

## Предисловие

В 2009 году в Москве в Институте физики Земли РАН была проведена «Первая молодежная тектонофизическая школа-семинар», на которой было представлено более сорока докладов молодых участников и двенадцать докладов-лекций крупных российских ученых, лидеров в своих направлениях наук о Земле. В отличие от проведенной ИФЗ РАН в 2008 году Всероссийской конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН» результаты работы молодежной школы-семинара не были освещены в научной печати. Поэтому в настоящем предисловии мы кратко ее представим, дав при этом некоторые научные комментарии и объявив темы докладов лекций новой школы-семинара.

Первая школа-семинар 2009 г прошла очень успешно. За редким исключением состоялись практически все заявленные доклады как молодых, так и уже широко известных ученых-лекторов.

Замечательный доклад по проблемам разведки углеводородных залежей Западной Сибири был сделан д.физ.-мат.н. Г.Н. Гогоненковым. В нем было представлены уникальные результаты по изучению трехмерных структур осадочных бассейнов с использованием технологии 3D-сейсмики. Центральная геофизическая экспедиция, одним из руководителей которой является Г.Н. Гогоненков, для изучения возможных механизмов формирования этих структур создала и финансировала специальный научный проект. К работе в этом проекте были привлечены крупнейшие геомеханики и тектонофизики России. Подобное сотрудничество научно-производственных структур и фундаментальной, академической науки следует только приветствовать, т.к. новые уникальные данные о глубинном строении горных массивов в районах месторождений дают мощный импульс научным исследованиям. Здесь важно, чтобы результаты этих исследований были восприняты даже тогда, когда они не соответствуют устоявшимся в производственной практике представлениям.

Как всегда блестящий доклад был сделан главным научным сотрудником Геологического института (ГИН) РАН, д.физ.-мат.н. Б.Г. Поляком по проблемам мантийного гелия. Эта проблема смыкается с проблемой транспорта из мантии внутренней энергии в виде тепла и, возможно, водорода или другого флюида. В работах Б.Г. Поляка показано, что периоды времени, отвечающие поступлениям в атмосферу мантийного гелия, соответствуют этапам тектонической активизации, что соответствует представлениям о мощном привносе в литосферу мантийного тепла, поступающего вместе с аномально разогретой мантией. Еще один доклад от ГИН РАН был сделан главным научным сотрудником этого института, д.геол.-мин.н. В.Г. Трифоновым по проблемам горообразования. Были представлены результаты исследования скоростей поднятий и периодов активизации горообразования для орогенов Альпийско-Гималайского пояса. В докладе было показано, что результаты геолого-геоморфологических методов дают 2-3х кратный прирост увеличения высот в последние 2 млн. лет. В этом году на школе-семинаре В.Г. Трифонов сделает доклад на тему «Астеносферные потоки как источник перемещения и деформации литосферы».

Важным для молодых ученых являлся обзорный доклад доцента С.-Петербургского государственного университета, к.геол.-мин.н. В.Н. Войтенко. Он представил мировой уровень развития современных методов структурной геологии и, в частности, методов стрейн-анализа. Специалистов подобного уровня в России в этой области сейчас практически нет и данный доклад, иллюстрированный богатым геологическим материалом Тянь-Шаня, явился хорошим учебным курсом молодым ученым. Методы структурно-тектонофизического анализа разрывов разного ранга в работе школы-семинара этого года в будущем представлены в докладах старшего научного сотрудника МГУ, к.геол.-мин.н. Л.М. Расцветаева «Сдвиговые парагенезы в ансамблях коллизионных структур» и зав. лаб. экологических проблем нефтегазового комплекса Института проблем нефти РАН, к.геол.-мин.н. А.И. Никонова «Тектонофизические аспекты структурного дешифрирования линеаментных систем».

В работе школы-семинара 2009 г был заявлен доклад профессора МГУ, д.физ.-мат.н. В.Ю. Траскина «Механические свойства, реология горных пород и влияния на них эффекта Ребиндера», который не состоялся из-за болезни докладчика. В рамках второй школы-семинара 2011 г В.Ю. Траскина сделает доклад на тему «Физико-химическое влияние поверхностно-активных флюидов на прочность и реологические свойства горных пород». В своих работах В.Ю. Траскин, продолжая работы П.А. Ребиндера, Е.Д. Щукина, Н.В. Перцева и др., исследует физико-химические процессы микроуровня, определяющие особенности деформирования образцов при взаимодействии пленочной жидкой фазы и

кристаллов, которые и формируют реологические свойства материалов. В общих словах в геомеханике и тектонофизике это явление именуется эффектом Ребиндера, под которым понимается *любое изменение механических свойств твердых тел самого разнообразного состава (в том числе минералов и горных пород) в результате их обратимого физико-химического взаимодействия со средой, приводящего к понижению их поверхностной энергии в процессе деформации или разрушения*. Поскольку разломы являются именно теми объектами, в которых выполняются практически все условия экспериментов П.А. Ребиндера, то данное направление следует рассматривать как одно из наиболее актуальных в тектонофизике.

