

**ПАМЯТИ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО  
ЦУНАМИ**

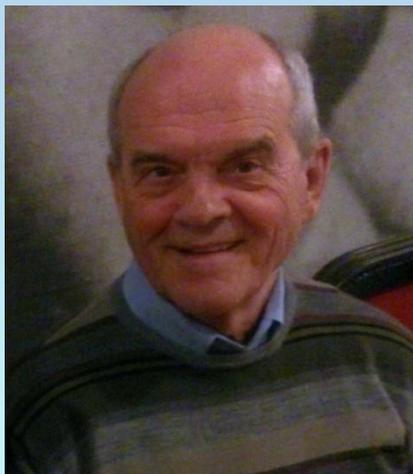
**Алексея Илларионовича ИВАЩЕНКО  
(1.11.1941 – 16.11.2020)**

**И**

**Евгения Аркадьевича КУЛИКОВА  
(27.01.1950 – 21.11.2020)**

2019 г. Алексей Илларионович  
Иващенко

**Ровно год назад, во время нашей конференции  
прошлого года ковид унес жизнь  
Алексея Илларионовича Иващенко,  
а через пять дней внезапно не стало  
Евгения Аркадьевича Куликова.  
Эта презентация посвящена им**



## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТЫ А.И. Иващенко и Е.А. Куликова

А.И. Иващенко и Е.А. Куликов начали свою трудовую деятельность **на Сахалине** в Сахалинском комплексном научно-исследовательском институте Дальневосточного научного центра Российской академии наук, теперь называемом Институт Морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук. Алексей Илларионович в 1964 году, Евгений Аркадьевич в 1973 году. Алексей Илларионович проработал на Сахалине 40 лет (1964-2006), Евгений Аркадьевич – 13 лет (1973-1986).

У обоих из них был **канадский этап** работ: у Алексея Илларионовича недолгий (фактически одно участие в канадском НИР и без авторства), у Евгения Аркадьевича более продолжительный (с 1993 по 2004, однако совместные работы продолжались и потом, но уже практически без посещения Канады).

**Московский этап.** У Алексея Илларионовича он начался в 2006 г., когда он пришел работать в ИО РАН в Лабораторию цунами им. академика С.Л. Соловьева. Евгений Аркадьевич в 1986 году, стал работать в Гидрометеоцентре, а с 1987 г. – в Государственном океанографическом институте (ГОИН). С 1995 года он работал в ИО РАН сначала в Научно-координационном центре ЦУНАМИ, а затем в созданной в 1999 году лаборатории цунами.

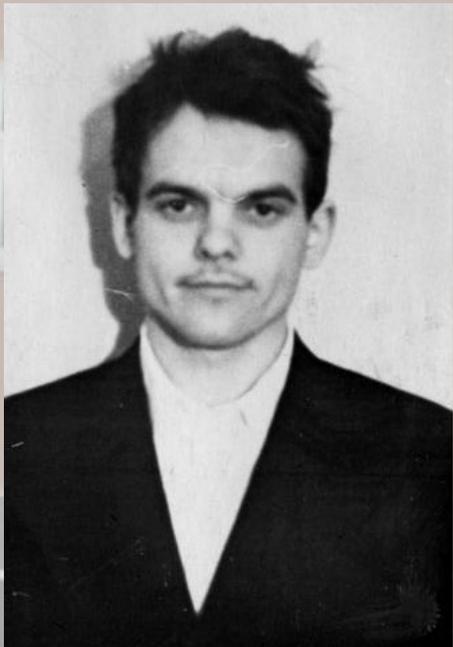
Мы, их сотрудники, друзья и ученики, считаем что они никогда не покидали нашу лабораторию.

# Алексей Илларионович Иващенко

А.И. Иващенко родился 4 ноября 1941 г. (официально, 1 ноября) в г. Анжеро-Судженске Кемеровской области, в 1959 году поступил в Новосибирский государственный университет на Факультет естественных наук. В тот год университет только образовался, и это был первый набор студентов. В 1964 г. А.И. Иващенко блестяще защитил дипломную работу «Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых» и получил квалификацию инженера-геофизика.

Группа выпускников этого факультета, среди которых были А.И. Иващенко с молодой женой Розой Иващенко (Равза Умаровна Яфасова. Они учились на одном факультете с 1 курса, поженились в 1964 г.) по окончании университета по распределению приехали работать на Сахалин в СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. Молодые выпускники почти сразу получили должности м.н.с.

До 1980 г. А.И. Иващенко занимался в основном проблемами цунами и морской сейсмологией и принимал активное участие в развитии советско-американского сотрудничества по этой теме.



А.И. Иващенко стал работать в лаборатории сейсмологии, которой с 1961 по 1968 гг. руководил Сергей Леонидович Соловьев. Он проработал в ИМГиГ ДВО РАН более 40 лет, пройдя путь от инженера до заведующего Лабораторией сейсмологии и заместителя директора института по научной работе (с 1976 по 2006 гг.).

В 1974 г. А.И. Иващенко блестяще защитил диссертацию «Исследование сильных землетрясений в связи с прогнозом цунами» в Институте физики Земли АН СССР и получил степень кандидата физико-математических наук.

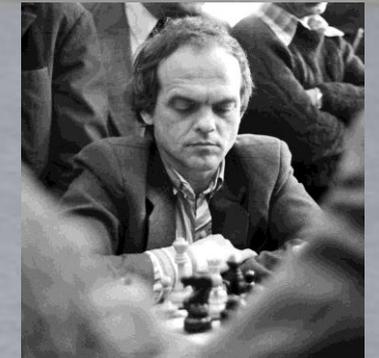


НЕСКОЛЬКО ФОТОГРАФИЙ А.И. ИВАЩЕНКО ЭТОГО ПЕРИОДА



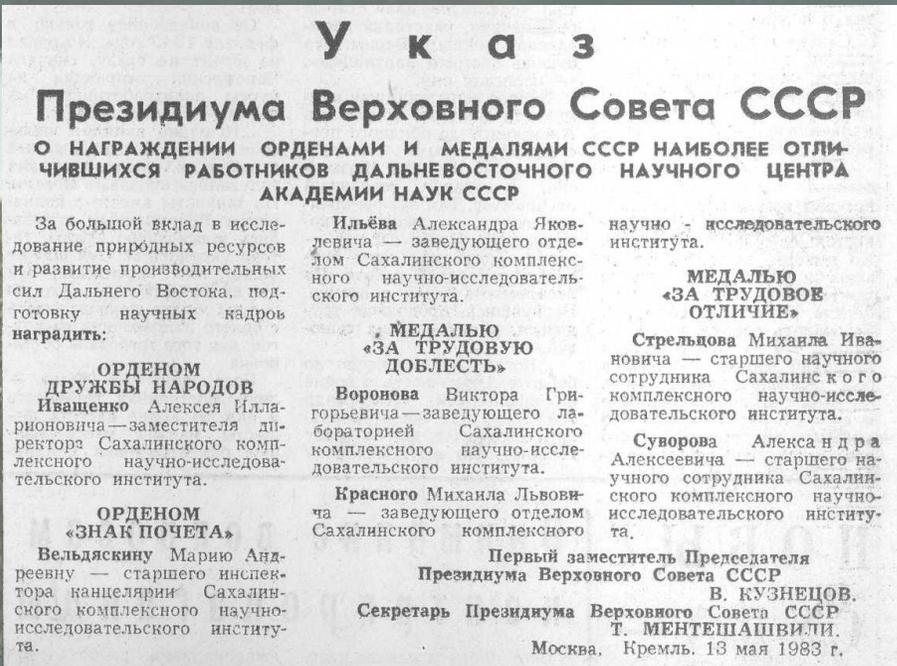


1975 г. В СахКНИИ приехал для совместных работ начальник сейсмслужбы Гавайев Том Соколовский (справа). В центре А.И. Иващенко, слева А.А. Поплавский



Примерно с 1980 г. А.И. Иващенко стал работать по исследованию землетрясений с помощью автономных донных сейсмических станций в Охотском море и в прилегающей части Тихого океана. После 1985 г. он заинтересовался и серьезно занялся сейсмическим районированием шельфа окраинных морей СССР. В эти же годы под его руководством были начаты исследования активных разломов Сахалина и прилегающего шельфа, а также разработка новых карт сейсмического районирования южной части Дальнего Востока. В период работы в ИМГиГ ДВО РАН А.И. Иващенко с коллективами специалистов, занимался проведением обследований всех сильных землетрясений в Сахалино-Курильском регионе

В 1983 г. А.И. Иващенко был награжден орденом «Дружбы народов» за достижения в науке и научно-организационной деятельности, а в 2003 г. получил звание лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники в составе коллектива из 7 авторов за работу «Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации: методология и комплект карт ОСР-97».



*Иващенко А.И., Го Ч.Н. Цунамигенность и глубина очага землетрясений // В: Волны цунами. Южно-Сахалинск, 1973. С. 152–155 (Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, Вып. 32).*

*Иващенко А.И., Ким Ч.У., Жук Ф.Д. и др. Изучение сейсмичности континентального склона Курильского глубоководного желоба по наблюдениям донных станций // Сейсмологические исследования Мирового океана. М.: 1983. С. 104–116.*

*Го Ч.Н., Иващенко А.И., Симонов К.В., Соловьев С.Л. Проявления япономорского цунами 26 мая 1983 г. на побережье СССР // В: Накат цунами на берег. Горький: 1985. С. 171–180.*

Алексей Илларионович занимался организацией Второй Советско-американской экспедиции 1978 года по изучению цунами в Тихом океане и выезжал с этой целью в Гонолулу.



