СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ
ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 14 февраля 2020 года публичной защиты диссертации Сибирякова Егора Борисовича «Статическое и динамическое деформирование сред с внутренней структурой» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание учёной степени доктора физико-математических наук.

Присутствовали 20 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела:

1. Шрагер Г. Р., доктор физико-математических наук, профессор, председатель диссертационного совета, 01.02.05
2. Христенко Ю. Ф., доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель председателя диссертационного совета, 01.02.04
3. Пикущак Е. В., кандидат физико-математических наук, ученый секретарь диссертационного совета, 01.02.05
4. Архипов В. А., доктор физико-математических наук, профессор, 01.02.05
5. Биматов В. И., доктор физико-математических наук, доцент, 01.02.05
6. Бубенчиков А. М., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.14
7. Бутов В. Г., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.14
8. Зелепугин С. А., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, 01.02.04
9. Крайнов А. Ю., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.14
10. Лапшин О. В., доктор физико-математических наук, 01.04.14
11. Люкшин Б. А., доктор технических наук, профессор, 01.02.04
12. Макаров П. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.02.04
13. Миньков Л. Л., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.14
14. Пономарев С. В., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, 01.02.04
15. Прокофьев В. Г., доктор физико-математических наук, доцент, 01.04.14
16. Скрипняк В. А., доктор физико-математических наук, профессор, 01.02.04
17. Старченко А. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.14
18. Тимченко С. В., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, 01.02.05
19. Шрагер Э. Р., доктор физико-математических наук, доцент, 01.04.14
20. Якутенок В. А., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, 01.02.05

Заседание провел председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Шрагер Геннадий Рафаилович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 19, против – 1, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Е. Б. Сибирякову ученую степень доктора физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13,
созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14.02.2020 № 415

О присуждении **Сибирякову Егору Борисовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация **«Статическое и динамическое деформирование сред с внутренней структурой»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 14.10.2019 (протокол заседания № 390) диссертационным советом **Д 212.267.13**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Сибиряков Егор Борисович**, 1972 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Распространение сейсмических волн в микронеоднородных средах при контактных взаимодействиях элементарных объектов» по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых защитил в 2002 году в диссертационном совете Научно-исследовательского учреждения Объединенного института геологии, геофизики и минералогии им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории вычислительной физики горных пород в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории вычислительной физики горных пород Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Работа выполнена без назначения научного консультанта.

Официальные оппоненты:

Назарова Лариса Алексеевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория горной информатики, главный научный сотрудник

Радченко Андрей Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Институт кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве, директор

Карчевский Андрей Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория обратных задач математической физики, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук**, г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном **Балохоновым Русланом Ревовичем** (доктор физико-математических наук, лаборатория механики структурно-неоднородных сред, заведующий лабораторией) и **Смолиным Игорем Юрьевичем** (доктор физико-математических наук, доцент, лаборатория нелинейной механики метаматериалов и многоуровневых систем, заведующий

лабораторией), указала, что актуальность темы диссертации обусловлена тем, что реальные конструкционные и природные материалы являются неоднородными на определенных пространственных масштабах, а в состоянии предразрушения любая среда становится микронеоднородной. В связи с этим научный и практический интерес представляет зависимость характера разрушения от структуры порового пространства, в частности, его удельной поверхности. Для решения практических задач в нефтегазовой отрасли также важно определение зависимости характера предразрушения от давления флюида в порах. С точки зрения механики разрушения представляет интерес влияние структуры порового пространства на локализацию деформаций в то время, когда в среднем тело находится еще в упругом состоянии. Е. Б. Сибиряковым предложено усовершенствование метода граничных элементов, суть которого в изменении ядер, что позволило решать упругие задачи смешанного типа без процедур регуляризации; показано, что усовершенствованный метод эффективен в случае быстрого изменения вектора нормали на поверхности границ раздела, как в статике, так и в случае стационарных колебаний; в результате численного решения контактных задач выявлены причины возникновения растягивающих напряжения на контактах при общем сжатии зернистой среды под действием давления флюида; представлены новые объяснения сильных нелинейных эффектов в пористых средах в рамках модели континуума со структурой и найденной связи нелинейности с параметрами микроструктуры; в результате решения упругой статической краевой задачи установлено, что углы наклона и кривизны геологических структур приводят к появлению зон пониженных давлений, и, как следствие, возможного скопления флюидов; впервые показано, что геодинамические параметры структур могут быть информативными поисковыми признаками наличия в них углеводородов. Полученные результаты способствуют развитию и совершенствованию существующих методов численного и аналитического моделирования для нахождения эффективных свойств контрастных микронеоднородных сред.