Сибирская школа геомехаников в 2009 г была представлена докладом молодого, но очень динамично развивающегося ученого из Томского Института физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН, д.физ.-мат.н. Ю.П. Стефанова. В докладе была представлена современная теория геомеханики упруго-пластических сред, лежащая в основе создаваемых сегодня численных методов расчета деформируемого твердого тела. Эта теория, реализованная в компьютерных программах, в сочетании с мощным счетными процессорами позволяет изучать закритические деформации материалов в условиях близких к физическому эксперименту. Сегодня, благодаря работам томской школы геомехаников в численных моделях возможно получение структур деформационной локализации (полосы Людерса - Чернова), а также эшелоны трещин (сколы Риделя) в условиях начального однородного нагружения, что совсем недавно являлось прерогативой только физического эксперимента. В этом году данное научное направление в работе нашей школы представит профессор Томского государственного университета, зав.лаб. механика структурно-неоднородных сред ИФПМ СО РАН, д.физ.-мат.н. П.В. Макаров в докладе «Явление самоорганизованной критичности в эволюции НДС».

Еще одними гостями ИФЗ, приехавшими на школу-семинар из Сибири, являлись лидеры иркутских тектонофизиков академик РАЕН, профессор Иркутского Политехнического Института, д.геол.-мин.н. С.И. Шерман и зав. лаб. тектонофизики ИЗК СО РАН, д.геол.-мин.н. К.Ж. Семинский. В их докладах были представлены результаты исследований особенностей развития внутренней разрывной структуры крупных разломных зон, а также процессов активизации систем разломов, выражающихся в последовательности сейсмических событий. Эти работы, являющиеся «визитной карточкой» иркутских тектонофизиков, начаты в шестидесятых годах прошлого века работами самого С.И. Шермана и в определенном смысле практически полностью охватили возможности анализа трещинной структуры разрывов на мегаскопическом уровне без привлечения к исследованиям изменчивости их структурно-вещественного состава, так как это делается, например, в работах Б.М. Чикова, к чему призывал В.В. Белоусов и на что было особое внимание обращено на тектонофизической конференции 2008 г, прошедшей в ИФЗ РАН (доклад Ю.Л. Ребецкого).

Сопоставляя с одной стороны, отмеченные выше работы П.А. Ребиндера, Ю.В. Траскина и др., а с другой работы по изучению структуры разломных зон, заметим, что сегодня после работ томских физиков, учеников академика В.Е. Панина совершенно ясно, что упрощенные представления дислокационной теории пластичности, которые лежат в основе наших взглядов на процесс трещинного течения горных пород (см. монографию Ю.Л. Ребецкого, 2007), не в состоянии объяснить наблюдаемой в эксперименте сложной, динамически изменяемой микро- и нано-структуры материалов на закритической стадии деформирования. В этих исследованиях выделено несколько периодов закритического поведения материалов со свойственной каждой из таких периодов своей особенностью формирования необратимых деформаций. Реакция вещества на нагружение изменяется от пространственно стабильных полос локализации, до медленных волн деформаций и стоячих автоволн. Установлена важная роль градиентов напряжений на закритической стадии деформирования, а также роль фазовых твердотельных превращений. Без привлечения вещества и изучения его состояния в зонах разломов мы не сможем решить проблему прогноза их поведения. При этом результаты томских мезомехаников в тектонофизике следует воспринимать в двух масштабных уровнях. С одной стороны, процессы структурно-вещественных преобразований, происходящие на микроуровне на закритической стадии деформирования, также определяют поведение и локальное состояние малых участков разломов. С другой, выделенные в ходе исследований особенности протекания деформаций на мезо- и нано-структурном уровне могут иметь аналоги на мега-уровне в масштабах сотен метров и даже сотен километров. Последний случай не следует воспринимать примитивно, с позиции теории подобия, заслуженно применяемой при тектонофизическом моделировании. Здесь речь идет не о подобии, а об

аналогии, в которой конечно же не все элементы структуры, играющие важнейшую роль в микромире, будут иметь аналоги на мега-уровне.