1983 г. Курильские острова. Обследование побережий после цунами 1983 г. на НИС «Пегас». А.И. Иващенко в центре

1990 г. А.И. Иващенко с канадскими коллегами в Институте наук об океане, Сидни, Британская Колумбия, Канада

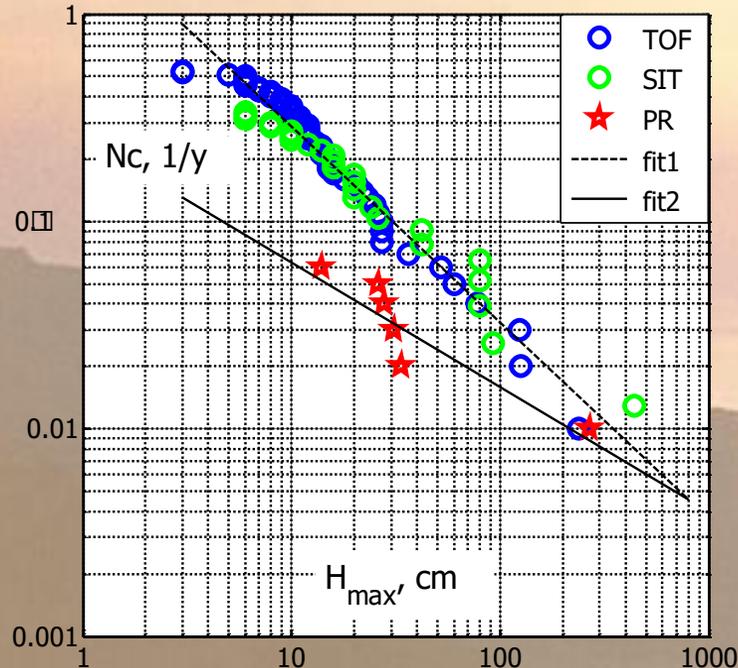
В связи с нефтегазовыми проектами на Сахалине: прокладкой нефтегазопровода с северной части Сахалина на юг и постройкой порта для перекачке нефти и газа на суда, а также постройкой обслуживающей нефтегазопровод инфраструктуры, А.И. Иващенко занялся количественной оценкой сейсмической опасности и риска для соответствующих районов острова. Эти направления стали доминирующими в его работе, и вокруг А.И. Иващенко сплотился неформальный коллектив сильных исследователей



В 1990 г. А.И. Иващенко и А.Б. Рабинович посетили университеты Канады и США, включая Институт наук об океане, Сидни, Британская Колумбия, Канада для обсуждения совместных работ по изучению цунами. С Институтом наук об океане сложилось серьезное научное сотрудничество, которое длится уже 30 лет, перейдя из ИМГиГ ДВО РАН в Лабораторию цунами ИО РАН.

После посещения Канады Алексей Илларионович помог Е.А. Куликову и И.В. Файну с расчетом статистики максимальных высот цунами в трех точках Британской Колумбии. Благодарю И. Файна за эту информацию.

А.И. Иващенко. Статистика распределения максимальных высот цунами в Тофино и Принц Руперте (Канада, Канада, Британская Колумбия) и в Ситке (США, Аляска)



Cumulative annual frequency distribution of maximum tsunami heights  $H \geq H_{max}$  based on tide gauge records at Tofino (TOF), Sitka (SIT), and Prince Rupert (PR). Best linear fits (in log-log scale) were estimated separately for two data sets: *fit1* – for data from Tofino and Sitka with very close distributions, and *fit2* – for data from Prince Rupert with a different distribution.

The best linear approximations for both observed cumulative distributions are as follows:

$$\text{fit1: } \log_{10} N_c(H \geq H_{max}) = 0.40 - 0.945 \cdot \log_{10} H_{max} \quad \text{for TOF and SIT}$$

$$\text{fit2: } \log_{10} N_c(H \geq H_{max}) = -0.60 * (1 + \log_{10} H_{max}) \quad \text{for PR.}$$

Кумулятивное годовое распределение частоты максимальных высот цунами, основанное на записях мареографов в Тофино, Ситке и Принц Руперте

# МОСКОВСКИЙ ПЕРИОД

В 2006 г. А.И. Иващенко по семейным обстоятельствам переехал в Москву. Директор ИО РАН член-корреспондент РАН С.С. Лаппо и заведующий лабораторией цунами д.ф.–м.н. Е.А. Куликов, долгие годы работавшие с А.И. Иващенко на Сахалине, пригласили его в лабораторию цунами им. академика С.Л. Соловьева ИО РАН. Ведущий научный сотрудник А.И. Иващенко включился в работу по двум основным направлениям: 1) разработка вероятностной модели определения цунамиопасности морских побережий и 2) численное моделирование процессов накопления и разрядки напряжений в зонах субдукции.

Кроме чисто научной работы в Лаборатории цунами ИО РАН Алексей Илларионович участвовал в выполнении целой серии НИР, из-за этой работы у него не так много было статей в крупных журналах. Ко всему прочему, он был нечестоблиб, и его мало интересовал общественный рейтинг. Он невероятно аккуратный и щепетильный исследователь. За его подписью не могла выйти халтура, его результатам и выводам всегда можно было доверять. Работал он не быстро, что совершенно не соответствует требованиям современности, но все его работы очень качественные.



Большая часть исследований в лаборатории цунами шла в соавторстве с Евгением Аркадьевичем Куликовым, и другими учеными. О крупной работе по цунамирайонированию Российской Арктики и расскажу ниже, поскольку это была совместная работа с Куликовым и др.

Один из семинаров Лаборатории цунами

А.И. Иващенко активно участвовал крупных научно-исследовательских работах ИО РАН:

- «Производство комплексных работ по оценке сейсмической опасности (сейсмическому микрорайонированию) для проекта «Магистральный газопровод Сахалин – Хабаровск – Владивосток» (пролив Невельского и Амурский залив)», 2008 г.
- «Моделирование процесса цунами на побережье Южно-Китайского моря в районе размещения площадки АЭС Нинь Тхуан-1 и определение основных расчетных характеристик цунами» По договору на выполнение работ № 04.01/012 от «01» июня 2013 г. с ООО «Энергопроекттехнология».
- «Комплексные инженерные изыскания на стадии «проектная документация» в рамках реализации проекта морского участка газопровода «Южный поток». Сейсмологические исследования. Оценка исходной сейсмической опасности и сейсмическое микрорайонирование по трассе (Анапа-Варна), 2011–2014 гг.
- «Оценка цунамиопасности шельфа арктических морей России с учетом возможного воздействия волн цунами на планируемые объекты ТЭК» в рамках Договора между ДВФУ и ОАО «НК «Роснефть», 2015–2016.
- «Выполнение работ по детальному сейсмическому районированию и уточнению сейсмической опасности для разработки проектной документации АЭС «Эль-Дабба», 2016–2020 гг.

В рамках НИР по оценке цунамиопасности шельфа арктических морей России впервые в отечественной океанологии был использован вероятностный метод оценки цунамиопасности. А.И. Иващенко разработал модель сейсмичности региона и создал с помощью метода Монте-Карло виртуальный каталог землетрясений и цунами, моделирующий процесс возникновения этих событий на протяжении многих тысяч лет. На основании этого каталога Е.А. Куликов со своими коллегами впервые выполнил цунамирайонирование побережья Российской Арктики (карты будут показаны ниже, т.к. это была совместная работа с Е.А. Куликовым и др.)



2008 г. В.М. Кайстренко и А.И. Иващенко в ИО РАН



2011 г. А.И. Иващенко в Лаборатории цунами

В течение многих лет А.И. Иващенко являлся членом редколлегии журналов **«Вулканология и сейсмология»** и **«Вопросы инженерной сейсмологии»**. В последние годы он был **ответственным секретарем журнала «Вулканология и сейсмология»**.

В течение своей научно-исследовательской деятельности А.И. Иващенко опубликовал более 100 работ в рецензируемых изданиях, а также принял участие примерно в 80 отчетах по НИР, выполненных в рамках научно-технических контрактов, договоров и отечественных и международных грантов.

## Несколько фотографий А.И. Иващенко во время работы в Москве



2007 г. Алексей Илларионович  
Иващенко и Андрей Александрович  
Харламов в гостях у Ольги  
Николаевны Соловьевой

2019 г. Алексей Илларионович  
Иващенко



2017 г. Наталия Владимировна  
Лаппо, А.И. Иващенко, О.Н.  
Лихачева (спина), Андрей  
Александрович Харламов и Евгений  
Аркадьевич Куликов в лаборатории  
цунами



17.11.2019 г. Роза и Алексей Иващенко

# Евгений Аркадьевич Куликов

Е.А. Куликов родился 27 января 1950 г. в Краснодаре; после окончания школы он в 1967 г. поступил в Московский физико-технический институт. Будучи студентом третьего курса Куликов, пройдя собеседование, выбрал свою будущую специальность и перевелся на недавно образованную Кафедру термогидромеханики океана.

