается механическим и петрохимическим отслоением относительно легкой и легкоплавкой верхней части литосферы;
2. Характерное для областей коллизии отслоение и независимая деформация земной коры и мантийной части литосферы - первая испытывает складчато-надвиговое скупивание, а вторая, деформируясь, погружается вглубь мантии;
3. бульдозинг - передача движения и деформации от наиболее интенсивно деформируемых коллизионных швов к периферии орогенических поясов;

Особо рассмотрены особенности платформенных новейших структур и выполнен сравнительный анализ неотектоники континентов и океанов. Проанализирован и типизирован механизм неотектонических движений, осуществляющихся либо плавно и непрерывно (крип), либо импульсами при сильных землетрясениях. Межрегиональная корреляция неотектонических процессов показала синхронность, то есть, глобальную взаимосвязь важнейших фаз и эпизодов неотектонических движений. Характерной чертой неотектонического развития является структурно-динамическая расслоенность литосферы. На основе системного анализа создана синтетическая теория новейшего тектогенеза, движущим механизмом которой является конвекция в мантии, в результате которой и сложного взаимодействия собственно литосферных процессов формируется все разнообразие новейших структур.

А.И.Кожурин изучил современную структуру хребтов Момский и Черский (северо-восток Якутии, Магаданская область). Основная цель исследований - выяснение положения континентального сегмента границы Евразийской и Северо-Американской литосферных плит, характера перемещений вдоль нее и ее структурного выражения. Показано, что поднятия

хребтов и осевая система Момо-Селенняхских впадин между ними образуют новейшее (поздний эоцен? - олигоцен - четвертичное) орогенное сооружение ороклинального типа в области мезозойской складчатости северо-востока Азии. Особенности новейшей и позднечетвертичной структуры региона (разнонаправленные продольные сдвиги, существование участков растяжения и сжатия в единой осевой системе впадин, фланговые взбросо-надвиги и др.) интерпретированы как следствие и проявление продольного пояса (СЗ-ЮВ-го) сокращения неоднородной земной коры региона, вызываемого в пределах континента раздвиговыми движениями в срединно-арктическом хребте Гаккеля. При этом полюс относительного вращения Евразийской и Северо-Американской литосферных плит должен находиться на достаточном удалении от региона к юго-востоку. Структурно-динамически связанный с хребтом Гаккеля пояс Черского и Момского хребтов может рассматриваться как континентальное продолжение границы Северо-Американской и Евразийской литосферных плит, однако лишь до северо-восточного простирания Ланково-Омолонской правосдвиговой разломной зоны западного побережья залива Шелихова Охотского моря. Условие замкнутости границ Евразийской, Северо-Американской и Западно-Тихоокеанской плит может быть соблюдено здесь лишь при предположении, что граница двух первых из указанных плит с последней - не узкая зона выхода сейсмофокальных зон на поверхность, а широкий пояс протягивающихся примерно параллельно границе континент-океан структур, наиболее западной из которых в области тройного сочленения указанных плит является Ланково-Омолонская правосдвиговая зона. Таким образом, предложенная А.И.Кожуриным модель неотектонической и позднечетвертичной эволюции региона дает решение существовавшей до последнего времени проблеме взаимодействия крупнейших литосферных плит на северо-востоке Азии.

В 1991 г. С.Ф.Скобелев начал изучение неотектоники Уральского горного пояса. По материалам космических съемок впервые составлена карта активных разломов Урала в масштабе 1:2500000. Более детальные исследования выполнены на границе Зауральского прогиба, заложеного на месте Тагило-Магнитогорского синклиория. Обнаружены зоны новейших разломов взбросового типа, смещающих мезозойские отложения и сопровождаемые приразломными складками. Изучение неотектоники Урала тормозится отсутствием датированных реперов, по которым можно было бы оценить возраст и интенсивность новейших движений. Предложен метод возрастной корреляции неотектонических образований по комплексам озерных отложений на западном и восточном склонах Урала.