В докладе профессора Московского государственного горного университета, зав. лаб. современной геодинамики ИФЗ РАН, д.физ.-мат.н. Ю.О. Кузьмина рассматривались ключевые проблемы современной геодезии, где с одной стороны ряды долговременных наземных геодезических измерений достаточно часто показывают колебательный характер современных движений на временах 30-50 лет, что соответствует геологическим наблюдениям (В.В. Белоусов, 1976 и др.) на значительно больших временах в тысячи и десятки тысяч лет. Эти наблюдения объясняют парадокс больших и малых скоростей в современной геодинамике, о которых ранее писал В.В. Белоусов. Большие скорости современных движений земной коры при унаследованном характере движений от прошлых геологических эпох должны были бы сформировать горы и впадины в несколько километров высотой (глубиной), чего фактически не наблюдается и связано это именно с колебательным характером движений земной коры (Буланже, Магницкий, 1974). С другой стороны, в зонах разломов зафиксированы колебательные смещения в виде дельта-функций, которые явно связаны с процессами в теле самого разлома, определены Ю.О. Кузьминым, как супер-интенсивные движения. В этом году на школе-семинаре Ю.О. Кузьмин сделает доклад на тему «Тектонофизические проблемы современной геодинамики».

Кроме отмеченных выше докладов несколько докладов сделали организаторы школы-семинара 2009 г сотрудники лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН зав. лаб., д.физ.-мат.н. Ю.Л. Ребецкий, д.геол.-мин.н. Л.А. Сим и к.геол.-мин.н. Ф.Л. Яковлев. В докладах Ю.Л. Ребецкого и Л.А. Сим были представлены базисные положения геомеханики и тектонофизики о закономерностях хрупкого разрушения и пластического течения горных пород, которые следует использовать для анализа природного напряженного состояния. Были детально разобраны методики полевой тектонофизики для реконструкции палеонапряжений по геологическим индикаторам, а также показаны основные результаты реконструкции современных напряжений по сейсмологическим данным о механизмах очагов землетрясений. В своем докладе Ф.Л. Яковлев, используя натурные наблюдения и комплекс тектонофизических кинематических методов анализа морфологии разномасштабных структур Большого Кавказа, показал возможности определения величины деформаций и сбалансированного восстановления их геометрии, а также выявления их генезиса путем сравнения природных и экспериментальных объектов. Ф.Л. Яковлев решает обратную задачу тектонофизики по определению механизмов деформирования крупных геологических объектов, опираясь на большие деформации складчатых комплексов. Известно, что подобного рода проблемы имеют неединственное решение. С целью обеспечения корректности анализа Ф.Л. Яковлев делает ряд предположений: о генезисе складчатых комплексов, связанном с горизонтальным сокращением совместно с фундаментом; об отсутствии деформации вдоль простирания структур Большого Кавказа. В этом году направления полевых тектонофизических исследований будет представлено в докладах Л.А. Сим «Применение полевых методов реконструкции тектонических напряжений по данным о разрывах для решения теоретических и практических задач» и зам. дир. ИГЕМ РАН, д.геол.-мин.н. В.А. Петрова «Тектонофизические и структурно-петрофизические индикаторы процессов миграции флюидов в разломных зонах и методы их изучения». Ю.Л. Ребецкий в этом году также как и два года назад представит доклады, посвященные методическим проблемам изучения тектонических напряжений и роли гравитационного напряженного состояния в современной геодинамике.

Завершая наш обзор лекций на школе-семинаре 2009 г, отметим, что на школе-семинаре 2011 г запланированы два доклада, в которых будут обсуждаться проблемы тектонического течения гонных пород. Эти доклады сделают профессор МГУ, д.геол.мин.н. М.А. Гончаров и крупный российский ученый, который в конце двадцатого века руководил проведением конференций по структурной геологии и тектонофизическому моделированию, д.геол.мин.н. А.В. Лукьянов.

В завершающий день школы-семинара состоялось обсуждение перспектив проведения подобных мероприятий. Все выступающие – как молодые участники, так и лекторы высказались за продолжение их проведения при сохранении именно выбранной формы: проведение докладов, как молодых ученых, так и лекций по разным направлениям наук о Земле. В процессе обсуждения были высказаны пожелания и критические замечания в адрес организаторов. Так, С.И. Шерман пожелал отмечать в докладах-лекциях не только достижения в представляемом направлении самого автора лекции, но и давать обзор работ

предшественников, показывать общее состояние данного направления. Было также высказано пожелание сместить дату проведения школы-семинара на октябрь, т.к. многие молодые ученые в сентябре находятся в полевых отрядах. Предложено проводить такие тектонофизические школы-семинары раз в два года.

---

### **Заметка о сотруднике лаб. тектонофизики ИФЗ РАН, д.физ.-мат.н. А.С. Григорьеве**

В рамках проводимой нами тектонофизической школы-семинара мы хотели бы особое внимание уделить современным методам математического моделирования деформационных процессов. В лаборатории тектонофизики м. М.В. Гзовского ИФЗ РАН использование методов математического моделирования для решения тектонофизических задач восходит к работам крупного советского механика Адриана Сергеевича Григорьева, который пришел в нее во второй половине 60-х годов и проработал в ней до своей смерти (1991 г). До этого А.С. Григорьев долгие годы работал в институте механики. Перейти в институт физики Земли в лабораторию тектонофизики его уговорил сам М.В. Гзовский, который жил с ним в одном доме на улице Вавилова. В этом году А.С. Григорьеву исполнилось бы 100 лет и мы хотим отметить его память в настоящем сборнике маленькой заметкой о его научных работах.

В лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН под руководством А.С. Григорьева была сформирована теоретическая группа по изучению напряженно-деформированного состояния тектонических объектов земной коры, в которую в разные годы входили: к.техн.н. Зинаида Евгеньевна Шахмурадова, Валерий Петрович Ионкин, к.техн.н. Юрий Леонидович Ребецкий (в лаб. с 1981 года) и Ирина Моисеевна Волович (в лаб. с 1983 года). Исследования этой группы включали три цикла.

**Первый цикл задач:** решение классическими методами механики сплошной среды ряда задач о напряжениях и деформациях земной коры при различных механизмах деформирования (для простейших геометрических и физических моделей геосреды). Были решены задачи: об образовании надвига, об изгибе осадочного чехла при вертикальных движениях блока фундамента, о деформировании литосферы над конвекционными потоками, об образовании складок продольного изгиба большой мощности и амплитуды.

**Второй цикл задач:** разработка решений для усложненных физических моделей геосреды, приближающей ее к условиям в тектоносфере. Прежде всего, это задачи о напряжениях и деформациях в литосфере с учетом изменения с глубиной ее вязкости (при изменениях состава слоев, температуры и гравитации). В этом направлении было поставлено и решено несколько задач механики при воздействии на рассматриваемое твердое тело активных физических полей. К этому же направлению можно отнести работы, где деформации и смещения в процессе нагружения уже не могут считаться малыми. Этот раздел представляет особый интерес для исследований тектонических процессов, поскольку материал земной коры подвергается воздействию неоднородных температурного и гравитационного полей. Сюда следует также отнести теоретические работы о принципах и особенностях постановки задач описания тектонических процессов и структур. (Григорьев, 1979, 1984, 1989).

**Третий цикл задач:** разработка основ тектонофизической интерпретации современных движений на базе решения задачи о смещениях поверхности, напряжениях и деформациях слоя над разбитым на блоки фундаментом при типичных механизмах деформирования коры (взброс, сброс, горизонтальный сдвиг, раздвиг, содвиг и различное сочетание этих механизмов). В статье А.С. Григорьева «Вопросы математического моделирования в тектонофизике» [Экспериментальная тектоника, М.: Наука, 1985], дан анализ принципов и особенностей постановки задач описания тектонических процессов и структур. Этот цикл задач вышел за рамки его первоначальной постановки: тектонофизической интерпретации современных движений, предполагавшей нахождение тектонической структуры коры по данным о вертикальных перемещениях поверхности. Задача была поставлена в связи с тем, что в Терско-Сундженском и Припятском полигонах были поставлены натурные эксперименты по поиску вторичных залежей нефти по данным нивелирования поверхности. Необходимо было объяснить, почему залежи

приурочены к местам резкого увеличения градиентов вертикальных перемещений поверхности, объяснить, каким образом это связано с очевидным наличием в этих местах тектонических разрывов. Был рассмотрен вопрос о всех возможных типах тектонических образований в осадочном чехле при движении блоков кристаллического фундамента, о возникающих при этом полях напряжений, деформаций, перемещений и картине разрушения, которые и определяют в конечном счете вид градиентов вертикальных перемещений поверхности. Внимание было заострено на вертикальных перемещениях потому, что при изучении перемещений поверхности использовался наиболее простой и экономичный способ геодезической съёмки – нивелирование. В процессе постановки исследования А.С. Григорьевым совместно с соавторами, Ю.Л. Ребецким, И.М. Волович, З.Е. Шахмурадовой, был решён целый ряд фундаментальных задач. 1) Разработана классификация возникающих в осадочном слое структур в зависимости от типа разрыва фундамента, над которым они возникали и метод математического анализа, позволяющий анализировать любую из них. 2) Разработана методика комплексного использования математического моделирования и эксперимента, основанная на сближении расчётных и экспериментальных условий физического моделирования. Такая комплексность исследований позволяла изучать процесс математически для начальной стадии до появления существенных неоднородностей и больших деформаций и экспериментально при больших деформациях и нарушениях сплошности. 3) В результате была установлена связь между начальным полем напряжений и последующей картиной разрушения для всех типов структур, а также проявление связи между местом расположения разрыва фундамента и поверхностными деформациями, проявляющимися с самого начала процесса деформирования. 4) Разработан метод исследования и получены результаты также для слоистых массивов. 5) Выделены основные типы движений и их связь с сейсмичностью, рассмотрено деление территории СССР на области с различной современной тектонической активностью.

