

МОРФОТЕКТОНИКА И НЕОТЕКТОНИКА АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА 1995–2009 гг.: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И.С. Новиков

История научных идей в неотектонических исследованиях Алтая предшествующего периода (1915–1995 гг.)

История неотектонических исследований Алтая началась в первые десятилетия XX в., чему в решающей степени способствовали работы В.М. Девиса, идеи которого о цикличности рельефообразования к началу XX в. уже были приняты на вооружение естествоиспытателями Российской империи, и исследования В. Пенка, взгляды которого о преобладании в новейшее время сводовых деформаций также были популярны среди части российских геологов. И.Г. Гране в 1907 и 1913–1914 гг. и В.А. Обручев в 1914 г. посетили Горный Алтай и опубликовали результаты своих исследований [Гране, 1915, 1916; Granö, 1910, 1917; Обручев, 1914, 1915]. Работы В.М. Девиса и В. Пенка были переведены на русский язык много позднее и изданы одновременно [Девис, 1962; Пенк, 1962]; до этого они были доступны только на языках оригиналов – английском и немецком соответственно. Возможно, именно это обусловило некоторую схематичность восприятия их взглядов отечественными геологами. Любопытно, что уже первые два исследователя неотектоники Алтая, занимавшиеся направлением, понятия о котором в науке еще не существовало, придерживались взаимоисключающих взглядов. Это противостояние прослеживается в работах по неотектонике Алтая до настоящего времени, что вынуждает схематично остановиться на сути научных воззрений В.М. Девиса и В. Пенка.

В.М. Девису удалось в конце XIX в. сформулировать носившуюся тогда в воздухе оригинальную научную концепцию, положения которой звучат удивительно современно. Не используя подобной терминологии, он ввел понятие системного времени, показав, что для геоморфологической системы существуют нулевые точки, в которых заканчивается один цикл развития рельефа; происходит «смерть» системы, поскольку рельеф исчезает, приближаясь к базису денудации с формированием *пенеплена* – предельной равнины. Затем, согласно теории Девиса, в геоморфологиче-

скую систему приносится новая порция энергии в форме высокой дифференциации поверхности тектоническими процессами, и начинается новый геоморфологический цикл – запускается новая геоморфологическая система. Во вновь формирующейся структуре рельефа полностью отсутствуют элементы предыдущей геоморфологической системы, и самой древней поверхностью рельефа является *пенеплен* – итоговая поверхность предыдущего цикла и исходная поверхность нового. Предложенные Девисом понятия *юный*, *зрелый* и *древний* рельеф по существу представляют собой введение понятия внутрисистемного времени, когда определяется состояние развития системы, исходя из степени ее усложнения. При этом начальная и конечная точки совмещаются, соответствуя максимальному упрощению системы. Введение циклического времени, совершенно не характерного для западной науки, одним из ее представителей есть явление уникальное, поскольку противоречит линейному восприятию времени, типичному для соответствующей цивилизации. Поэтому неудивительно, что критика положений Девиса является общим местом для любого англоязычного учебника по геоморфологии, и его наследие значительно более востребовано в России, нежели на родине исследователя. Об этом свидетельствует публикация тщательно выполненного русского перевода, в то время как на родине автора его труды давно не переиздавались.

Распространенная критика теории геоморфологических циклов традиционно строилась как на отсутствии объясненного механизма планетарных циклов тектонической активности и покоя, так и на слабой обоснованности теории геологическими данными. Действительно, такие данные в начале XX в. еще не были получены, однако в настоящее время представления глобальной тектоники о периодическом возникновении и распаде суперконтинентов в результате конвективных процессов в мантии и значительный прогресс в палеогеографии кайнозоя хорошо укладываются в представления о геоморфологическом цикле Девиса. В

частности, сегодня очевидно, что текущий цикл охватывает постмеловое время и соответствует процессам раскрытия Атлантики и коллизии Индо-Австралийской и Африканской плит с Евразией. Другим распространенным возражением по поводу адекватности модели Девиса было приписываемое ему представление о дискретности тектонического воздействия на формирование рельефа и непризнание пролонгированности тектонических движений. В рамках подобной критики воззрениям Девиса противопоставлялись взгляды В. Пенка, разрабатывавшего вопросы взаимодействия геоморфологических процессов на фоне непрерывных тектонических движений. Очевидна надуманность противопоставления взглядов данных исследователей, поскольку ясно, что они имели дело с разномасштабными явлениями. Закономерности, отмеченные Пенком, представляют собой частные механизмы в рамках более крупной по временным рамкам модели Девиса, и не могут абсолютизироваться. Придание им ведущей роли приводит к выводам, противоречащим геологическим данным.

В.А. Обручев и И.Г. Гране независимо друг от друга отказались от бытовавших тогда воззрений на складчатый характер гор Алтая вследствие обнаружения в его рельефе обширных фрагментов выровненной поверхности. В.А. Обручев полагал, что движения, создавшие современный рельеф носили преимущественно блоковый характер. И.Г. Гране отводил ведущую роль в формировании горного рельефа Алтая сводовому воздыманию.

Исследователи неотектоники Алтая следующих поколений делятся на две группы, развивающие одну из наметившихся линий, придерживаясь либо сводовой, либо блоковой концепции и допуская наличие альтернативного механизма только в частности. Последователи В.А. Обручева несколько более многочисленны (см. [Девяткин, 1965; Богачкин, 1980, Новиков, 2004] и др.), но целый ряд крупных исследователей в той или иной мере разделял взгляды И.Г. Гране (см. [Нехорошев 1926, Ерофеев, 1969] и др.).