### **Активная тектоника и современная геодинамика**

На обширных районах Евразии изучены активные разломы, обобщены все имеющиеся данные о них, создана база данных активных разломов Евразии и впервые составлены карты активных разломов Северной Евразии (территории бывшего СССР и соседних стран) в м-бе 1:2500000 и Евразии в целом в м-бе 1:5000000. В процессе этих работ создано программное обеспечение базы данных, усовершенствована методика комплексного (аэрокосмического и наземного) изучения активных структур и связанных с ними геологических и геоэкологических процессов. Эта работа выполнена всеми сотрудниками Лаборатории под руководством В.Г.Трифоновой и А.И.Кожурина в рамках проекта П-2 "Карта крупнейших активных разломов Мира" Международной программы "Литосфера" при поддержке проекта 2.2 ГНТП "Глобальные изменения природной среды и климата".

В процессе работ по составлению карты активных разломов Евразии были выполнены полевые исследования и получены новые данные об активной тектонике отдельных регионов. К их числу относятся уже упоминавшиеся результаты изучения активных разломов Момско-Черской

системы и Урала. В области Аравийско-Евразийской коллизии В.Г.Трифоновым совместно с армянскими и иранскими учеными получены следующие новые данные:

1. Обнаружены и охарактеризованы две ветви Восточно-Анатолийской активной левосдвиговой зоны, продолжающие ее на северо-восток от пересечения с Северо-Анатолийской активной правосдвиговой зоной до территорий Грузии и Армении. Более активная восточная ветвь, продолжающаяся на север Армении, смыкается там с Памбак-Севан-Ханарасарской правосдвиговой зоной, образуя вместе с ней Северо-Армянскую дугу активных разломов. Перемещения по разломам дуги, вызываемые северным дрейфом Аравии, в свою очередь определяют позднечетвертичные деформации и смещения в более северных регионах, включая Большой Кавказ и его предгорья. Продолжающиеся движения по Северо-Анатолийской и Восточно-Анатолийской зонам, приводящие к их взаимным смещениям и формированию новых ветвей обеих зон, связывающих смещенные сегменты, определяют своеобразие современной геодинамики и сейсмотектоники обширных соседних регионов.

2. Поскольку сдвиги являются ведущим типом современного структурного проявления Аравийско-Евразийской коллизии, были детально исследованы связанные с активными сдвигами тектонические и вулканические образования. Выявлены два типа присдвиговых впадин, возникающих при двух противоположных типах кулисного подставления сегментов сдвиговой зоны: впадины растяжения типа pull-apart и впадины сжатия типа push-inside. С первыми связаны позднечетвертичные вулканы, располагающиеся вдоль разломов растяжения, сбросов и сбросо-сдвигов внутри и на краях впадины. Такие соотношения обнаружены на Сюникском и Гегамском нагорьях Армении.

3. В Иране вдоль южных подножий Эльбурса выявлены левые взбросо-сдвиговые смещения вдоль субширотной эшелонированной системы активных разломов. Эти разломы, Ипак, Северо-Тегеранский, Моша и Шахруд, были известны ранее, но характер и интенсивность смещений по ним определены впервые, что позволяет интерпретировать смещения по указанным разломам как результат отжимания горных масс на восток от движущейся на север Аравийской плиты. Впервые определена скорость этого движения в зоне Главного современного разлома Загрота.