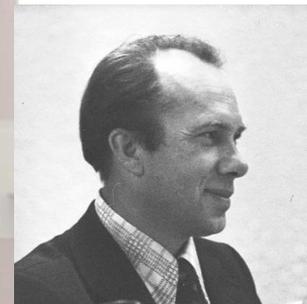
После окончания МФТИ в 1973 г. Е.А. Куликов выбрал распределение в Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт ДВНЦ АН СССР. В этом институте он проработал с 1973 по 1979 гг. в качестве инженера, младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника, а с 1980 по 1986 гг. – в качестве заведующего



1993г. Выпускники. Выпускники. Справа от Куликова  
В. Лапшин, слева – В. Жмур

Лабораторией физики океана Отдела цунами, который был организован С.Л. Соловьевым, а первым заведующим Отделом цунами был, молодой д.ф.-м.н. В.В. Ефимов, ставший научным руководителем Е.А. Куликова, известный специалист в области волновых процессов в океане. С.Л. Соловьев и В.В. Ефимов оказали большое влияние на формирование Е.А.Куликова как ученого.

- Коллектив Лаборатории физики океана сформировался в середине 70-х годов. Средний возраст сотрудников (не считая заведующего лабораторией С.С. Лаппо) был около 25 лет, они были выпускниками МГУ, МФТИ и других центральных вузов страны. В этой группе хорошо подготовленных, амбициозных и инициативных сотрудников Е.А. Куликов очень быстро стал несомненным лидером.



Сергей Леонидович Соловьев (43 года), Владимир Васильевич Ефимов и Сергей Сергеевич Лаппо, обоим 35 лет



В 1976 г. СахКНИИ посетил ак. М.А. Лаврентьев. В течение месяца он чаще всего бывал гостем лаборатории, выступал и участвовал в многочисленных семинарах.

В 1975 г., С.Л. Соловьев и руководитель Американской программы исследования цунами Г. Миллер (Гавайский университет, Гонолулу, Гавайи), организовали Первую советско-американскую экспедицию по проблеме цунами. Основной целью экспедиции, проходившей на НИС «Валериан Урываев» (ГМС), было получение глубоководных записей цунами в районе Курило-Камчатского желоба.

Из обкома пришло указание Куликову побриться, иначе в рейс не пустят. Пришлось ему сбрить бороду, и затем в течение довольно долгого времени он выглядел так



С американской стороны проектом руководил д-р Роберт Харви. Начальником экспедиции был С.С. Лаппо, одним из членов экспедиции - Е.А. Куликов. Именно на Куликова легла основная нагрузка по обработке собранных материалов. После окончания экспедиции Р. Харви и приехавший на Сахалин Г. Миллер в течение месяца работали в СахКНИИ вместе с сотрудниками ЛФО над анализом полученных данных.

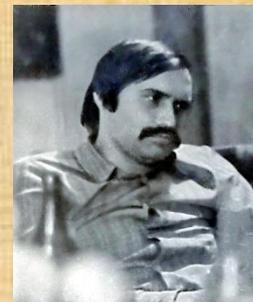
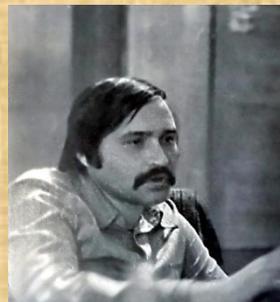
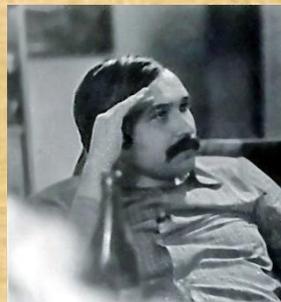
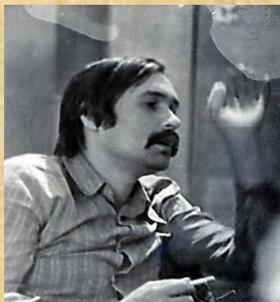
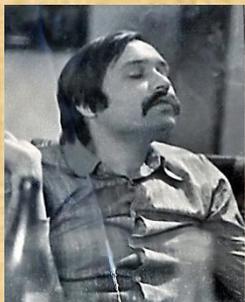
- Сотрудники СахКНИИ, работавшие в то время в Лаборатории физики океана, сейсмологии и др.



Роберт Харви, Гейлорд Миллер и  
Сергей Л. Соловьев



- Женя Куликов в начале Сахалинского периода



В 1976 году состоялась Вторая советско-американская экспедиция по проблеме цунами. Основными организаторами этого совместного проекта были С.Л. Соловьев и А.И. Иващенко.

Возглавил экспедицию Р. Харви. Экспедиция проходила на том же судне «Валериан Урываев». От СахКНИИ в экспедиции приняли участие Е.А. Куликов, А.Б. Рабинович, А.А. Харламов и А.И. Спирин. Е.А. Куликов был заместителем начальника экспедиции с советской стороны, но, фактически, именно он был научным руководителем всего проекта



В экспедиции были получены первые сведения о характере длинноволновых движений с пространственными и временными масштабами волн цунами, исследованы эффекты их волнового захвата и резонансного усиления на шельфе, получены оценки приливных колебаний в открытом океане в районе Курило-Камчатского и Японского желобов. Одним из интересных эффектов, выявленных при анализе глубоководных записей колебаний придонного гидростатического давления, явилось обнаружение в открытом океане радиационных приливов, то есть колебаний с периодами, кратными солнечным суткам, обусловленных радиационным воздействием Солнца на поверхность океана.

*Куликов Е.А., Рабинович А.Б. Радиационные приливы в океане и атмосфере // ДАН СССР. 1983. Т. 271. № 5. С.1226-1230.*

Материалы, полученные во время Первой и Второй советско-американских экспедиций, во многом определили два основных направления дальнейших исследований Е.А. Куликова: (1) Динамика волновых процессов в зоне шельфа, захваченные и излученные волны; (2) Глубоководные измерения длинных волн в океане. Впервые в СССР он сумел выявить эффекты «захвата» и «шельфового резонанса» на шельфе Курильской гряды, показал существование захваченных (краевых волн Стокса) и излученных волн в этой зоне и их основополагающую роль в формировании волн цунами. Им также было показано, что низкочастотные (метеорологические) колебания образуются под сильным влиянием субинерционных захваченных шельфовых волн (топографических волн Россби).

*Ефимов В.В., Куликов Е.А., Лаппо С.С., Соловьев С.Л. Краевые волны в северо-западной части Тихого океана // Изв. АН СССР, сер. ФАО. 1978. Т. 14. № 3. С. 318-327.*

*Ефимов В.В., Куликов Е.А. Применение метода адаптивной оценки пространственно-временных спектров к анализу захваченных волн // Изв. АН СССР, сер. ФАО. 1978. Т. 14. № 7. С. 748-756.*

*Куликов Е.А. Дифракция волн Кельвина на неоднородностях линии берега // Сб. "Волновые процессы в краевых областях океана". Южно-Сахалинск, 1979. С. 3-11.*

В 1979 г. в ИО АН Е.А. Куликов блестяще защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по теме «**Исследование длинных волн в краевой области океана**» и вскоре после этого был назначен заведующим ЛФО.

Основные результаты диссертации и дальнейших работ Е.А. Куликова по данной тематике, а также двух других диссертаций, подготовленных под руководством В.В. Ефимова (А.Б. Рабиновича и И.В. Файна), были обобщены в фундаментальной монографии:

*Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985., 280 с.*

Дальнейшая работа Е.А. Куликова была связана, прежде всего, с обработкой данных глубоководных станций, кабельных станций, установленных на шельфе о-ва Шикотан, а также береговых станций Курильской гряды.

Он был первым исследователем, кто стал разрабатывать концептуальные основы гидрофизического метода прогноза цунами, основанного на наблюдениях цунами в открытом океане и на шельфе. 23 февраля 1980 г. при активном участии Е.А. Куликова подобная запись впервые в мире была получена и тщательно проанализирована

*Дыхал Б.Д., Жак В.М., Куликов Е.А., Лаппо С.С., Митрофанов В.Н., Поплавский А.А., Родионов А.В., Соловьев С.Л., Шишкин А.А. Первая регистрация цунами в открытом океане (цунами 23 февраля 1980 г. у Южных Курильских островов) // ДАН СССР. 1981. Т. 257. № 5. С. 1088-1092.*

*Dykhon B.D, et al. Registration on of tsunamis in the open ocean // Marine Geodesy. 1983. V .6. № 3-4. P. 303-309.*

Куликов продолжал разрабатывать методы и алгоритмы регистрации и выделения «опасного сигнала» (волн цунами) на основе наблюдений волновых движений в открытом океане и на берегу с целью применения этих методов в оперативной службе цунами. Как результат этой работы совместно с А.А. Поплавским и Л.Н. Поплавской была подготовлена монография<sup>А</sup>

*Поплавский А.А., Поплавская Л.Н., Куликов Е.А. Методы и алгоритмы автоматизированного прогноза цунами. М.: Наука, 1988. 128 с.*

## МОСКОВСКИЙ И КАНАДСКИЙ ПЕРИОДЫ

С **1986** г. Е.А. Куликов начинает работать в Москве: сначала в Гидрометеоцентре, а с 1987 г. – в Государственном океанографическом институте (ГОИН). При этом он продолжает исследовать тему цунами, в частности, вопросы детектирования и выделения сигнала цунами на фоне шума (Куликов, 1990)

*Куликов Е.А. Измерение уровня океана и прогноз цунами // Метеорология и гидрология. 1990. № 6. С. 61-68.*

С 1993 г. А.Б. Рабинович и Е.А. Куликов начинают сотрудничать с учеными Института наук об океане в г. Сидни, Британская Колумбия, Канада. Затем в 1996 г. к ним присоединился И.В. Файн. В результате этого сотрудничества появилось много интересных работ.