Возраст основных этапов неотектонических деформаций Алтая всегда был предметом научной дискуссии. В.А. Обручев [1915] полагал возраст новейшего орогенеза Алтая позднемезозойским или третичным, а И.Г. Гране [1915] считал его раннетретичным и возобновлявшимся неоднократно в течение четвертичного периода. В.П. Нехорошев [1926] сначала полагал, что орогенез произошел в третичное время, а затем пришел к заключению о четвертичном времени основной фазы орогенеза [Нехорошев, 1966]. Работы Е.В. Девяткина [1965, 1981] утвердили в широких кругах исследователей точку зрения о плиоцен–

плейстоценовом возрасте основной фазы орогенеза Алтая с началом процесса в олигоцене.

Примерно в это же время поиски «научной новизны», выразившиеся в попытках ревизии стратиграфии кайнозойских отложений Алтая, привели к выделению в качестве основной фазы горообразования Алтая среднетретичную, а время глыбовых деформаций определялось как поздне-третичное; четвертичные же движения, как предполагалось, носили блоковый характер, были якобы малоамплитудными и кратковременными [Богачкин, 1981]. Наиболее радикальные представители этого направления сделали вывод о докайнозойском возрасте гор Алтая, орографическое устройство которого было лишь слегка изменено в кайнозойское время блоковыми подвижками [Розенберг, 1977, 1978]. Столь долго горные сооружения могли существовать только при непрерывном росте гор, скомпенсированном денудацией. Таким образом, в 1970-е гг. в интерпретации механизма неотектонических деформаций наметился отход от концепции В.М. Девиса в пользу В. Пенка. В рамках этого «ревизионистско-неотектонического» направления исследований предпринимались попытки оценить суммарную денудацию за неотектонический этап развития территории. Эти оценки достигают 1000 м эрозионного среза [Растворова, 1973].

Рисунок разрывных нарушений был выявлен к концу рассматриваемого периода достаточно схематично, без использования возможностей компьютерной картографии, тогда еще находившейся в зачаточном состоянии. Механизмы неотектонической активизации оставались неясными, а их хронология – дискуссионной. Большинству исследователей было очевидно, что активный неотектонический процесс должен сопровождаться интенсивными сейсмическими проявлениями, но достоверные сейсмодислокации в пределах Горного Алтая (в отличие от продолжающего его к югу Монгольского Алтая) известны не были. Кроме этого, низкая точность определения позиции эпицентров слабых землетрясений не позволяла провести верификацию выделяемых по геоморфологическим данным линий новейших разломов и проследить положение их плоскостей сместителей на глубину.

Таким образом, к середине 1990-х гг. в неотектонике Алтая сформировался следующий круг научных проблем [Новиков и др., 2004]: 1. **Проблемы морфотектоники**, включающие определение типа, механизма и источника неотектонических деформаций, рисунка новейших разломов, ориентации плоскостей их сместителей и характера движения по ним; 2. **Проблема хронологии** неотектонического процесса, включающая выяснение

количества основных стадий неотектонической активизации, их хронологических рамок и последовательности проявления в пределах Алтая; 3. **Проблема сейсмологии и сейсмогеологии**, проявленная в неравномерности текущей сейсмичности в разных частях Алтая и неопределенности пространственной связи инструментально фиксируемых землетрясений с конкретными неотектоническими структурами.

Ни по одному из этих взаимосвязанных вопросов к 1995 г. ясности достигнуто не было, и большинству исследователей было очевидно, что без привлечения новых идей и технологий она и не будет достигнута.

Научный прогресс в решении проблем неотектоники Алтая (1995–2009 гг.)

В течение последних 15 лет в решении основных проблем неотектоники Алтая достигнуты существенные результаты. Период стагнации в неотектонических исследованиях, наметившийся в 1980-е гг., сменился в крайне неблагоприятные для развития отечественной науки 1990-е гг. очевидным прогрессом, что лишний раз подтверждает тезис о наличии внутренней логики в развитии научных идей и далеко не однозначной связи этого развития с внешними условиями.

Морфотектоника

Настоящий прорыв в понимании неотектонической природы Алтая достигнут в рамках геологических исследований, базирующихся на представлениях тектоники плит. На новом уровне оказались востребованы идеи Э. Аргана [Argand, 1924] о ведущей роли Индо-Евразийской коллизии в новейшем тектогенезе Центральной Азии [Molnar, Tapponier, 1975]. Эта гипотеза явилась катализатором процесса изменения взглядов на морфотектонику всего Центрально-Азиатского региона. Потребовалось почти двадцать лет для того, чтобы она прочно утвердилась в отечественной геологии. Ее приложение к неотектонике Алтая оказалось весьма плодотворным.

По современным представлениям, неотектоническая активизация Центральной Азии, ведущую роль в которой имеет сжатие по оси субмеридионального простирания, привела к формированию в пределах мобильной зоны Большого Алтая области ярко выраженной блоковой делимости. В зависимости от характера ориентации в пространстве осей главных напряжений, возможны три основных кинематических разновидности разломов: сбросы и раздвижки; взбросы и надвижки; сдвиги. Две последние группы развиваются в ситуации горизонтального сжатия, первая – в

условиях растяжения. Поэтому преобладание среди кайнозойских разрывных структур Алтая взбросов и сдвигов со всей очевидностью свидетельствует о ситуации общего сжатия региона. Поскольку в процессе сжатия часто возникают локальные зоны растяжения, в пределах Алтая в подчиненном количестве развиты сбросы и раздвижки. Значительную роль они играют только в северо-восточной части Алтая, где оперяют поворачивающиеся к западу основные сдвиговые структуры. Наиболее крупной структурой растяжения является грабен Телецкого озера [Dehandschutter et al., 2002]. Особенностью сдвиговых зон Алтая является то, что транспрессионные структуры формируются не только в зонах изгибов магистральных разрывов, но и на значительном протяжении вдоль основных структур. При этом формируются симметрично или асимметрично выдавливающиеся по обе стороны от основного разлома тектонические пластины с выполаживанием в верхней части оперяющих разрывов [Новиков, 1995, 1996, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004; Новиков и др., 1998, 2004; Буслов и др., 1999]. Наличие системы субпараллельных правых сдвигов приводит к повороту отдельных блоков, расположенных между смежными разломами, против часовой стрелки, что фиксируется по палеомагнитным данным [Thomas et al., 2002].