Соискатель имеет 66 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 34 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 12 работ (в том числе в зарубежном научном журнале, входящем в Scopus,

опубликована 1 работа; в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science и / или Scopus, опубликовано 4 работы; в российских научных журналах, входящих в Web of Science и / или Scopus, опубликовано 6 работ), в сборниках материалов конференций, входящих в Web of Science или Scopus, опубликовано 2 работы; в прочих научных журналах опубликовано 3 работы; в сборниках научных трудов опубликовано 2 работы; в сборниках материалов международных и всероссийских (в том числе с международным участием) научных конгрессов, конференций, семинаров, чтений опубликовано 14 работ; учебное пособие опубликовано 1. Общий объем работ – 27,53 а.л., авторский вклад – 15,62 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Сибиряков Е. Б.** Зависимость между коэффициентом Пуассона и микроструктурой в микронеоднородной среде / Е. Б. Сибиряков // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7, № 1. – С. 63–68. – 0.38 а.л.

Scopus: **Sibiryakov E. B.** Dependence of Poisson ratio on microstructure in microinhomogeneous medium / E. B. Sibiryakov // Physical Mesomechanics. – 2004. – Vol. 7, is. 1. – P. 63–68.

2. **Сибиряков Е. Б.** Об использовании метода граничных интегральных уравнений для определения параметров микронеоднородных сред / Е. Б. Сибиряков // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 97–101. – 0.31 а.л.

Scopus: **Sibiryakov E. B.** On a boundary integral equation method used to determine parameters of microheterogeneus media / E. B. Sibiryakov // Physical Mesomechanics. – 2006. – Vol. 9, is. 1. – P. 97–101.

3. **Сибиряков Е. Б.** Зависимость эффективных упругих модулей кавернозных тел от частоты / Е. Б. Сибиряков // Прикладная механика и техническая физика. – 2014. – Т. 55, № 5 (327). – С. 126–134. – 0.57 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Sibiryakov E. B. Frequency dependence of the effective elastic moduli of cavernous bodies / E. B. Sibiryakov // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2014. – Vol. 55, is. 5. – C. 835–842.

4. Сибиряков Б. П. Области локального понижения давлений как вероятные аккумуляторы флюидов в геологических структурах / Б. П. Сибиряков, **Е. Б. Сибиряков** // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 7. – С. 1391–1397. – 0.5 / 0.25 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Sibiryakov B. P. Local pressure lows as possible sinks of fluids in geologic structures / B. P. Sibiryakov, **E. B. Sibiryakov** // Russian Geology and Geophysics. – 2015. – Т. 56, № 7. – С. 1091–1095.

5. Сибиряков Б. П. Усиление нелинейности дисперсионными явлениями в средах со структурой и формирование различных преобладающих частот продольных и поперечных волн / Б. П. Сибиряков, **Е. Б. Сибиряков** // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 6. – С. 49–59. – 0.63 / 0.31 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Sibiryakov B. P. Intensification of Nonlinearity by Dispersed Events in Media with Structure and Generation of Various Dominant Frequencies in P- and S-Waves / B. P. Sibiryakov, **E. B. Sibiryakov** // Journal of Mining Science. – 2016. – Vol. 52, № 6. – P. 1090–1099. – DOI: 10.1134/S1062739116061625.

На автореферат поступило 9 положительных отзывов. Отзывы представили**:** 1. **А. И. Чанышев**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой математики и естественных наук Новосибирского государственного университета экономики и управления «НИНХ», *с замечаниями*: неплохо было бы привести сопоставления теоретических расчетов с экспериментальными данными, хотя бы при однородных нагружениях; неясно, почему для описания первоначально анизотропных сред используется обычный закон Гука с двумя константами (изотропная среда). 2. **А. Е. Медведев**, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории № 4

Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, **В. М. Фомин**, д-р физ.-мат. наук, академик РАН, научный руководитель Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, *с замечанием*: когда говорится об необратимом уменьшении площади контактов зерен под действием порового давления, то возникает вопрос как о скорости этого процесса, так и о применимости краевой упругостатической задачи для его моделирования. 3. **С. В. Сухинин**, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории газовой динамики Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, *с замечанием*: не проведены исследования погрешности моделирования и пределов определения типов волн в гранулированных средах. 4. **В. В. Ружич**, д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН, г. Иркутск, *без замечаний.* 5. **Г. Г. Черных**, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования Института вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний.* 6. **Д. В. Воронин**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры высшей математики Новосибирского национального исследовательского государственного университета, *без замечаний.* 7. **В. Н. Белых**, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., ведущий научный сотрудник лаборатории динамических систем Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний.* 8. **Н. И. Александрова**, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., главный научный сотрудник лаборатории механики взрыва и разрушения горных пород Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, *с замечанием*: остается неясным вопрос, зависят ли эффективные параметры нелинейности от прочих интегрально-геометрических характеристик среды. 9. **М. М. Немирович-Данченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, *с замечаниями*: в работе нет привычного раздела с постановкой задачи; в автореферате несколько раз встречается словосочетание «сыпучее тело» – не совсем понятно, почему скелет вдруг становится сыпучим; в автореферате

встречается словосочетание «тензор напряжений», стоило бы упомянуть, о каком конкретно тензорном представлении идет речь.