В 1995 году А.И.Кожурин в составе эпицентральной экспедиции ОИФЗ РАН исследовал сейсмотектонические проявления землетрясения 27 (28) мая 1995 года на северном Сахалине. Основным объектом изучения явился образовавшийся при землетрясении разлом. Выявлены основные параметры сейсмотектонического нарушения - его длина, морфология, тип и амплитуды (включая их распределение) перемещений. Установлено, что по разлому длиной около 35 км произошли правосдвиговые, с максимальной амплитудой до 8 м, и невыдержанные по направлению и величине подчиненные вертикальные перемещения. Обнаружены проявления более ранних (голоценовых) правосдвиговых перемещений по линии сейсмотектонического разрыва 1995 года, а также другие палеосейсмотектонические дислокации. Все эти данные - первые из разряда прямых, подтверждающие преимущественно правостороннюю кинематику движений вдоль субмеридиональных разломных зон северного Сахалина, что позволяет видеть их сходство с другими крупными правыми сдвигами Тихоокеанского тектонического пояса (переходной зоны) - Камчатским, Танлу в Китае, Ланково-Омолонской в северном Приохотье и другими.

На примере области взаимодействия Индийской и Евразийской плит Центральной Азии впервые выполнена геодинамическая интерпретация всей совокупности активных разломов. Теоретические предпосылки для постановки таких исследований разработаны Г.А.Востриковым, изложившим их в монографии "Связь параметров графика повторяемости,

сейсмического течения и очага землетрясений" (1994). В монографии установлены нелинейное приближение графиков повторяемости по сейсмическому моменту и магнитуде, а также зависимости между его коэффициентами - закон повторяемости землетрясений. Исследованы зависимости параметров нелинейного графика от механических свойств и режима нагружения сейсмогенерирующей среды; на них основан предлагаемый автором метод оценки макросейсмических параметров сейсмического течения. Представлены результаты изучения вариаций значений этих параметров на Камчатке и в Памиро-Гиндукушском регионе. Исследована взаимосвязь величин сейсмического момента, размеров очага и магнитуды землетрясения, из которых каждая определяется как функция двух других.

В отличие от указанной монографии, целиком основанной на сейсмологическом материале, для обсуждаемой геодинамической интерпретации впервые использованы данные о типе и скоростях перемещений по активным разломам. Предложена гидродинамическая модель течения горных масс верхней части коры и методика расчета поля тензора скоростей деформаций и поля тектонических перемещений по данным об активных разломах. В итоге составлены карты ориентировок и величин компонент тензора скоростей тектонической деформации и направлений перемещений в указанном регионе. Показано сложное перераспределение горных масс, при котором наряду с их общим движением в северных румбах происходит утолщение верхнекорового слоя и поднятие отдельных участков, а также течение масс вдоль орогенического пояса. Эта работа выполнена В.Г.Трифоновым, Г.А.Востриковым, Р.В.Трифоновым и О.В.Соболевой в рамках проекта МНФ МРГ000 и сейчас продолжается в рамках проекта 1.4 ГНТП "Глобальные изменения природной среды и климата".

Результаты геодинамических расчетов и общий анализ карты и базы данных об активных разломах Евразии показал следующее. Наибольшие скорости перемещения и деформации зафиксированы в зонах разломов на границах плит, но близкие значения скоростей обнаружены и в отдельных зонах обширных поясов, прилегающих к этим границам, а активные разломы с малыми скоростями движений распространены повсеместно. При этом взбросо-надвиговая природа вертикальных перемещений фиксируется чаще, чем сбросовая. Иначе говоря, большая часть континента находится в условиях сжатия. Большинство разломов подвижных поясов континента имеет сдвиговую составляющую, соизмеримую с вертикальной, а чаще превосходящую ее. Это определяется экономичностью сдвиговой формы движений, не преодолевающей силы тяжести. Большинство выявляемых на поверхности активных разломов пронизывает лишь верхнекоровый слой, сменяясь ниже иными формами движений и структурами иной морфологии и нередко иного направления. Большинство элементов активной тектоники развивается унаследованно с конца миоцена или с плиоцена.