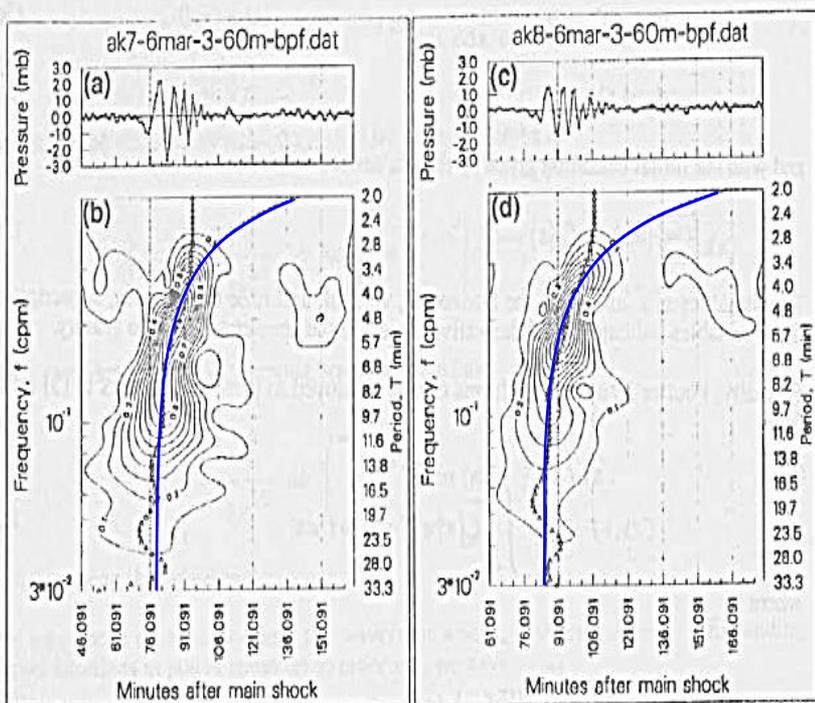
Е.А. Куликов статья одним из лучших в мире специалистов в области анализа инструментальных записей волн цунами. Совместно с Фрэнком Гонзалесом (NOAA/PMEL, США), на основе оригинальной обработки высокоточных измерений цунами в глубоком океане в районе Алеутских о-вов . Эти работы стали классическими и были использованы, в частности, для определения источников волн цунами и особенностей добегаания этих волн до пунктов установки систем DART в Тихом, а ныне и в других океанах. Их также применили в программе обработки данных DART-ов для мировой Службы предупреждения о цунами.

*Gonzalez F.I., Kulikov E.A. Tsunami dispersion observed in the deep ocean // In: Tsunamis in the World, Dordrecht, Kluwer Publ. House, 1993/ P. 7-16.*

*Куликов Е.А., Гонзалес Ф. Восстановление формы сигнала цунами в источнике по измерениям колебаний гидростатического давления удаленным донным датчиком // ДАН. Т. 344. No 6. 1995. С. 814-818.*

Более детальное объяснение этих работ дано ниже Исааком Файном.

## Краткая информация об основных результатах по работам Е.А. Куликова и Ф. Гонзалеса от И.В. Файна



Е.А. Куликов использовал  $f$ - $t$  диаграммы (другое название – вэйвлет- диаграммы) для анализа сигнала распространяющейся волны цунами. Теоретическое время прихода головной волны  $t$  определяется расстоянием до источника  $Dx$  и групповой скоростью волны  $c_g$ , которая зависит от частоты  $f$

$$t(f) = \frac{\Delta x}{c_g(f)}$$

Изучение записей цунами 30 ноября 1987 г и 6 марта 1988 г, вызванных землетрясениями с магнитудой 7.6 в заливе Аляска, продемонстрировало высокое качество измерений и выявило эффект дисперсии волнового пакета поверхностных волн (см. рис). Небольшой размер очагов обусловил «высокочастотный» характер спектра волн - основная энергия колебаний уровня пришлась на периоды от 2 до 10 мин. Оказалось, что

на расстояниях около одной тысячи км от источника эффект линейной дисперсии таких составляющих становится уже существенным - амплитуда сигнала уменьшается, а длительность «звучания» цунами увеличивается в несколько раз. Это наблюдение приводит к важному методическому выводу - **использование приближения мелкой воды, широко применяемое в численных моделях цунами, не применимо для задач «трансокеанского» распространения волны.** Удалось восстановить форму сигнала в источнике. Был разработан новый метод «инверсии» сигнала цунами, основанный на законе линейной дисперсии Фурье - компоненты исходной записи преобразовывались с учетом пути пробега к виду, соответствующему начальному моменту возникновения волны. Оказалось, что измеренный «растянутый» во времени волновой пакет стягивается при этом в дельта-образную функцию. Размеры этого дельта-импульса характеризуют масштаб очага цунами. Удалось подтвердить обоснованность модели генерации цунами «поршневого типа» Окадо [Okada, 1985], расчеты по ней оказались очень близкими к этим измерениям

В ноябре 1994 г. в порту Скагуэй, северо-восточная Аляска, произошло обрушение строящегося дока. Образовавшееся оползневое цунами привело к человеческим жертвам, разрушению терминала и значительного участка канадской железной дороги.

Разработанная российскими и канадскими учеными численная длинноволновая модель генерации цунами движущимся оползнем, с учетом деформации оползня и взаимодействия оползня и поверхностных волн, явилась первой практической моделью оползневых цунами, позволяющей моделировать реальные события.

*Fine I.V., Rabinovich A.B., Thomson R.E., Kulikov E.A. Numerical modeling of tsunami generated by submarine and subaerial landslides // Submarine landslides and tsunamis, Kluwer Academic Publisher, 2003. P. 72-93.*

А вот пример моделирования реально произошедшего колоссального подводного Ньюфаундлендского оползня в 1929 году в Атлантике.

*Fine I.V., Rabinovich A.B., Thomson R.E., Bornhold B.D., Kulikov E.A. The Grand Banks landslide-generated tsunami of November 18, 1929, preliminary analysis and numerical study // Marine Geology. 2005. V. 215. P. 45-57.*

Слайды для иллюстрации этого события предоставлены И.В. Файном и А.Б. Рабиновичем.