В отзывах отмечается, что диссертация Е. Б. Сибирякова посвящена приоритетному научному направлению механики сплошной среды – зависимости эффективных свойств микронеоднородных сред от параметров структуры порового пространства. Е. Б. Сибиряковым произведена модификация метода граничных элементов для решения упругих краевых задач; показаны основные преимущества этого метода, позволяющего находить решения краевых задач без использования регуляризационных процедур, по причине хорошей обусловленности матрицы системы; объяснены причины возникновения повышенной нелинейности в микронеоднородных средах с точки зрения континуума со структурой, т.е. зависимость нелинейности от параметров микроструктуры; впервые показано, что геодинамические параметры структур могут быть информативными поисковыми признаками наличия в них углеводородов. К важным и новым результатам работы следует отнести возможность применения численного решения контактных задач для понимания механизма возникновения растягивающих напряжений в зернистых средах под действием давления флюида, которое является сжимающим. Результаты исследования вносят вклад в понимание механизмов возникновения разрушений зернистых сред. Выводы исследования могут использоваться для совершенствования способов управляющего изменения параметров скольжения и режима сейсмической активности в сегментах сейсмоактивных разломов, могут быть востребованы, в том числе, при разведке нефтегазоносных бассейнов в Лено-Тунгусской провинции Сибирского кратона.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Л. А. Назарова** является известным специалистом в области решения задач математического и имитационного моделирования геомеханических процессов; **А. В. Радченко** является известным специалистом в области численного моделирования процессов деформирования тел и определения их эффективных свойств при сильных нагрузках; **А. Л. Карчевский** является известным специалистом

в области численного решения обратных задач, а также расчетов напряженного состояния геологических сред; **Институт физики прочности и материаловедения СО РАН** известен своими достижениями в области механики деформируемого твердого тела, в нем ведутся исследования в соответствующих диссертации областях науки, в том числе в области физической мезомеханики структурно-неоднородных сред, а также неразрушающих методов контроля.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана усовершенствованная версия метода граничных элементов, отличающаяся изменением ядер, позволяющая эффективно решать упругие задачи смешанного типа без процедур регуляризации;

предложены новые объяснения сильных нелинейных эффектов в пористых средах в рамках модели континуума со структурой и найденной связи нелинейности с параметрами микроструктуры;

изучены причины возникновения растягивающих напряжения на контактах при общем сжатии зернистой среды под действием давления флюида;

установлена зависимость эффективных свойств зернистой среды от параметров контакта и распределения зерен по радиусам;

выявлена зависимость появления зон пониженных давлений, и, как следствие, возможного скопления флюидов, от углов наклона и кривизн геологических структур;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

получены результаты фундаментального характера в области деформирования контрастных микронеоднородных сред, а также сред, содержащих границы с быстро изменяющимся вектором нормали;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы как метод граничных элементов, так и аналитические методы моделирования для нахождения эффективных свойств контрастных микронеоднородных сред, при этом *проведена модернизация* метода граничных элементов, а также объединены не использовавшиеся ранее совместно различные методы моделирования для

получения новых результатов для нахождения эффективных свойств контрастных микронеоднородных сред.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

созданы физические основы для дальнейшего развития геофизических методов исследований, связанные, главным образом, с прогнозом состояния среды и ее возможной неустойчивости;

представлены результаты численного решения контактных задач и их интерпретация, позволяющие сделать вывод о характере разрушения зернистой среды под действием порового давления; предложена рекомендация по использованию узкополосных двухчастотных импульсов для детектирования пор и трещин в среде.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные результаты могут быть использованы при проведении научно-исследовательских работ в таких организациях, как Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск), Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (г. Новосибирск), Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Сколковский институт науки и технологий (г. Москва), а также в других организациях в России и за рубежом.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

установлено качественное и количественное согласование полученных автором результатов с данными теоретических и экспериментальных исследований;

использованы эффективные и теоретически обоснованные вычислительные алгоритмы, апробированные на тестовых задачах.

Личный вклад соискателя состоит в: решающем участии в получении оригинальных результатов и их анализе; обсуждении и подготовке публикаций по теме диссертации; самостоятельном совершенствовании метода граничных элементов, в разработке критериев трещинообразования, учитывающих сжатие как фактор, препятствующий трещинообразованию; постановке и численном решении контактных задач, в том числе смешанного типа; интерпретации полученных результатов для объяснения причин возникновения аномально высоких пластовых давлений; разработке и реализации алгоритма численного решения задачи о параметрах напряженного состояния, обусловленного границами с быстро изменяющимся вектором нормали.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, и, в соответствии с пунктом 9, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, направленные на описание деформирования контрастных микронеоднородных сред, а также сред, содержащих границы с быстро изменяющимся вектором нормали, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области механики деформируемого твердого тела.

На заседании 14.02.2020 диссертационный совет принял решение присудить **Сибирякову Е. Б.** ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 19, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета Шрагер Геннадий Рафаилович

Ученый секретарь
диссертационного совета Пикущак Елизавета Владимировна

14.02.2020