Для изучения выраженной в макрорельефе Алтая блоковой делимости литосферы применены все основные из доступных на сегодня инструментов цифрового моделирования и дистанционного зондирования. В основу выделения основных блоков положен принцип, основанный на том, что для крупных неотектонических блоков литосферы, соответствующих горным хребтам, гидросеть должна иметь центробежное строение; для блоков, выраженных в рельефе в виде впадин, структура речной сети является центростремительной. Помимо впадин, блоки-хребты разделяются также магистральными долинами и поперечными к их простиранию сквозными долинами. Фиксированная геоморфологическими (и в меньшей степени геологическими) методами система активных разломов Алтая имеет плановый рисунок, отчетливо свидетельствующий о сдвиговом характере основных дислокаций. Неотектоническая блоковая структура Горного Алтая в основном совпадает с его орографической структурой, что и позволяет говорить о *морфотектоническом строении* Алтая как о частном случае *неотектонического строения*. В последние годы морфотектоническая модель Алтая была существенно уточнена с применением геоинформационных систем на базе цифровых моделей рельефа и цифровых космических снимков, сейсмологических материалов,

данных цифрового моделирования и магнитотеллурического зондирования [Новиков и др., 2008; Poliansky, 2008; Бабичев и др., 2009]. Основными источниками цифровых моделей рельефа, использованных при морфотектонических построениях, были открытые зарубежные источники проекта SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [Farr, Kobrick, 2000]. SRTM является результатом реализации международного проекта под эгидой Аэрокосмического агентства США (NASA), в ходе которого составляется цифровая модель земной поверхности на базе радарной интерферометрии. Данные работы позволили установить положение ряда плоскостей сместителей Алтайского региона. Было установлено, что большинство наиболее крупных новейших разломов территории представляют собой взбросо-сдвиги и сдвиги, плоскости сместителей которых падают под ограничиваемые ими хребты. Подобные модельные построения имеют прямой выход на практику, поскольку позволяют выявить участки структуры, где происходит концентрация напряжений, которые при разрядке способны вызвать катастрофические сейсмические события.

В последнее десятилетие в пределах Алтая развернуты работы по изучению относительных смещений неотектонических блоков методами высокоточной GPS-геодезии [Тимофеев и др., 1999, 2003, 2004; Гольдин и др., 2005], которые подтвердили выводы морфотектонических исследований о правосдвиговом характере смещений по основным магистральным разломам, протягивающимся вдоль всей его территории. Опубликованные данные носят предварительный характер. Относительная скорость смещения по конкретным разломам Горного Алтая составляет 0,2 до 4 мм/год, а на юге увеличивается до 5–10 мм/год [Тимофеев и др., 2006], что также согласуется с оценками по морфотектоническим данным [Новиков, 2004].

Хронология неотектонического процесса

Хронология новейших орогенных событий Центрально-Азиатского горного пояса была и остается до настоящего времени дискуссионным вопросом. Наиболее признанной моделью вовлечения данной территории в процессы новейшего орогенеза является «модель домино» [Добрецов и др., 1995], базирующаяся на допущении о том, что активизация линейных мобильных зон Центральной Азии под воздействием Индо-Евразийской коллизии происходила последовательно, и возраст новейших орогенов скачкообразно омолаживается в направлении на северо-восток по мере удаления от коллизионного фронта. Определение времени новейших орогенных событий сопряжено со значительными сложностями. В качестве

маркеров для их датирования наиболее эффективно используются кайнотипные базитовые породы [Ярмолюк, Коваленко, 2003]. На Алтае такие породы отсутствуют. Возраст начала главной фазы последнего орогенеза Алтая традиционно реконструируется также по времени появления грубообломочных моласс в предгорных шлейфах. Нижние их горизонты в регионе красноцветные. На основании того, что формирование красноцветов в Центральной Азии прекратилось после установления в плейстоцене холодного и сухого климата, этим осадкам приписывается поздненеогеновый возраст. Это, собственно говоря, все, что мы знали до последнего времени о времени начала основной фазы новейшей активизации Алтая. В таком подходе присутствует порочный круг, поскольку рост гор привязывается к похолоданию, которое само в данных широтах связано с оледенением в процессе роста гор [Molnar, England, 1990]. Детализация представлений о времени и последовательности событий кайнозойской активизации этой обширной внутриконтинентальной территории наиболее адекватно может быть выполнена путем изотопно-геохронологического исследования геологических образований, появление которых генетически связано с процессами новейшего орогенеза.

В последние годы удалось найти такие образования и выделить в их составе группы пород, перспективные для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и $\text{K}/^{40}\text{Ar}$ датирования [Новиков, Сокол, 2007, 2008; Новиков и др., 2009; Сокол и др., 2007; Novikov, Sokol, 2007; Sokol et al., 2007]. Этими объектами являются пирометаморфические комплексы, формирующиеся на ранних этапах отдельных фаз орогенных движений в пределах деформируемой периферии предгорных бассейнов. Они характерны для обрамления новейших горных сооружений по всему миру. В Центральной Азии они обнаружены в обрамлении гор Тянь-Шаня (Джунгарская, Ферганская и Иссык-Кульская впадины), на Памиро-Алае, в Кендерлыкской и Кузнецкой впадинах. В 2006 г. пирогенные комплексы были найдены также в межгорных впадинах Алтая [Новиков, Сокол, 2008].