Особо следует отметить, что А.С. Григорьев всегда считал необходимым проведение физического моделирования в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН подкреплять математическим моделированием. Подобное сочетание физического эксперимента и теоретических расчетов является наиболее эффективным инструментом исследований, т.к. с одной стороны эти методы дополняют друг друга, а с другой определенным образом контролируют получаемый каждым из методов результат. Методы математического моделирования в том виде, в каком они существовали в 70-90-х годах прошлого столетия, давали возможность решать задачи механики в линейной постановке (упругое или идеально вязкое тело). Но даже подобные простейшие модели позволяли достаточно быстро выполнить анализ влияния различных параметров нагружения и свойств среды на результат, что в лабораторном эксперименте связано с большим объемом работ.

Статьи А.С. Григорьева в области тектонофизики по трем циклам работ:

I-ый цикл работ.

1. Григорьев А.С. Напряжённое состояние и деформации прямоугольного вязкого массива при боковом смещении // Тектонофизика и механические свойства горных пород. М.: Наука. 1971. С. 61-72.
2. Григорьев А.С. О деформациях земной коры, отвечающих гипотезе воздействия подкорковых конвекционных потоков // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1974. №1. С.
3. Григорьев А.С. Ионкин В.П. Об образовании и напряжённом состоянии складок продольного изгиба большой амплитуды // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1975. №12. С. 26-39.

II-ой цикл работ.

1. Григорьев А.С., Ионкин В.П. Решение задач тектонофизики методами механики твёрдого деформируемого тела (обзор) // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1972. №1. С. 3-34.
2. Григорьев А.С. О решении плоской задачи для линейновязкого неоднородного тела // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1974. № 2. С.80-84.
3. Григорьев А.С. // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1974. №6. С
4. Григорьев А.С. Определение напряжений и деформаций в литосфере с учётом изменения вязкости с глубиной // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1978. №8. С. 12-24.
5. Григорьев А.С. Об определении напряжений и деформаций в литосфере с учетом изменения вязкости с глубиной // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука. 1979. С. 126-138.
6. Григорьев А.С. Плоская задача нелинейной ползучести неоднородного тела (к определению тектонических напряжений) // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1984. №1. С. 3-10.
7. Григорьев А.С. Вопросы математического моделирования в тектонофизике // Экспериментальная тектоника. М.: Наука. 1989. С. 31-46
8. Григорьев А.С. О математическом моделировании в тектонофизике // Сб. Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев: Наукова думка. 1991. С.21-29.

### III-ий цикл работ.

1. *Гзовский М.В., Григорьев А.С., Гуценко О.И., Михайлова А.В., Никонов А.А., Осокина Д.Н., Степанов В.В., Шахмурадова З.Е.* Интерпретация современных движений тектонофизическими методами (вопросы связи с механизмом деформирования и с напряжённым состоянием участков коры) // *Современные движения земной коры.* Тарту: Изд. АН Эстонской ССР. 1973. №5. С. 579-588.
2. *Григорьев А.С., Шахмурадова З.Е.* Теоретическое определение скоростей движения дневной поверхности при некоторых механизмах деформирования земной коры // *Современные движения земной коры.* Тарту: Изд. АН Эстонской ССР. 1973. № 5. С. 595-604
3. *Григорьев А.С., Михайлова А.В., Шахмурадова З.Е.* Зависимость между характеристиками вертикальных перемещений поверхности и напряжённым состоянием осадочного чехла в надразломных зонах // *Поля напряжений и деформаций в литосфере.* М.: Наука. 1979. С. 97-125.
4. *Григорьев А.С., Михайлова А.В., Шахмурадова З.Е.* О кинематических характеристиках движения дневной поверхности и напряжённом состоянии осадочного чехла в зонах над разломами фундамента // *Изв. АН СССР, Физика Земли.* 1979. № 1. С. 3-20.
5. *Григорьев А.С., Михайлова А.В., Осокина Д.Н., Цветкова Н.Ю., Шахмурадова З.Е.* Некоторые вопросы тектонофизической интерпретации современных движений // *Современные движения земной коры. (Результаты исследований по международным геофизическим проектам).* Теория, методы, прогноз. М.: Наука. 1980. С. 19-35.
6. *Донабедов А.Т., Сидоров В.А., Григорьев А.С.* и др. Связь между современными смещениями земной поверхности и напряжённым состоянием осадочного чехла в надразломных зонах // *Математическое моделирование в геофизических исследованиях на нефть и газ.* М.: Наука. 1982. С. 3-15.
1. *Григорьев А.С.* О связи напряжённого состояния верхнего слоя земной коры с движениями фундамента // *Взаимосвязь геолого-тектонического строения, свойств, структурных особенностей пород и проявлений избыточной напряженности.* Апатиты: Кол. фил. АН СССР. 1984. С. 30-39.
2. *Григорьев А.С., Михайлова А.В.* Сочетание теоретического и экспериментального методов при исследовании процессов образования тектонических структур // *Экспериментальная тектоника в теоретической и прикладной геологии.* М.: Наука. 1985. С. 131-146.
3. *Григорьев А.С., Волович И.М., Михайлова А.В., Ребецкий Ю.Л., Шахмурадова З.Е.* Исследование напряжённого состояния, кинематики и развития нарушений сплошности осадочного чехла над активными разломами фундамента (при сочетании математического и физического моделирования в условиях плоской деформации) // *Поля напряжений и деформаций в земной коре.* М.: Наука. 1987. С. 5-31
4. *Григорьев А.С., Ребецкий Ю.Л., Волович И.М.* Напряжённое состояние и кинематика слоя, обусловленные движениями блоков его основания ( в связи с интерпретацией современных движений) // *Поля напряжений и деформаций в земной коре.* М.: Наука. 1987. С. 31-41
5. *Григорьев А.С., Волович И.М., Михайлова А.В., Ребецкий Ю.Л., Шахмурадова З.Е.* Исследование напряжённого состояния, кинематики и развития нарушений сплошности осадочного чехла над активными разломами фундамента (при сочетании математического и физического моделирования в условиях плоской деформации) // *Поля напряжений и деформаций в земной коре.* М.: Наука. 1987.
6. *Григорьев А.С., И.М.Волович* и др. Задача о раздвиге // *Изв. АН СССР, Физика Земли.* 1987. № 6. С. 3- 21