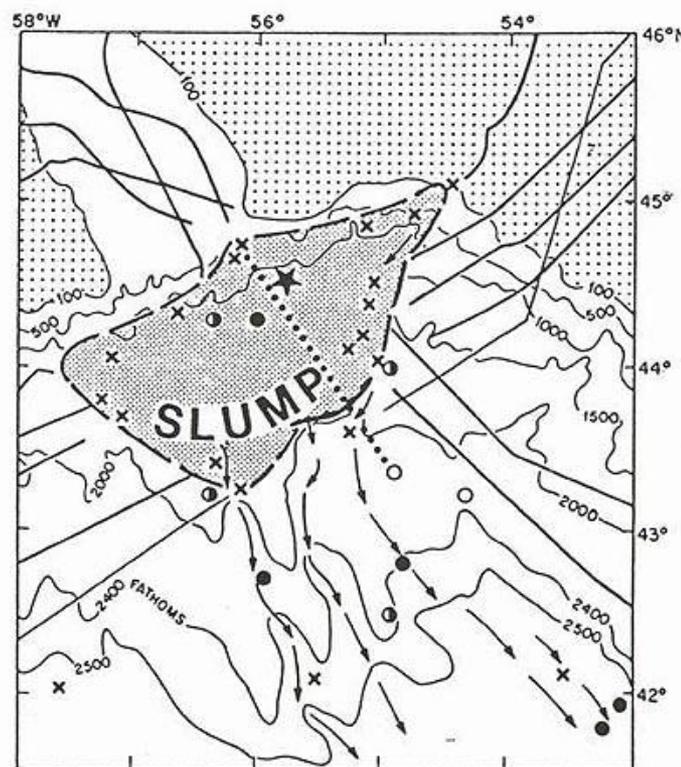
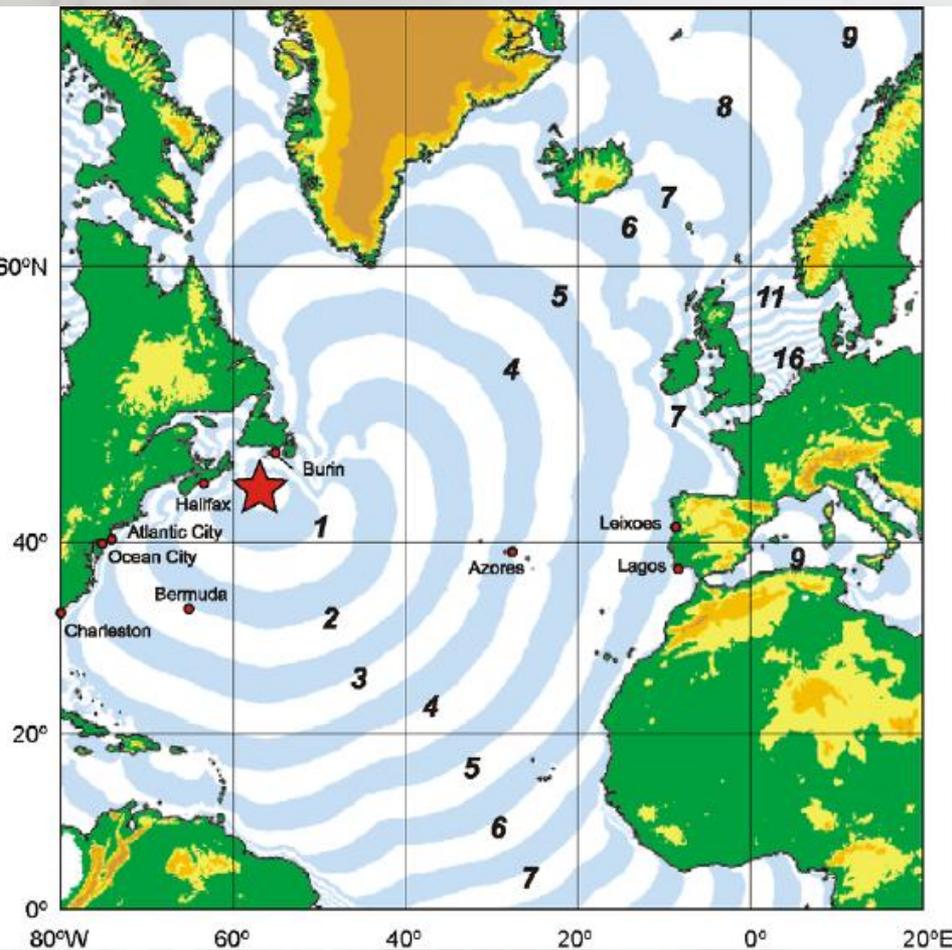


Figure 4

18 ноября 1929 землетрясение с магнитудой  $M_w = 7.2$  а спровоцировало колоссальный оползень: объем  $200 \text{ км}^3$ ; скорость оползня примерно  $100 \text{ км/ч}$ . В результате образовался мутьевой поток из глины, ила и песка, направленный на востоки переместившийся на  $1500 \text{ км}$ . Было разорвано  $12$  подводных кабелей.

Этот оползень вызвал самое катастрофическое цунами в истории Канады (погибло  $27$  человек). Амплитуда цунами достигала от  $2$  до  $7 \text{ м}$ , а заплеск  $13 \text{ м}$  вдоль побережья полуострова Бурин (Ньюфаундленд).



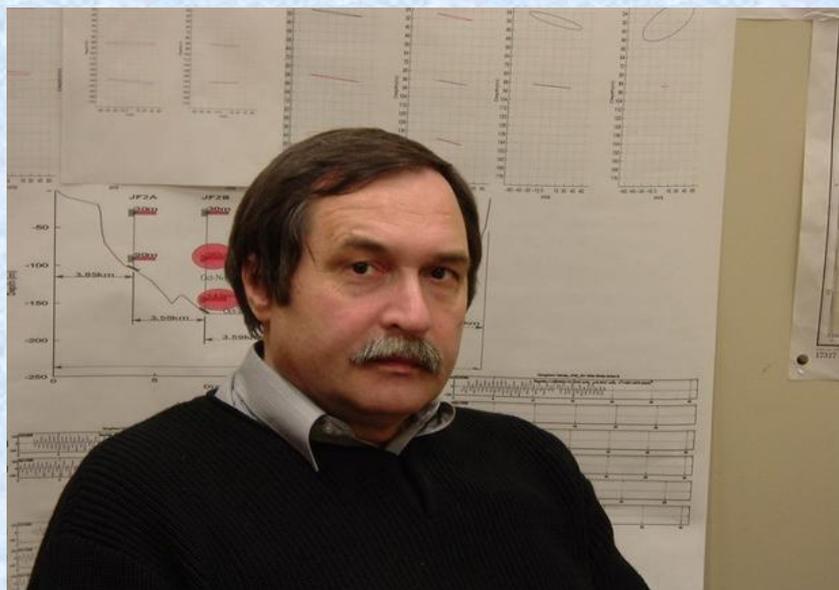
Место	Время распространения	
	Наблюдав-шеися	Расчет-ное
Burin, Nfld	2 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>
Halifax, N.S.	2 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>
Bermuda	2 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
Atlantic City, N.J.	4 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>
Ocean City, Md.	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup>
Charleston, N.C.	5 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>

Этот оползень, возникшее цунами и время распространения волн были рассчитаны. Результаты приведены в таблице. Есть приличное расхождение в реальном и расчетном времени добегаия, что говорит о том, что требуется корректировка всех параметров, и доработка модели, исходя из реальных данных.

По результатам проведенных в Канаде в 1995–2007 гг. исследований был опубликован десяток статей, которые в дальнейшем составили ядро докторской диссертации Куликова.

Еще в Канаде Е.А. Куликов стал заниматься Северным Ледовитым океаном совместно с Эдди Кармаком и опубликованных в JGR и Continental Shelf Research (1998–2010 гг.), 4 статьи, посвященные анализу крупномасштабных, мезо-масштабных и приливных движений на шельфе моря Бофорта в Северном Ледовитом океане (Kulikov et al., 1998, 2004, 2010; Carmack, Kulikov, 1998).

Фотографии Е.А. Куликова. Относящиеся к Канадскому периоду работы



# НАУЧНО-КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЦУНАМИ И ЛАБОРАТОРИЯ ЦУНАМИ им. академика С.Л. СОЛОВЬЕВА

В 1995 г. **Б.В. Левин** совместно с **Е.А. Куликовым** и **А.Б. Рабиновичем** организовали Научно-координационный центр Цунами при ИО РАН, явившийся основной для создания Лаборатории цунами в 1999 г. В 2002 г. Е.А. Куликов переходит работать в эту лабораторию ведущим научным сотрудником.

В 2004 г. член-корреспондент РАН Б.В. Левин, став директором ИМГиГ ДВО РАН, уезжает на Сахалин, а **Е.А. Куликов становится заведующим лабораторией (2004–2018 гг.)**.

В 2005 г. в ИО РАН **Е.А. Куликов** защищает диссертацию «**Изучение цунами: измерение, анализ, моделирование**» на соискание степени доктора физико-математических наук.

С этого времени Евгений Аркадьевич реже выезжает в Канаду и постепенно эти визиты прекращаются, хотя совместные работы были до 2020 года.

Основной творческий период Куликова по вопросам цунами и вопросам уровня океана начинается с 2004 года.

**Суматранское землетрясение**, произошедшее 26 декабря 2004 г. у берегов Индонезии и вызвавшее катастрофическое цунами, приведшее к огромным разрушениям и многочисленным жертвам.

Е.А. Куликов включился в исследования этого явления сразу после события. Он был ПЕРВЫМ УЧЕНЫМ, который проанализировал альтиметрические данные спутников TOPEX-Poseidon и Jason, пролетавших над зоной очага, и показал существенный эффект дисперсии цунами (Kulikov, 2006)

*[Kulikov E.A. Dispersion of the Sumatra Tsunami waves in the Indian Ocean detected by satellite altimetry // Russian Journal of Earth Sciences. 2006. V. 8. ES4004. doi:10.2205/2006ES000214.](#)*

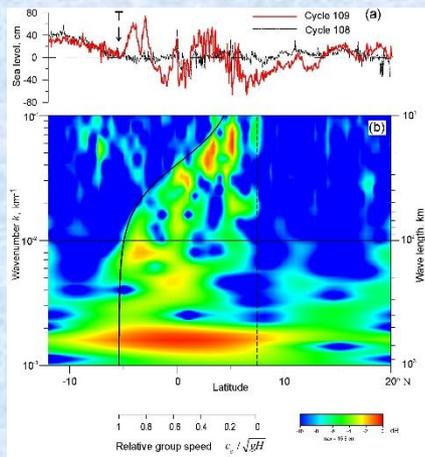
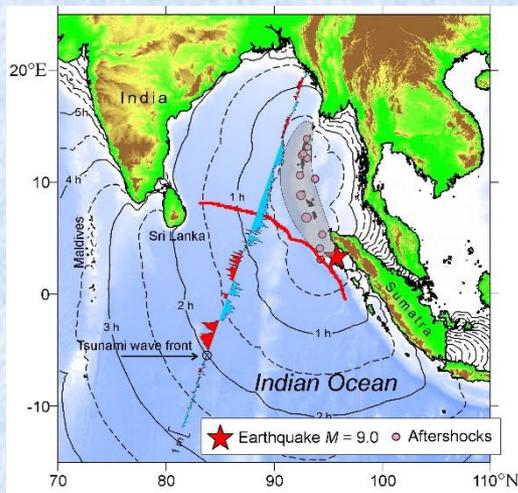


Рис. 2. а:-профиль уровня океана в зависимости от широты. полученный по данным альтиметрии JASON-1 (109 цикл, 129 виток), для сравнения тонкой штриховой линией показан тот же профиль, соответствующий 108 циклу (16 декабря); Т - положение фронта волны. б-результаты спектрально-амплитудного анализа записи цунами (СВАН-анализ), изолинию проведены через 2 дБ. отсчитываемые от максимума (16 см). Нанесена дисперсионная кривая  $cg < k$ , показывающая теоретическое "вступление" соответствующей спектральной компоненты, рассчитанное для закона линейной дисперсии поверхностных гравитационных волн. В нижней части рисунка показана шкала уменьшения безразмерной групповой скорости.