Новый метод определения возраста новейших движений основан на том, что угольные пласты в первичном залегании не способны гореть из-за отсутствия притока кислорода. Поэтапное захватывание периферических частей углесодержащих впадин в поднятие в ходе роста горных сооружений является характерной особенностью всех новейших горных областей Центральной Азии. При этом осадки попадают в зону аэрации и оказываются выше уровня грунтовых вод; испытывают тектонические напряжения, сопровождаемые дроблением, истиранием и дегазацией углей; рассекаются эрозионными ложбинами. Эти факто-

ры создают предпосылки для горения угольных горизонтов и возникновения высокотемпературных пород. Высокотемпературные очаги горения возникают только как немедленный отклик системы на тектоническое событие. После экспозиции угольных пластов они либо возгораются, либо выветривание целиком уничтожает горючую массу угля за сотни и первые тысячи лет.

Пока получены значения возраста, фиксирующие этапы распространения фронта новейших деформаций от горных сооружений Салаира к Кузнецкой впадине. Более древнюю группу – $1,216 \pm 0,441$ млн лет назад ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$); $1,7 \pm 0,2$ млн лет назад и $1,8 \pm 0,2$ млн лет назад ($\text{K}/^{40}\text{Ar}$) – образуют даты, полученные для образцов из блока, ограниченного Тырганским надвигом и Афонинско-Киселевским взбросом. Вторую группу образуют изотопные возрасты горельников, сосредоточенных восточнее (в пределах блока между Афонинско-Киселевским и Киселевским взбросами). Они являются более молодыми: $0,193 \pm 0,262$ млн лет назад ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) и $0,48 \pm 0,11$ млн лет назад ($\text{K}/^{40}\text{Ar}$).

Таким образом, первые даты, полученные по предложенной методике в рамках разрабатываемой концепции, показали, что новейшая активизация на северной границе гор юга Сибири носила дискретный характер и началась не позднее рубежа неогена и четвертичного периода. Дискретность распределения дат позволяет выделить и более поздний этап усиления новейших движений в среднеплейстоценовое время.

Сейсмология и сейсмогеология

Еще недавно данные о положении эпицентров землетрясений, происходивших в Горном Алтае, и тем более о глубинах гипоцентров были столь неточны, что было возможно только приблизительное сопоставление наиболее крупных событий с конкретными разломными зонами [Жалковский и др., 1995], а о прослеживании по сейсмологическим данным тектонических нарушений на глубину оставалось только мечтать. Современные методики анализа сейсмической информации позволяют существенно уточнить позицию эпицентров, сопоставить их с конкретными структурами и выявить закономерности текущего сейсмического процесса. Сейсмические данные подтверждают активность новейших нарушений, выявленных по морфотектоническим данным, и позволяют установить основные сценарии их активизаций. Выявлено, что одновременно активизируются только отдельные разломы или их сегменты, а остальные структуры в это время относительно пассивны. Протяженность активизаций составляет до пяти лет [Еманов и др., 2005].

Уникальные данные были получены в результате организации Геофизической службой СО РАН Алтайского сейсмологического полигона. Благодаря удачно выбранному месту сейсмическая активизация, начавшаяся в 2003 г. на Горном Алтае с Чуйского землетрясения с $M_s = 7,3$, оказалась локализована в пределах полигона. Уже по истечению трех дней после первого толчка было проведено многократное сгущение сети за счет установки временных станций, что позволило увеличить точность определения положения эпицентров и гипоцентров афтершоков. В результате на плане вместо бесформенного облака, которое афтершоки образуют при менее точном определении их координат, они выстроились в линейные зоны; таким образом, стало возможным прямое сопоставление отдельных групп афтершоков не просто с зоной крупного разлома, но и с составляющими ее разрывами более мелкого порядка. Данные о положении эпицентров афтершоков, следовавших в первые дни после главного толчка, когда была сформирована система поверхностных разрывов вдоль южной периферии Чуйской впадины, не отличаются повышенной точностью. Поэтому основное внимание уделено анализу данных, полученных после развертывания сети дополнительных станций, когда процесс активизации переместился к северо-западу на южную периферию Курайской впадины [Еманов и др., 2005, 2006, 2009; Еманов, Лескова, 2006].

Были построены фокальные механизмы для достаточно представительной выборки из 172 афтершоков Чуйского землетрясения как сильных, так и малых ($K < 4$) энергий. В плейстосейстовой области Чуйского землетрясения проявились все основные типы очагов: сдвиги, взбросы, сбросы. Правый сдвиг, характерный для главного толчка и большинства афтершоков, проявляется в активизации по линии, параллельной зоне главного разлома – северного окончания Толбонурской сдвиговой зоны, с которой связана рассматриваемая сейсмическая активизация. Механизмы взбросового и сбросового типов для опережающих главную линию зон указывают на формирование классического сдвигового ансамбля с главной сдвиговой зоной, сочетающейся с взбросовыми и сбросовыми оперениями. Анализ диаграмм распределения параметров главных осей напряжений позволил выявить тенденцию в направлениях осей P и T для основной массы афтершоков, трассирующих линию правого сдвига. Основное направление сжатия почти строго соответствует линии «север–юг» [Лескова, Еманов, 2006]. Изучение временной последовательности афтершоков показало, что после главного толчка в течение пяти дней происходило прерывистое распространение

движения вдоль Толбонурской разломной зоны в направлении с юго-востока на северо-запад. После достижения стыка с Шавлинской взбросовой зоной распространение активизации в северо-западном направлении прекратилось, и она стала спорадически проявляться на всем протяжении активизированного окончания Толбонурской разломной зоны. В 2004–2005 гг. был зафиксирован ряд мелких событий, связанных с северным оперением окончания Толбонурской зоны, а также с Курайской взбросовой зоной.