### Краткий обзор работ А.С. Григорьева в области механики

Работы А.С. Григорьева по прикладной теории упругости и пластичности и полученные им результаты широко известны зарубежным и советским специалистам. Большой интерес приобрёл цикл его работ, посвящённых расчёту пластических неоднородных стержней и пластин. Однако наибольшую актуальность сейчас имеет цикл работ для весьма тонких оболочек, исчерпание несущей способности которых наступает при больших деформациях и смещениях. Эти работы определили интерес механиков к теории оболочек при больших деформациях и её приложениям к конкретным задачам.

Ниже излагается обзор его основных работ, разбитых по циклам.

В работе [1], имевшей непосредственное приложение к расчёту узлов авиационных конструкций, было предложено обобщение известной задачи Винклера об изгибе балок на упругом основании. Был построен метод решения задачи в случае сплошного упругопластического основания. В соответствии с данными эксперимента по некоторым пластикам на основе древесины предполагалось, что реакция основания пропорциональна прогибу балки лишь до некоторой характерной его величины, а при превышении последней остаётся постоянной. Был решён ряд задач и предложен путь оптимального использования несущей способности основания, проиллюстрированный практическим примером. Работы [1-7, 11, 16] посвящены упругопластическому изгибу и предельному равновесию круговых и кольцевых пластин. В первой из них, относящейся к 1962 году, рассмотрен осесимметричный изгиб опёртой по контуру круглой пластины из линейно упрочняющегося материала, методом, основанном на введении двух функций – линейных комбинаций главных кривизн, для которых решается краевая задача.

А.С. Григорьев в работе [6] предложил построенный метод к задачам изгиба за пределом упругости плит переменной толщины при произвольной осесимметричной нагрузке в различных краевых условиях. При упругих деформациях был развит метод сведения разрешающего уравнения к интегральному уравнению Вольтерра. Решён численно ряд задач упруго пластического изгиба; для свободно опёртых кольцевых пластин построены

приближённые решения в элементарных функциях, основанные на пренебрежении радиальным нормальным напряжением в сравнении с кольцевым. Вновь обращаясь к анализу своих экспериментов, автор отметил большое влияние сжимаемости материала на величины смещений и предложил простой приближённый приём введения соответствующей поправки. В небольшой заметке [11] сформулирована постановка задачи о профиле плиты равного сопротивления изгибу; под последней подразумевалась пластина, во всех точках внешних слоёв которой одновременно возникает пластическое состояние. При этом дано решение практически интересного примера о профиле кольцевой пластины, нагруженной по внутреннему и опёртой по внешнему контуру. Основное положение этой статьи впоследствии неоднократно использовалось другими авторами. Принципиальный интерес с точки зрения применения метода предельного равновесия представляют работы [7, 16]. В первой из них на основании анализа упруго-пластического равновесия плиты, несущей поперечную нагрузку и растягивающие силы, равномерно распределённые вдоль контура, было показано, что предельному равновесию отвечает полное вырождение зон упругих деформаций. Была определена предельная нагрузка в нескольких конкретных случаях. Заметим, что несколько лет спустя аналогичные результаты были получены за рубежом при помощи метода жёстко-пластического анализа. Во второй работе был рассмотрен аналогичный вопрос применительно к изгибу защемлённой по контуру круглой плиты при использовании условия пластичности Губера - Мизеса. Это решение представляло специфический интерес, поскольку при использовании условия Треска - Сен-Венана непрерывный переход к предельному состоянию при активной деформации представлялся неосуществимым – появлялись зоны разгрузок. В работе [12] представлено решение практически интересной задачи о «запрессовке» под действием внутреннего давления цилиндрической трубы из пластичного материала в упругую внешнюю среду.