Рис. 1. Карта Индийского океана. Звездочка - положение эпицентра землетрясения 26.12.2004 г.; 2 - положение главных афтершоков; показаны изолинии времен добегания волны цунами с шагом 0.5 ч (по расчетам Сатаке), значения изо-линий нанесены в часах: сплошной линией показана трасса спутника JASON-1 (109 цикл, 129 виток). Вдоль трассы показан профиль уровня океана по данным альтиметрии.

Полученные в работе результаты демонстрируют возможность заблаговременной регистрации опасной волны цунами в открытом океане с помощью современных систем наблюдения за океаном из космоса.

**В 2005 г.** Куликов и др. опубликовали статью по оценке цунамириска для **побережья Перу и Северного Чили**. В работе были использованы три различных эмпирических соотношения между магнитудой землетрясений и цунами для оценки высоты цунами для различных периодов повторяемости. Как «усредненные», так и «максимальные» сейсмологические оценки высоты волн цунами для этого региона значительно меньше фактически наблюдаемого наклона цунами 24–28 м для основных событий 1586, 1724, 1746 годов, 1835 и 1877.

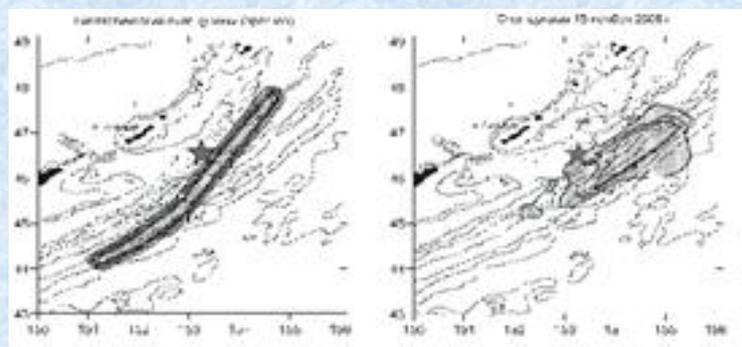
*Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Томсон Р.Е.* К вопросу о долгосрочном прогнозе цунами (на примере побережья Перу и северного Чили) // *Океанология*. 2005. Т. 45. № 4. С. 544-556.

Сотрудники ИО РАН, в числе которых был Е.А. Куликов, предсказали сильнейшие цунамигенные события в **районе Средних Курил**, которые случились в **2006 и 2007 гг.**

С целью изучения Центральной Курильской сейсмической брешы в августе-сентябре РАН провела экспедицию «Курилы-2005». Ее задачей являлось изучение тектонического состояния брешы, выделение сейсмогенных блоков, играющих важнейшую роль в процессе подготовки и реализации сильнейшего землетрясения. На основании этого исследования была предсказана возможная сейсмическая катастрофа в районе Центральных Курил.

*Лаверов Н.п.П., Лаппо С.С., Лобковский Л.И., Баранов Б.В., Кулинич Р.Г., Карп Б.Я. Центрально-Курильская «брешь»: строение и сейсмический потенциал // Доклады РАН. 2006, Т. 408. № 6. С. 818-821*

Е.А. Куликов и др. провели расчет гипотетического цунами, возможного при параметрам, близким к ожидаемым.



Был построен гипотетический очаг цунами (прогноз), рассчитанный в соответствии с клавишной моделью (а); очаг цунами 15 ноября 2006 г. Звездочкой показано положение эпицентра.

Согласно результатам численного расчета цунами, возбужденного гипотетическим источником в районе центральных Курил, оценка высоты заплеска волны достигает для отдельных участков побережья 5–7 м. Соответствующая статья опубликована в книге **"Фундаментальные исследования морей и океанов"** в 2006. Результаты прогноза были блестяще подтверждены событием 15 ноября 2006 г. - эпицентр сильнейшего землетрясения оказался в Тихом океана напротив о. Симушир, то есть именно там, где была указана наиболее вероятная зона возникновения землетрясения (см. рис.)

После двух случаев цунами 2006 и 2007 г. в районе Симушира, было опубликовано несколько статей, примером которых может быть:

*Лобковский Л.И., Рабинович А.Б., Куликов Е.А., Иващенко А.И., Файн И.В., Томсон Р.Е., Ивельская Т.Н., Богданов Г.С.* Курильские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. (наблюдения, анализ и численное моделирование) // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 2. С. 181-197.

**В 2006–2009 гг.** Е.А. Куликов серьезно заинтересовался вопросами **изменения уровня в Балтийском море**. Он являлся соруководителем проекта the Science for Peace NATO (НАТО для мира) «Анализ опасности наводнений в Финском заливе и Санкт-Петербурге». В проекте принимали участие **ведущие ученые России, Канады, Эстонии и Белоруссии**. В рамках проекта была собрана уникальный массив многолетних ежечасных рядов наблюдений за изменениями уровня Балтийского моря.

Ниже привожу фотографию участников гранта Александра Тоомпуу (Эстония), Е.А. Куликова (Россия) и Джозефа Чернявского (Канада).

Работы по уровню Балтики и других морей постоянно продолжались после окончания гранта НАТО Е.А. Куликовым и его учениками И.П. Медведевым и др.

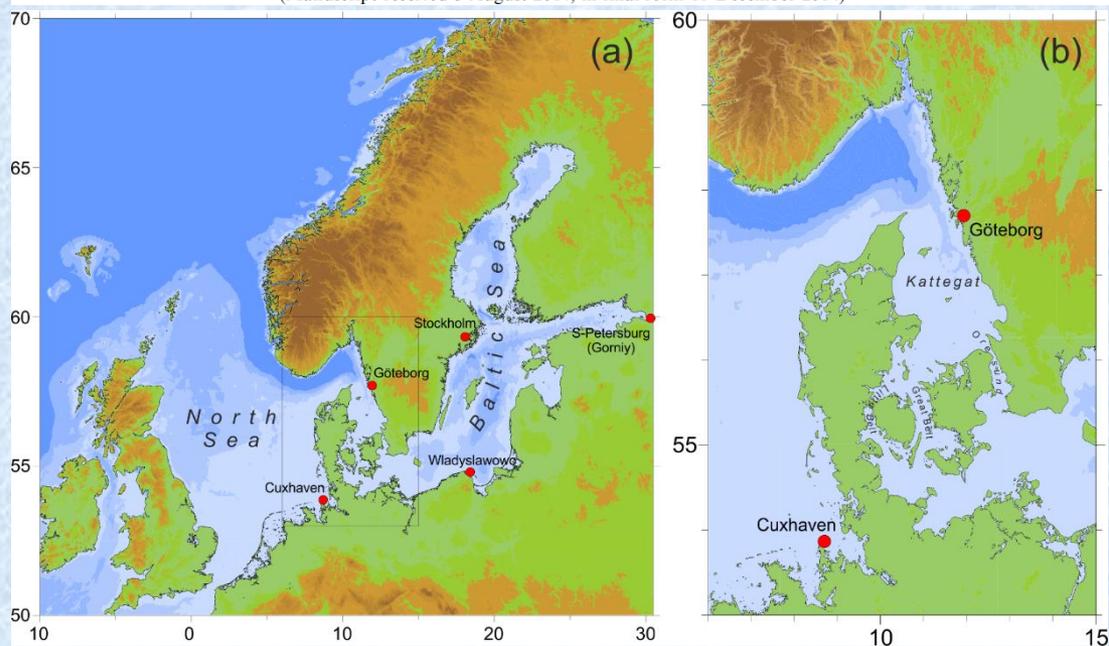
И.П. Медведев собрал уникальный массив данных по уровню Балтики со всех возможных мареографных пунктов. На основе этого была проведена большая исследовательская работа. Два основных результата этой работы я привожу на следующих слайдах, предоставленных И.П. Медведевым.



## Baltic sea level low-frequency variability

By EVGUENI A. KULIKOV<sup>1,2\*</sup>, IGOR P. MEDVEDEV<sup>1,2</sup> and  
KLAUS PETER KOLTERMANN<sup>2</sup>, <sup>1</sup>*P.P.Shirshov Institute of Oceanology,  
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;* <sup>2</sup>*Natural Risk Assessment Laboratory,  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

(Manuscript received 5 August 2014; in final form 11 December 2014)



В работе (Kulikov et al., 2015) по данным длительных рядов наблюдений в Балтийском и Северном морях с помощью взаимного спектрального анализа впервые были получены количественные оценки ограниченной пропускной способности Датских проливов, которые являются естественным низкочастотным фильтром, успешно подавляющим короткопериодные колебания уровня, приходящие извне.