При наличии плотной сети временных и постоянных сейсмических станций впервые для Горного Алтая оказалось возможным определить позицию гипоцентров с точностью до первых километров, а для значительной части событий – и до первых сотен метров. Для дальнейшего уточнения позиции афтершоков был использован метод сейсмической томографии с двойными разностями (DD-томография). Эта методика обработки объединяет возможности метода двойных разностей и сейсмической томографии. С помощью DD-томографии выполнены переопределения координат гипоцентров и построена скоростная модель зоны Чуйского землетрясения. При проецировании положения гипоцентров афтершоков, локализованных в районе юго-западного борта Курайской впадины, на плоскость, пересекающую его под прямым углом, был установлен наклон разломной зоны под Северо-Чуйский хребет под углом 70°; при этом в распределении в проекции позиций гипоцентров отчетливо выявилось две субпараллельных зоны с данным наклоном, отстоящие друг от друга примерно на 4 км и смещенные в сторону Курайской впадины относительно разломной границы Северо-Чуйского хребта и Курайской впадины [Еманов, Лескова, 2005, 2006].

Для всей зоны активизации установлен интересный факт: в данной структуре активизированным является не древний ярко выраженный разлом, проходящий по подножию гор, а параллельный, более молодой, отсекающий часть Курайско-Чуйской системы впадин. Вдоль него как фокальные механизмы очагов землетрясений, так и сейсмогенные поверхностные разрывы [Новиков, 2004] показывают правый сдвиг. Таким образом, получено новое независимое подтверждение давно установленной по морфотектоническим данным для Центральной Азии закономерности, что при взаимодействии горных хребтов и впадин в ходе продолжающегося сжатия в регионе происходит откалывание и вовлечение в поднятие периферических частей впадин. Наличие сжатия подтверждается также тем, что плоскость активизированного участка Толбонурского разлома, несмотря на его отчетливую сдвиговую природу,

имеет не вертикальное падение, более характерное для сдвигов, а падает под систему хребтов под крутым углом.

Большой прогресс достигнут в 1990-е гг. при изучении следов древних землетрясений. Были изучены большинство известных сейсмогравитационных структур юго-восточного Алтая, впервые выделены системы древних разрывных сейсмодислокаций и получены радиоуглеродные даты времени их возникновения. Это позволило установить повторяемость крупных сейсмических событий в пределах данной территории [Рогожин и др., 1995, 1996, 1998, 1999].

Особенно интересные данные были получены в результате изучения следов Чуйского землетрясения Алтая 2003 г. [Гольдин и др., 2004]. Это достаточно типичное для Центральной Азии по силе и характеру геологических проявлений сильное землетрясение. Подобные сейсмические события на протяжении последних 100 лет неоднократно отмечались в прилегающих частях Монгольского Алтая [Молнар и др., 1995]. Повторяемость таких событий в пределах тех районов Горного Алтая, которые имеют высокий сейсмический потенциал, по имеющимся на сегодня данным оценивается в 1–2 тыс. лет [Рогожин, Платонова, 2002]. Это первое событие такой силы в регионе за исторический период, и, если данные о повторяемости верны, следующего придется ждать очень долго.

Поверхностные эффекты этого сильного землетрясения изучены довольно подробно [Новиков и др., 2004; Агатова и др., 2004; Высоцкий и др., 2004, 2006; Лунина и др., 2005, 2006; Lunina et al., 2008]. Протяженность зоны разрывов составила около 48 км, что является характерной величиной для землетрясений такой интенсивности в Центральной Азии [Солоненко, 1973]. Смещение носило правосдвиговой характер; горизонтальная составляющая в центре зоны разрывов достигает 5 м, вертикальная составляющая практически не проявлена. Таким образом, сейсмогеологические наблюдения также показывают, что горизонтальное сжатие в пределах Алтая реализуется преимущественно в форме правых сдвигов. Существуют и альтернативные оценки протяженности зоны разрывов, составляющие до 60 км [Рогожин и др., 2004]. Такое увеличение длины связано с включением в зону сейсмогенных разрывов трещин с амплитудами менее 10 см.

Заключение

Проведенные в последние 15 лет морфотектонические, геохронологические, сейсмологические и сейсмогеологические исследования позволили существенно детализировать и уточнить сформирова-

ровавшиеся к 1995 г. представления о неотектонической структуре Алтая, характеру движения по разломам, основным временным рубежам неотектонической активизации. В целом это была детализация уже существовавших представлений. По-настоящему новым взглядом стало рассмотрение системы новейших разрывных нарушений в рамках модели горизонтального сжатия с формированием характерного для правосдвиговых зон структурного рисунка, что позволило перейти к математическому моделированию процессов хрупкого разрушения литосферы региона. Однако новые данные не потребовали коренного пересмотра взглядов на геологическую историю, а напротив, подтвердили ее принципиальную правильность. В то же время в указанный период в печати был опубликован ряд работ, которые никак не укладываются в имеющуюся систему представлений, и о которых следует упомянуть.