Второй, относительно небольшой цикл работ [10, 15, 19] посвящён задачам упруго-пластического равновесия стержней и пластин из пластически неоднородного материала. А.С. Григорьев рассмотрел относительно частный класс задач, когда вследствие механической или термической поверхностной обработки существенно изменяется предел текучести материала при удалении от поверхности. Аналогичное явление может быть и следствием облучения. В работе [10] даётся общая постановка задачи и рассматривается ряд относительно простых примеров: изгиб и кручение стержней, вращающийся диск постоянной величины. Работы [15] и [19] посвящены упруго-пластическому изгибу плит при переменном по толщине пределе текучести. В последней статье доказывается теорема о том, что величина нагрузки, отвечающей предельному равновесию пластически неоднородной плиты, равна нагрузке, найденной для однородной плиты при том же законе распределения внешних сил и тех же граничных условиях, умноженной на безразмерный коэффициент, зависящий только от закона изменения предела текучести по толщине. Приводится формула для вычисления этого коэффициента – «поправка на неоднородность».

Переходя к последнему большому циклу работ А.С. Григорьева, посвящённому гибким оболочкам, остановимся сначала на статьях [2] и [13], где рассматривались мембраны. Задача о больших перемещениях и деформациях круглой мембраны под действием равномерного давления уже давно рассматривалась другими авторами при различных допущениях и различных предположениях о законе деформирования. А.С. Григорьев оценил такие вводимые допущения, как постоянство толщины, приближённые выражения для главных кривизн средней поверхности и т. п. Используя степенной закон упрочнения, он получил решение, результаты которого очень хорошо совпали с известными экспериментальными данными до самого момента разрушения. Было явно обнаружено, что с ростом деформации параметр нагрузки стремится к некоторому максимальному значению. Заметим, что при расчёте упругой мембраны А.С. Григорьев получил численные значения напряжений и прогибов в центре мембраны, уточняющие известные результаты Генки. В работе [13] рассматривалась прямоугольная мембрана под равномерным давлением, и было получено приближённое решение упруго-пластической задачи.

Анализируя решение задачи в случае упругого материала, полученное Генки, А.С. Григорьев установил некорректность этого решения и показал, что итерационный процесс, построенный Генки для отыскания корней нелинейной системы, к которой в результате применения метода конечных разностей свелась задача, является расходящимся. В работе [13] было получено альтернативное решение. С 1956 года основные научные интересы А.С. Григорьева связаны с исследованиями равновесия тонких оболочек при больших деформациях [6, 9, 14, 17, 18, 20-22, 25]. В первых двух статьях идёт речь об оболочках начальной цилиндрической формы, в работах [14] и [18] изложены основы теории применительно к оболочкам вращения с начальной произвольной гладкой формой меридиана и жёсткими укреплениями – днищами. Нагрузка предполагается в виде нормального давления, в общем случае изменяющегося вдоль меридиана. Материал считается несжимаемым, для него вводится зависимость между интенсивностями истинных напряжений и логарифмическими деформациями. Разности главных напряжений считаются пропорциональными разностям главных логарифмических деформаций. Как следствие больших деформаций постулируется безмоментность оболочки; учитывается изменение её толщины в процессе деформирования, соотношения геометрического характера записываются точно. При этих предпосылках определение главных напряжений в оболочке и её формы в зависимости от нагрузки свелось к нелинейной системе четырёх уравнений относительно толщины оболочки, координат и угла поворота срединной поверхности. Так же, как и в теории мягких оболочек, здесь рассматриваются два основных возможных состояния оболочки: двухосное, когда оба главных напряжения положительны, и одноосное или складчатое, когда кольцевое напряжение считается равным нулю. Основные системы были составлены для обоих этих случаев. Детально рассматривались и

формулировались краевые условия, отвечающие существованию купола, днищ, сопряжению областей указанных состояний.

Одной из основных особенностей расчёта оболочек при больших деформациях является специфическое определение несущей способности. Последняя, если материал обладает высокими пластическими свойствами, связывается с явлением «пластической неустойчивости при растяжении», с существованием максимума на кривой «нагрузка – характерная деформация». В ряде конкретных задач авторы точно или приближённо находили это максимальное значение параметра нагрузки. Однако для общего случая доказательство его существования и формулирование соответствующих условий было дано А.С. Григорьевым. Статьи [25, 26] представляют собой краткий обзор литературы, посвящённой теории и задачам равновесия оболочек при больших деформациях, охвативший более 90 работ. Статьи [23, 24] примыкают к описанному выше циклу исследований. В [24] на примере рассмотрено существование критического времени при растяжении в условиях ползучести и обращено внимание на связь последнего с так называемым временем вязкого разрушения.