### **Сеймотектоника**

На основе комплексного анализа каталога землетрясений и данных об активных разломах Северной Евразии В.Г.Трифонов, А.И.Кожурин, А.И.Июффе совместно с сотрудниками ИФЗ Н.В.Шебалиным, В.И.Уломовым и Р.Э.Татевосяном составили каталог и карту сеймотектонической зональности Северной Евразии м-ба 1:5000000. Вся территория разделена на примерно 500 осевых и плоских сеймотектонических доменов, для каждого из которых по разработанным Н.В.Шебалиным пяти различным методикам, использующим как сейсмологические данные, так и параметры активных разломов, определены максимальная возможная магнитуда землетрясений и период их повторяемости. Оценки производились дифференцированно с учетом интенсивности позднечетвертичных тектонических движений в регионе и рисунка активных разломов. Работа выполнена в рамках проекта 2.2 ГНТП "Глобальные изменения природной среды и климата".

В целях детального сейсмического районирования в пределах сейсмоактивных структур выявлены специфические участки наиболее вероятного возникновения очагов землетрясений. К числу таких участков относятся пересечения активных сдвигов, сочленения разнонаправленных структур, активных на разных уровнях литосферы, области эшелонированного подставления сегментов крупных активных разломов и сжатые присдвиговые впадины. Работа выполнена при поддержке Проекта 94-05-16828-а РФФИ.

### **Использование аэрокосмических материалов**

С.Ф.Скобелевым и А.И.Иоффе разработаны новые подходы к использованию аэрокосмических материалов для изучения современных и новейших геологических процессов и их воздействий на природную среду, сооружения и геоэкологическое состояние территорий.

### **Научно-прикладные работы**

Помимо указанных фундаментальных исследований сотрудниками Лаборатории выполнены и выполняются отдельные научно-прикладные работы. Н.В.Лукина изучила активную тектонику области сочленения юга Западно-Сибирской платформы и соседних областей умеренного горообразования с целью оценки геологической опасности района захоронения радиоактивных отходов в Красноярском крае. С.Ф.Скобелев выполнил изучение неотектоники отдельных районов Урала в целях оценки опасности эксплуатации угольных месторождений. Под руководством А.И.Кожурина ведутся методические работы по выявлению возможных активных тектонических структур в пределах Московского региона в целях создания прогнозных карт природной среды.

### **Общие итоги**

Сотрудники Лаборатории В.Г.Трифонов и В.И.Макаров удостоены Государственной премии Российской Федерации 1995 г. за обоснование тектонической расслоенности литосферы, а С.Ф.Скобелев удостоен Государственной премии Российской Федерации 1996 года за геотехнических воздействий геологических процессов. Сотрудники Лаборатории принимали активное участие в 29-м и 30-м Международных геологических конгрессах (Киото, 1992; Пекин, 1996) и 21-й Генеральной Ассамблеи Международного союза геодезии и геофизики (Болдер, 1995 г.), Всероссийских тектонических совещаниях, различных международных конференциях, симпозиумах, научных школах. Помимо указанных монографий, результаты работ опубликованы в 20 статьях в отечественных и зарубежных журналах и тематических сборниках. Под руководством В.Г.Трифорова сотрудники Лаборатории проводят большую организационную работу, обеспечивающую глобальную реализацию проекта П-2 "Карта крупнейших активных разломов Мира" Международной программы "Литосфера".

### **Важнейшие публикации 1992-1996 гг.**

1. Алексин П.А., Аптекман Ж.Я., Кожурин А.И. и др. Шикотанское землетрясение 1994 г.: Эпицентральные наблюдения и очаг землетрясения. ФССН, Специальный выпуск, 1995, 136 с.
2. Востриков Г.А. Связь параметров графика повторяемости, сейсмического течения и очага землетрясения. М.: ГИН РАН, 1994, 290 с.
3. Иванова Т.П., Трифонов В.Г. Новые аспекты соотношений тектоники и сейсмичности. Докл. АН, 1993, т.3316 N 5, сс.587-589.