# Low-Frequency Baltic Sea Level Spectrum

Igor Medvedev<sup>1,2\*</sup> and Evgueni Kulikov<sup>1</sup>

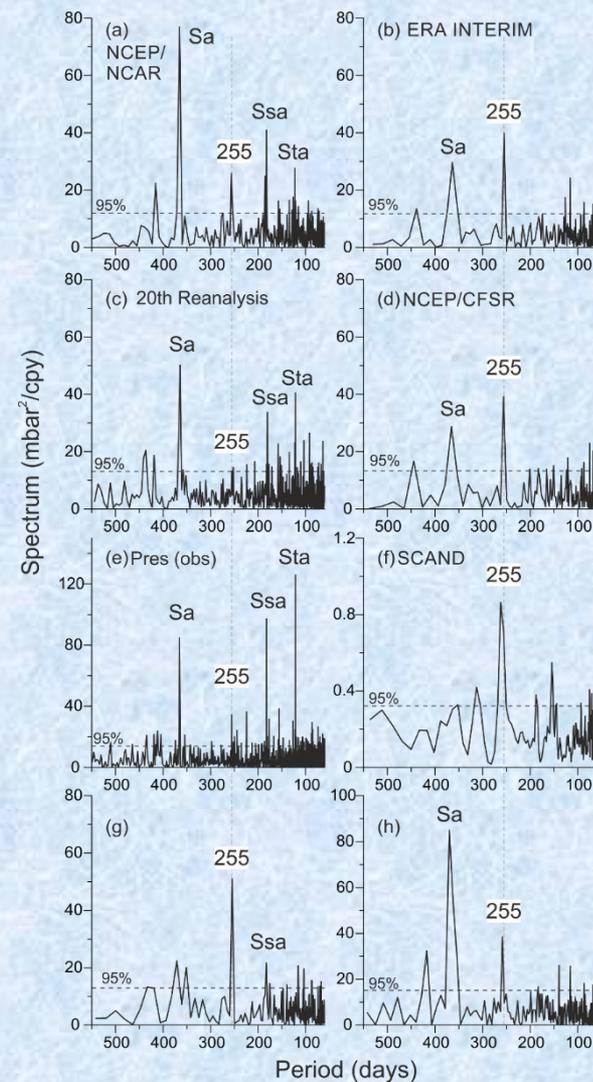
<sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, <sup>2</sup> Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia

Е.А. Куликовым совместно с его учеником И.П. Медведевым было **впервые выделено неизвестное ранее 255-суточное колебание**, характерное как для изменений уровня Балтийского моря, так и атмосферных процессов над ним (Medvedev, Kulikov, 2019).

[Medvedev I., Kulikov E. Low-frequency Baltic Sea level spectrum // Frontiers in Earth Sciences. 2019. 14 p. DOI: 10.3389/feart.2019.00284, <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00284>](#)

В период с 2013 по 2020 гг. у Е.А. Куликова с соавторами вышел цикл работ, посвященный особенностям колебаний уровня в изолированных морях европейской части России.

В этих работах были получены детальные оценки приливных колебаний уровня Балтийского, Черного и Каспийского морей и выявлены физические механизмы их формирования.



После катастрофического **цунами Тохоку 2011 г.** Е.А. Куликов публикует статью «Японское цунами 2011: характеристики распространяющихся волн по наблюдениям и модели», в которой, основываясь на данных глубоководных измерений и моделировании, оцениваются общие пространственные свойства волнового поля в Тихом океане. Эта работа – развитие концепции стохастизации волнового поля, высказанная в ранних работах В. Манка и получившая новые подтверждения в наши дни, благодаря развитию методов наблюдений и моделирования.

*Fine I.V., Kulikov E.A, Cherniawsky J.Y. Japan's 2011 Tsunami: Characteristics of Wave Propagation from Observations and Numerical Modelling // Pure Appl. Geophys. 2013. No 170. P. 1295–1307. DOI [10.1007/s00024-012-0555-8](https://doi.org/10.1007/s00024-012-0555-8).*



2011 г. Часть бывшей Лаборатории физики океана (Сахалин), встреча в Лаборатории цунами.

Е.А. Куликов на своем рабочем месте в ИО РАН

Е.А. Куликов принял решение вернуться к исследованию цунами в Каспийском море. По Каспию им были сделаны несколько работ, но основные результаты получены совместно с А.Ю. Медведевой и И.В. Файном.

Нижеприведенные материалы и основной результат предоставлены А,Ю. Медведевой.

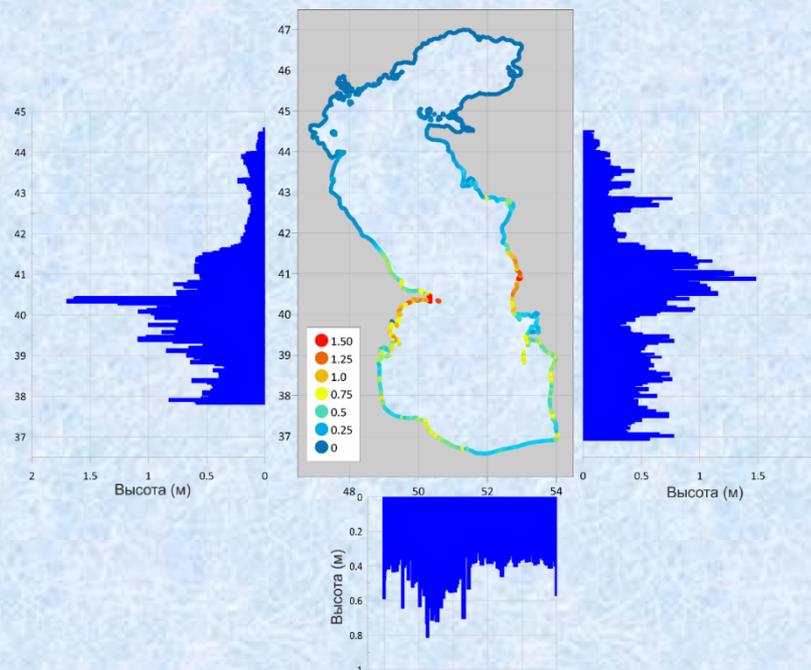
Исследование цунамиопасности на побережье Каспийского моря было проведено на основе вероятностного и детерминистского подходов. Период времени, охватываемый модельным каталогом землетрясений, использовавшимся для расчетов генерации и распространения цунами

с помощью вероятностного метода, составляет около 20 тыс. лет, что больше периодов повторяемости сильнейших возможных землетрясений, и включает в себя 339 событий с магнитудой  $\geq 7$ . Были рассчитаны максимальные высоты волн цунами на побережье с периодами повторяемости 250, 500, 1000 и 5000 лет и построены соответствующие обзорные карты цунамирайонирования Каспийского моря.

Было получено, что для западного побережья максимальная высота цунами, возможная раз в 1000 лет составила порядка 2 м, 1 раз в 5000 лет – 6.5 м. Для восточного побережья – 1.5 м и 11 м соответственно. Выполнены оценки цунамиопасности

для побережья в районе г. Каспийск и Апшеронского полуострова: в рамках детерминистского подхода рассчитаны максимальные высоты волн и дальности затопления, которые составили в районе Апшерона около 2.5–3 м и накат – 1500 м. Т.о. оценки, полученные с помощью детерминистского подхода несколько выше на 0.5–1 м.

[Куликов Е.А., Медведева А.Ю., Файн И.В. Оценка опасности цунами в Каспийском море // \*Океанологические исследования\*. 2019. Т. 47. № 5. С. 74-88.](#)



**АРКТИКА.** Евгений Аркадьевич решил переключиться на ставшую актуальной проблему Арктики. Его заинтересовали вопросы возможности цунами в Северном Ледовитом океане: наличие очагов подвижек земной коры, распространение волн в ледовых условиях, высоты заплесков на российском побережье, значимость этой проблемы и др. вопросы. В 2017 году был одобрен грант РФФИ-РГО «Цунами в Арктике» № 17-05-41144. В рамках этого проекта, основными исполнителями которого были **Е.А. Куликов** и **А.И. Иващенко** и в котором участвовали практически все сотрудники лаборатории, был проведен целый ряд серьезных исследований и расчетов, которые до этого НИКОГДА не делались для региона Северного Ледовитого океана.

Алексей Илларионович составил уникальный синтетический каталог. Он основан на использовании статистической модели сейсмичности региона, разработанной с учетом данных об исторических землетрясениях и характеристиках региональной тектоники. Результаты моделирования цунами были статистически обработаны. Были построены графики повторяемости рассчитанных максимальных высот цунами для 500, 1000, 5000 и 10000 лет для всего арктического побережья РФ.