Согласно современным представлениям, Алтай возник на месте позднемеловой–раннепалеогеновой предельной равнины (пенеплена) в период тектонического покоя, и затем подвергся активизации под воздействием Индо-Евразийской коллизии, находясь на северной периферии области деформаций. Судя по наличию ряда фрагментов пенеплена на вершинах хребтов, удаленный с него слой не превысил 100 м. Однако имеется серия публикаций, где эта величина по данным трекового датирования апатитов оценивается более чем в 1000 м [Буслов и др., 2008; De Grave et al., 2007, 2008]. Если эти данные верны, то представления о выровненных водораздельных пространствах Алтая как о пенепленах в понимании В.М. Девиса являются ошибочными; по их смещениям нельзя измерять вертикальные амплитуды новейших деформаций, и современный рельеф региона следу-

ет рассматривать с позиций концепции В. Пенка как результат медленного поднятия с непрерывной денудаций поверхности. Однако в этом случае необходимо каким-то образом объяснить отсутствие мощных коррелятивных терригенных толщ в осадочных бассейнах обрамления Алтая.

Вторым опубликованным фактом, не укладывающимся в существующую систему научных представлений, является обнаружение «верхнемеловых морских осадков» на периферии Чуйской впадины на юге Алтая [Зыкин и др., 1999]. Поскольку авторы данного открытия за истекшее десятилетие ничего не опубликовали в развитие этой темы в рецензируемых изданиях (была лишь небольшая заметка в материалах совещания – [Зыкин, 2004]), ясности в данном вопросе пока нет. Если данные В.С. Зыкина с соавторами [Зыкин и др., 1999] верны, то существующие представления о позднемеловом–раннепалеогеновом времени как о периоде тектонического покоя и корообразования в Центральной Азии ошибочны, поскольку отложения, отнесенные авторами к верхнему мелу, имеют субвертикальное залегание и перекрываются субгоризонтальными олигоценовыми осадками [Новиков, 2004], сформированными на фоне начала размыва в ходе дифференциации рельефа в связи с началом неотектонической активизации. Пока это единственное сообщение об интенсивных тектонических деформациях раннепалеогенового возраста в Центральной Азии, и достаточно сложно представить как то, что этот этап был пропущен при предшествующих исследованиях во всем огромном регионе, так и то, что он проявился точно внутри зоны тектонического покоя.

Работа осуществлена при поддержке РФФИ (№ 09-05-00610а).

Литература

- Агатова А.Р., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Гибшер А.С. Геоморфологические эффекты землетрясений 27 сентября и 1 октября 2003 года в Горном Алтае // Геоморфология. 2004. № 3. С. 3–12.
- Бабичев А.В., Новиков И.С., Полянский О.П., Коробейников С.Н. Компьютерное моделирование деформирования земной коры Горного Алтая в кайнозой // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 2. С. 137–151.
- Богачкин Б.М. История тектонического развития Горного Алтая в кайнозой. М.: Наука, 1981. 132 с.
- Буслов М.М., Зыкин В.С., Новиков И.С., Дельво Д. Структурные и геодинамические особенности формирования Чуйской межгорной впадины в кайнозой // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 12. С. 1720–1736.
- Буслов М.М., Кох Д.А., де Граве И. Мезозойско-кайнозойская тектоника и геодинамика Алтая, Тянь-Шаня и Северного Казахстана по результатам трекового датирования апатитов // Геология и геофизика. 2008. Т.49. № 9. С. 862–870.
- Высоцкий Е.М., Новиков И.С., Агатова А.Р. Когда рушится земная твердь // Наука из первых рук. 2006. № 3(9). С. 44–57.
- Высоцкий Е.М., Новиков И.С., Агатова А.Р., Гибшер А.С. Плейстоценовая область и тектоническая позиция очага Чуйского землетрясения 2003 года // Доклады РАН. 2004. Т.395. № 4. С. 499–502.
- Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А. Чуйское землетрясение и его афтершоки // Доклады РАН. 2004. Т.395. № 4. С. 534–536.

- Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Гибшер А.С., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р., Дядьков П.Г., Фатеев А.В., Кашун В.Н., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А. Чуйское (Алтайское) землетрясение 2003 года: материалы сейсмологического изучения // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 года. Материалы предварительного изучения. М.: ИФЗ РАН, 2004. С. 55–60.
- Гольдин С.В., Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. Поля смещений земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай // Доклады РАН. 2005. Т. 405. № 6. С. 804–809.
- Гране И.Г. О ледниковом периоде в Русском Алтае // Известия Западно-Сибирского отдела Императорского Русского географического общества. 1915. Т. 3. Вып. 1–2. С. 1–59.
- Гране И.Г. О значении ледникового периода для морфологии северо-восточного Алтая // Записки Западно-Сибирского отдела Императорского Русского географического общества. 1916. Т. 38. 22 с.
- Девис В.М. Геоморфологические очерки. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. 544 с.
- Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. М.: Наука, 1965. 244 с.
- Девяткин Е.В. Кайнозой Внутренней Азии. М.: Наука, 1981. 196 с.
- Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д. Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением фундамента и развитием неотектонической структуры // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 5–19.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Физическая мезомеханика. 2005. Т. 8. № 1. С. 49–64.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Рудаков А.Д. Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. 2006. Т. 9. № 1. С. 33–43.
- Еманов А.А., Лескова Е.В. Структурные особенности афтершокового процесса Чуйского (Горный Алтай) землетрясения // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 10. С. 1065–1072.
- Еманов А.А., Лескова Е.В. Строение эпицентральной зоны Чуйского (Горный Алтай) землетрясения по данным метода сейсмической томографии с двойными разностями // Физическая мезомеханика. 2006. Т. 9. № 1. С. 45–50.
- Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В. Элементы структуры и фазы развития афтершокового процесса Чуйского землетрясения // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 1. С. 29–36.
- Ерофеев В.С. Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене. Алма-Ата: Изд-во АН Казахской ССР, 1969. 167 с.
- Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 20–30.
- Зыкин В.С. Морской мел Горного Алтая, его структурное и стратиграфическое положение, значение для геодинамических реконструкций // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Т. 1. Иркутск: Институт географии СО РАН, 2004. С. 134–137.
- Зыкин В.С., Лебедева Н.К., Буслов М.М., Маринов В.А. Открытие морского верхнего мела на Горном Алтае // Доклады РАН. 1999. Т. 366. № 5. С. 669–671.
- Лескова Е.В., Еманов А.А. Характер деформаций в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г., $K = 17$, Горный Алтай) по данным анализа фокальных механизмов афтершоков // Физическая мезомеханика. 2006. Т. 9. № 1. С. 51–55.
- Лунина О.В., Гладков А.С., Новиков И.С., Агатова А.Р. Тектонофизический анализ зоны разрывных деформаций Чуйского землетрясения 27.09.2003 г. // Доклады РАН. 2005. Т. 401. № 1. С. 58–61.
- Лунина О.В., Гладков А.С., Новиков И.С., Агатова А.Р., Высоцкий Е.М., Еманов А.А. Сейсмогенные деформации и поля напряжений в разломной зоне Чуйского землетрясения 2003 г., $M_s = 7.5$ (Горный Алтай) // Геотектоника. 2006. № 3. С. 52–69.
- Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов Б.А., Ващилов Ю.Я. Деформации и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона. Новосибирск: Наука, 1995. С. 5–55.
- Нехорошев В.П. Тектоника и рельеф Русского Алтая // Геологический вестник. 1926. Т. 5. № 1–3. С. 23–31.
- Нехорошев В.П. Тектоника Алтая. М.: Недра, 1966. 306 с.
- Новиков И.С. Геоморфологические эффекты внутриконтинентальной коллизии на примере Горного Алтая // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 11. С. 52–60.
- Новиков И.С. Роль тектоники в эволюции рельефа Горного Алтая // Геоморфология. 1998. № 1. С. 82–91.
- Новиков И.С. Геоморфология и морфотектоника зоны перехода от Горного Алтая к Зайсанской впадине // Геоморфология. 2000. № 1. С. 68–76.
- Новиков И.С. Кайнозойская сдвиговая структура Алтая // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 9. С. 1377–1388.
- Новиков И.С. Позднепалеозойская, среднемезозойская и позднекайнозойская эпохи орогенеза Алтая // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 5. С. 434–445.
- Новиков И.С. Морфотектоника Алтая // Геоморфология. 2003. № 3. С. 10–25.
- Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 313 с.
- Новиков И.С., Агатова А.Р., Дельво Д. Новейшая тектоника Курайского хребта (Горный Алтай) // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 7. С. 965–972.
- Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р. Геолого-геоморфологические свидетельства позднекайнозойских обстановок сжатия, сдвига и растяжения в пределах Горного Алтая // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 11. С. 1303–1312.
- Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р., Гибшер А.С. Сильные землетрясения 2003 года в Горном Алтае

- и сейсмогеология Большого Алтая // Природа. 2004. № 3. С. 19–26.
- Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 11. С.1139–1149.
- Новиков И.С., Мистрюков А.А., Трефуа Ф. Геоморфологическое строение района Чуйской межгорной впадины (Горный Алтай) // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 64–74.
- Новиков И.С., Парначев С.В. Морфотектоника и эффекты функционирования позднечетвертичных палеозер в долинах и межгорных впадинах Юго-Восточного Алтая // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 2. С. 227–238.
- Новиков И.С., Сокол Э.В. Новый подход к определению главных хронологических рубежей неотектонической активизации Центрально-Азиатского горного пояса // Фундаментальные проблемы геотектоники. Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли. Т. 2. М.: Изд-во ГЕОС, 2007. С. 56–59.
- Новиков И.С., Сокол Э.В. Геохронометрия кайнозойского горообразования в Алтае-Саянской области по пирометаморфическим комплексам: геологическое обоснование // Геоморфология. 2009. № 3. С. 77–93.
- Новиков И.С., Сокол Э.В., Травин А.В., Новикова С.А. Пирометаморфические индикаторы кайнозойских орогенных движений: минералогические и геохронологические аспекты на примере зоны перехода от Салаира к Кузбассу // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 6. С. 503–526.
- Новиков И.С., Чичагов В.П., Девяткин Е.В., Деев Е.В., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р. Нерешенные и дискуссионные вопросы геоморфологии, палеогеографии, геологии мезозоя и кайнозоя гор юга Сибири // Геоморфология. 2004. № 3. С. 23–28.
- Обручев В.А. Алтайские этюды (этюд первый). Заметки о следах древнего оледенения в Русском Алтае // Землеведение. 1914. № 4. С. 50–97.
- Обручев В.А. Алтайские этюды (этюд второй). О тектонике Русского Алтая // Землеведение. 1915. № 3. С. 1–71.
- Пенк В. Морфологический анализ. М.: Географгиз, 1962. 359 с.
- Растворова В.А. Величина денудационного среза Алтая за неотектонический этап // Геоморфология. 1973. № 3. С. 93–101.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Иогансон Л.И., Рейснер Г.И., Баясгалан А., Кочетков В.М., Курушин Р.А. Опыт выделения и прослеживания сейсмогенерирующих зон методами геолого-тектонического анализа на территории Западной Монголии и Зайсано-Алтайской складчатой области // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. 1995. № 2–3. С.132–152.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Платонова С.Г., Чичагов В.П., Чичагова О.А. Неизвестные землетрясения Горного Алтая // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. Т. 3. № 1–2. М.: ОИФЗ РАН, 1996. С. 96–106.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Платонова С.Г., Чичагов В.П., Чичагова О.А. Новые данные о древних сильных землетрясениях Горного Алтая // Физика Земли. 1998. № 3. С. 75–81.
- Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Платонова С.Г., Чичагов В.П., Чичагова О.А. Следы сильных землетрясений прошлого в рельефе Горного Алтая // Геоморфология. 1999. № 1. С. 82–102.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Бурканов Е.Е., Платонова С.Г. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения 2003г. // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 года. Материалы предварительного изучения. М.: ИФЗ РАН, 2004. С. 25–37.
- Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. М.: ОИФЗ РАН, 2002. 130 с.
- Розенберг Л.И. Палеоген–неогеновые денудационные процессы и рельеф Горного Алтая // Геоморфология. 1977. № 1. С. 77–81.
- Розенберг Л.И. О времени образования горного рельефа Алтая // Геоморфология. 1978. № 1. С. 75–83.
- Сокол Э.В., Новиков И.С., Травин А.В., Новикова С.А. Возраст главной фазы новейших орогенных событий в северной части Центрально-Азиатского горного пояса: реконструкция по пирометаморфическим индикаторам на примере Салаира и Кузнецкой впадины // Фундаментальные проблемы геотектоники. Области активного тектогенеза в современной и древней истории земли. Т. 2. М.: Изд-во ГЕОС, 2007. С. 219–222.
- Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Известия АН СССР. Сер. Физика Земли. 1973. № 9. С. 3–16.
- Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Дучков А.Д., Запreeва Е.А., Кале Э. Космогеодезические исследования современной геодинамики западной части Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 11. С. 1208–1215.
- Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Кале Э., Дучков А.Д., Запreeва Е.А., Казанцев С.А., Русбек Ф., Брюникс К. Поля и модели смещений земной поверхности Горного Алтая // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 8. С. 923–937.
- Тимофеев В.Ю., Арнаутов Г.П., Калиш Е.П., Стусь Ю.Ф., Дюкарм Б., Сарычева Ю.К., Анисимова Л.В., Смирнов М.Г. Особенности современных движений земной коры юга Сибири // Доклады РАН. 1999. Т. 369. № 4. С. 537–541.
- Тимофеев В.Ю., Дучков А.Д., Запreeва Е.А., Ардюков Д.Г. Поле скоростей современных движений земной коры Горного Алтая перед сильным землетрясением (M=7,3) // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Вып. 1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2004. С. 145–152.
- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11. № 6. С. 556–586.
- Argand E. La tectonique de l'Asie // Congr. Géol. Int. 13ème. Sess. Belg., 1-re Fasc. 1924. P. 171–372.