4. Кучай О.А., Лукина Н.В. Современная геодинамика Восточного Саяна по геолого-геоморфологическим, дистанционным и сейсмологическим данным. Геология и геофизика, 1995, N 12.
5. Трифонов В.Г., Кожурин А.И., Лукина Н.В. Изучение и картирование активных разломов. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии, т.1. М.: РАН, 1993, сс.196-206.
6. Ioffe A., Govorova N., Volchkova G., Trifonov R. Data base of active faults for the USSR area. Geoinformatics, 1993, vol.4, N 3, pp.289-290.
7. Ioffe A., Kozhurin A., Trifonov V. Active faults and seismicity as a base for seismic hazard estimation. Proc. of the 11th Thematic Conf. on Geological Remote Sensing, Las Vegas, NV, 1996, vol.2, p.490.
8. Ioffe A.I., Kozhurin A.I. Database of active faults of Eurasia. Jour. of Earthquake Prediction Research, 1996, Vol.5. (in press).
9. Kozhurin A.I. Active faults of the eastern continental margin and islandic arcs of Eurasia. Ibid., 1996 (in press).
10. Kozhurin A.I., Strel'tsov M.I. Seismotectonic consequences of the May 28, 1995, Northern Sakhalin earthquake. FSSN Neftegorsk Special Issue, 1995, p.93-98.
11. Trifonov V.G. Remote Sensing of Geological Hazards. Proc. of the 3rd UN Intern. Training Course on Remote Sensing Applications to Geol. Sci. Berliner geowiss. Abh., D, 1992, vol.1, pp.59-64.
12. Trifonov V.G. Seismotectonics and Remote Sensing. Proc. of the 4th UN/CDG Intern. Training Course on Remote Sensing Applications to Geol. Sci.. Berliner geowiss. Abh., D, 1993, vol.5, pp.73-88.
13. Trifonov V.G. World map of active faults (Preliminary results of studies). Quaternary Intern., 1995, vol.25, pp.3-12.
14. Trifonov V.G. (ed.) Map of active faults and seismotectonics of the Northern Eurasia, 1:5,000,000. Russian Committee on the Intern. Lithosphere Program, Moscow, 1995.
15. Trifonov V.G. Map of active faults of Eurasia: principles, methodology and results. Jour. of Earthquake Prediction Research, 1996, vol.5 (in press).
16. Trifonov V.G., Bayraktutan M.S., Karakhanian A.S., Ivanova T.P. The Erzincan earthquake of 13 March 1992 in Eastern Turkey: tectonic aspects. Terra Nova, 1993, vol.5, pp.184-189.
17. Trifonov V.G., Karakhanian A.S., Assaturian A.O., Ivanova T.P. Relationship of earthquakes and active faults in Anatolia, the Lesser Caucasus and the Middle East. B.A.Bolt and R.Amirbekian (eds.), Continental collision zone earthquakes and seismic hazard reduction. Proc. of Intern. Conf. IASPEI/IDNDR Publ., Yerevan, 1994, pp.41-55.
18. Trifonov V.G., Karakhanian A.S., Kozhurin A.I. Major active faults of the collision area between the Arabian and the Eurasian plates. Ibid., 1994, pp.56-78.

19. Trifonov V.G., Karakhanian A.S., Berberian M., Kozhurin A.I., Kuloshvili S.I., Lukina N.V., Sweden A. et al. Active faults around the Arabian plate and in Caucasus. *Jour. of Earthquake Prediction Research*, 1996, vol.5 (in press).
20. Trifonov V.G., Klerkx J., Theunissen K. The Roermond earthquake of 13 April 1992, the Netherlands: geological aspects. *Terra Nova*, 1994, vol.6, pp.301-303.
21. Trifonov V.G., Machette M.N. The World Map of Major Active Faults Project. *Annali di Geofisica*, 1993, vol.34, N3-4, pp.225-236.
22. Trifonov V.G., Makarov V.I., Skobelev S.F. The Talas-Fergana active right-lateral fault. *Annales Tectonicae*, 1992, Special Issue: Supplement to vol.6, pp.224-237.