В заключение следует отметить, что основные результаты, полученные Адрианом Сергеевичем Григорьевым, докладывались на Всесоюзных съездах по механике, Конференциях по теории оболочек и пластин, по теории упругости и пластичности и на Международных симпозиумах. Большое место в жизни А.С. Григорьева занимает научно-организационная и педагогическая деятельность. Около 40 лет он читал лекции в вузах Москвы для студентов, аспирантов и преподавателей.

Адриан Сергеевич Григорьев был замечательным педагогом, он являлся профессором Московского инженерно-строительного института (МИСИ) им. В.В. Куйбышева, читал курс по механике пластин и оболочек. Он также преподавал в Московском институте народного хозяйства (Плехановка), в Московском авиационном институте (МАИ). Являясь высоко эрудированным исследователем в своей области, он также глубоко разбирался в вопросах истории, культуры, живописи. Там, где появлялся А.С. Григорьев, центр общения всегда смещался в его сторону. У него было очень много аспирантов и все они защитили кандидатские диссертации, многие уже доктора наук, а некоторые стали членами РАН.

#### Список работ А.С.Григорьева по механике

1. Метод расчёта балки на упруго пластическом основании применение этого метода к расчёту болтов в древесине. Труды ЦАГИ, 1946, №600.
2. Исследование работы круглой мембраны при больших прогибах за пределом упругости. Инж.сб., 1951, т.11.
3. Об изгибе круглой плиты за пределом упругости. ПММ, 1952, т.16, вып.1.
4. Изгиб круглой плиты при линейном упрочнении материала. Инж.сб., 1952, т.13.
5. О несущей способности кольцевых пластин. Инж.сб., 1953, т.16.
6. Изгиб круговых и кольцевых пластин переменной и постоянной толщины за пределом упругости. Инж.сб., 1954, т.20.
7. Несущая способность растянуто-изогнутых круглых пластин. Инж.сб., 1956, т.24.
8. Равновесие безмоментных цилиндрических оболочек при больших деформациях за пределами упругости. Тр. III Всес. матем. съезда, 1956, т. 1.
9. Напряжённое состояние безмоментных цилиндрических оболочек при больших деформациях. ПММ, 1957, т.21, вып.6.
10. On elastic-plastic deformations and the long-carrying capacity of rods and plates, non-homogeneous in the plastic range. In: Non-homogeneity in elasticity and plasticity. London, Pergamon Press, 1959.
11. О плитах равного сопротивления изгибу. Инж.сб., 1959, т.25.
12. Пластические деформации цилиндрической трубы в упругой среде. Сб. научн. работ Моск. ин-та нар. хоз-ва, 1959, вып. 15, ч. 2.
13. Большие прогибы прямоугольных мембран. Изв. АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение, 1959, №3.
14. Равновесие безмоментной оболочки вращения при больших деформациях. ПММ, 1961, т.25.
15. Об изгибе круглых пластин из материала, неоднородного при пластических деформациях. Arch. mech. slosowanej, 1962, n. 13, № 5.
16. Изгиб круглой защемлённой пластинки за пределом упругости. 17. The equilibrium of momentless cylindrical shells from nonlinearly elastic material under pressure varying along shells axis. Appl. Mech., Amsterdam – New-York, Elsevier Publ. Co., 1962.
18. The stress state and the carrying capacity of flexible plates and shells at large deformations. Proc. of the IASS Sympos., Warsaw, Sept. 2 – 5, 1963.
19. Несущая способность круговых и кольцевых пластин из пластически неоднородного материала. Инж. ж., 1964, т.4, вып. 3.
20. Устойчивость безмоментных оболочек вращения в условиях растяжения. Тр. VI Всес. конф. по теории оболочек и пластинок. М., «Наука», 1966.
21. Tensile instability in cases of large deformations. J. Roy. astron. Soc., 1967, vol. 14, No. 1-4.
22. Об устойчивости безмоментных оболочек вращения в условиях растяжения. Инж. ж. МТТ, 1967, №1.
23. О больших деформациях гибкой нити. Инж. ж. МТТ, 1967, №3.
24. О времени вязкого разрушения и критическом времени в условиях ползучести. Инж. ж. МТТ, 1968, №4.
25. О теории и задачах равновесия оболочек при больших деформациях. Изв. АН СССР. ТТН. 1970, №1.
26. О теории и задачах равновесия оболочек при больших деформациях. Тр. VII Всес. конф. по теории оболочек и пластинок. (Днепропетровск. 1969) М.: «Наука», 1970.