- De Grave J., Buslov M.M., van den Haute P., Dehandschutter B., Delvaux D.* Meso-Cenozoic evolution of mountain range – intramontane basin systems in the Southern Siberian Altai Mountains by apatite fission-track thermochronology // Thrust Belts and Foreland Basins: From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2007. P. 457–490.
- De Grave J., van den Haute P., Buslov M.M., Dehandschutter B., Glorie S.* Apatite fission-track thermochronology applied to the Chulyshman Plateau, Siberian Altai Region // Radiation Measurements. 2008. V. 43. P. 38–42.
- Dehandschutter B., Vysotsky E., Delvaux D., Klerkx J., Buslov M.M., Seleznev V.S., de Batist M.* Structural evolution of the Teletsk Graben (Russian Altai) // Tectonophysics. 2002. V. 351. P. 139–167.
- Farr T.G., Kobrick M.* Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data // EOS. Transactions, American Geophysical Union. 2000. Vol. 81. P. 583–585.
- Granö I.G.* Beiträge zur Kenntniss der Eiszeit in der Nordwestlichen Monogolei und einigen ihrer sudsibirischen Grenzgebiete // Fennia. 1910. Vol. 28. № 5. 230 s.
- Granö I.G.* Les formes du relief dans l'Altai Russe et leur genèse. Etude morphologique // Fennia. 1917. Vol. 40. № 2. 125 s.
- Lunina O.V., Gladkov A.S., Novikov I.S., Agatova A.R., Vysotsky E.M., Emanov A.A.* Geometry of the fault zone of the 2003 $M_s = 7.5$ Chuya earthquake and associated stress fields, Gornyy Altai // Tectonophysics. 2008. V. 453. P. 276–294.
- Molnar P., England P.* Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climatic changes: Chicken or egg? // Nature. 1990. V. 346. P. 29–34.
- Molnar P., Tapponier P.* Cenozoic tectonics of Asia: Effects of continental collision // Science. 1975. Vol. 189. P. 419–426.
- Novikov I.S., Sokol E.V.* Combustion metamorphic events as age markers of orogenic movements in Central Asia // Acta Petrologica Sinica. 2007. V.23. № 7. P. 1561–1572.
- Polaynsky O.P., Babichev A.V., Novikov I.S., Korobeynikov S.N.* Numerical modeling of Cenozoic active deformation in the Gornyy Altai region (South Siberia) // Bollettino di Geofisica. 2008. Vol. 49. № 2. P. 271–274.
- Sokol E.V., Novikov I.S., Travin A.V.* The first $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data of modern orogenic events in the north of Altai-Sayan area, Russia // International Workshop on Central Asian Metallogeny and Orogenesis. Collection of Abstracts. Urumqi, China, 2007. P. 121.
- Thomas J.C., Lanza R., Kazansky A., Zykin V., Semakov N., Mitrokhin D., Delvaux D.* Paleomagnetic study of Cenozoic sediments from the Zaisan Basin (SE Kazakhstan) and the Chuya Depression (Siberian Altai): Tectonic implications for Central Asia // Tectonophysics. 2002. V. 351. P. 119–137.