К сожалению, Евгений Аркадьевич и Алексей Илларионович не успели сделать английскую версию статей, а в России они были опубликованы в журнале «Геориск»:

*Куликов Е.А., Иващенко А.И., Медведев И.П., Яковенко О.И. Цунамиопасность арктического побережья России. Часть 1. Каталог вероятных цунамигенных землетрясений // Геориск. 2019. Т. 13. № 2. С. 18–32.*

*Куликов Е.А., Иващенко А.И., Медведев И.П., Файн И.В., Яковенко О.И. Цунамиопасность арктического побережья России. Часть 2. Численное моделирование цунами // Геориск. 2019. Т. 13. № 3. С. 6–17.*

В первой части исследования **Алексей Илларионович** создал синтетический каталог возможных события для Арктического региона. Результаты этой работы представлены на рис. 2

Рис. 1. Эпицентры сильнейших землетрясений Арктического региона (севернее широты 65° с.ш.) с магнитудой  $M_w \geq 5,5$ , зарегистрированных за весь период инструментальных сейсмологических наблюдений (1900–2018 гг.)

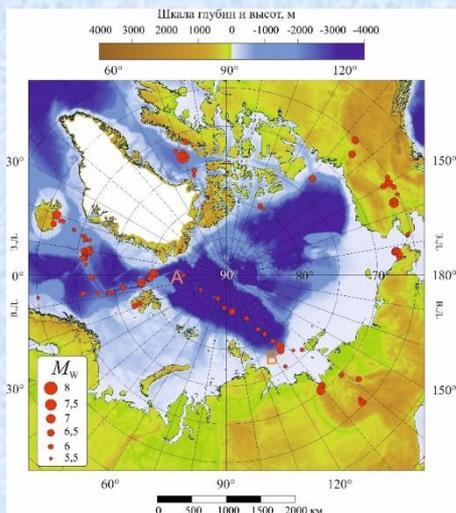
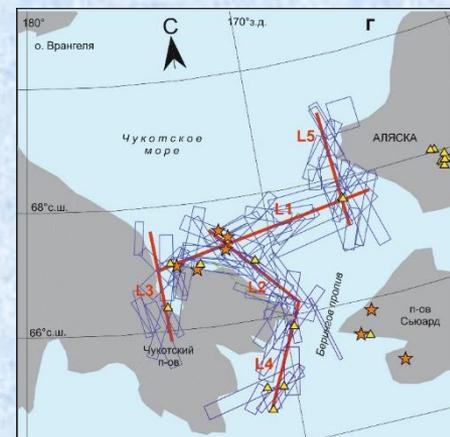
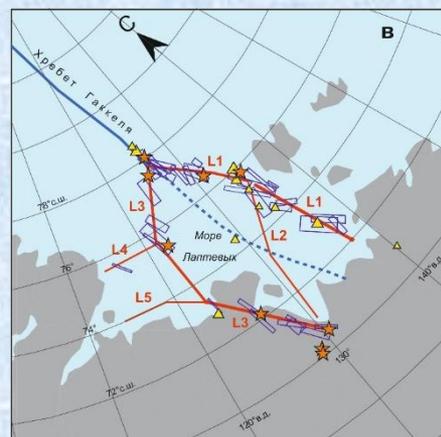
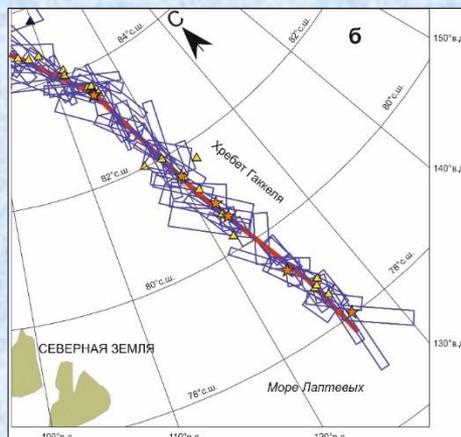
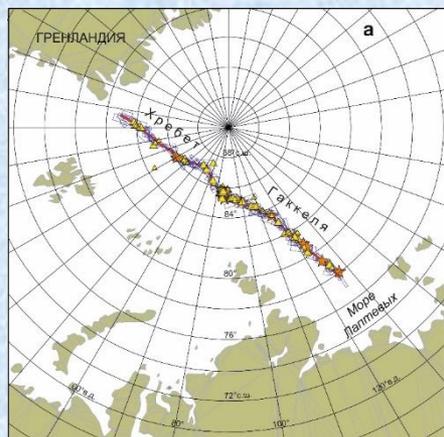
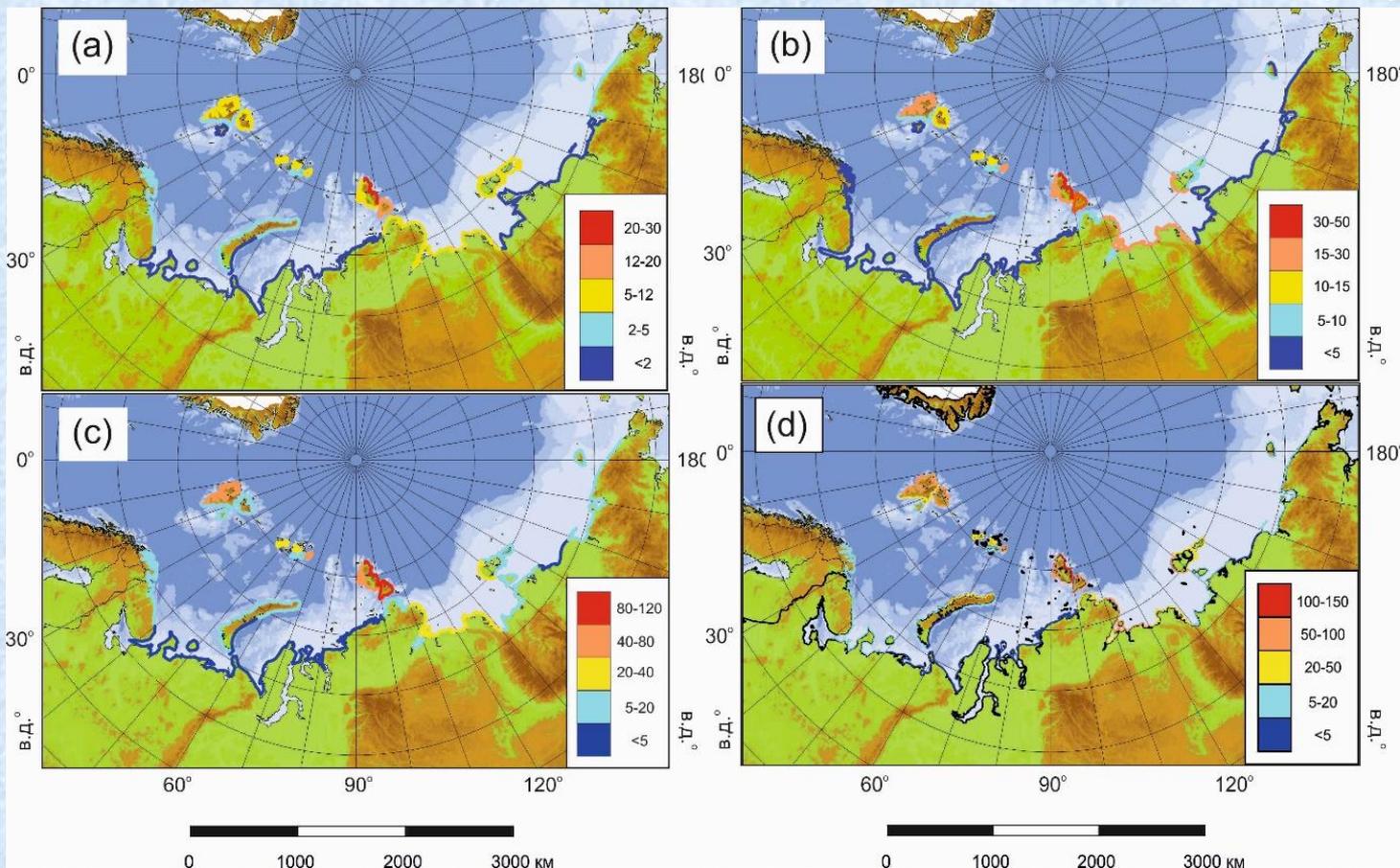


Рис. 2. Контуры проекций на земную поверхность площадок разрыва в очагах модельных землетрясений магнитудой  $M_w \geq 7.5$ , сгенерированных на временной интервал  $\sim 300\,000$  лет (тонкие линии синего цвета). Показаны эпицентры землетрясений с  $M_w \geq 5$  за период инструментальных сейсмологических наблюдений (1906–2018 гг.): звездочками – по каталогу ISC-GEM, за период до 1976 г.; треугольниками – по каталогу CMT, за период после 1976 г. Сплошными линиями красного цвета показаны: осевая зона хребта Гаккеля (рис. а и б) и вероятные линейные зоны L1 – L5 возникновения очагов землетрясений (рис. в и г). а – зона подводного хребта Гаккеля ( $n = 154$ ); б – в увеличенном виде – восточный сегмент хребта Гаккеля; г – зона моря Лаптевых ( $n = 34$ ); д – зона Чукотского моря с Беринговым проливом ( $n = 77$ );  $n$  – число событий с  $M_w \geq 7.5$  в модельном каталоге



Во второй части работы, которую выполнял в основном Евгений Аркадьевич, было проведено цунамирайонирование арктического побережья России, показанное на рисунке.

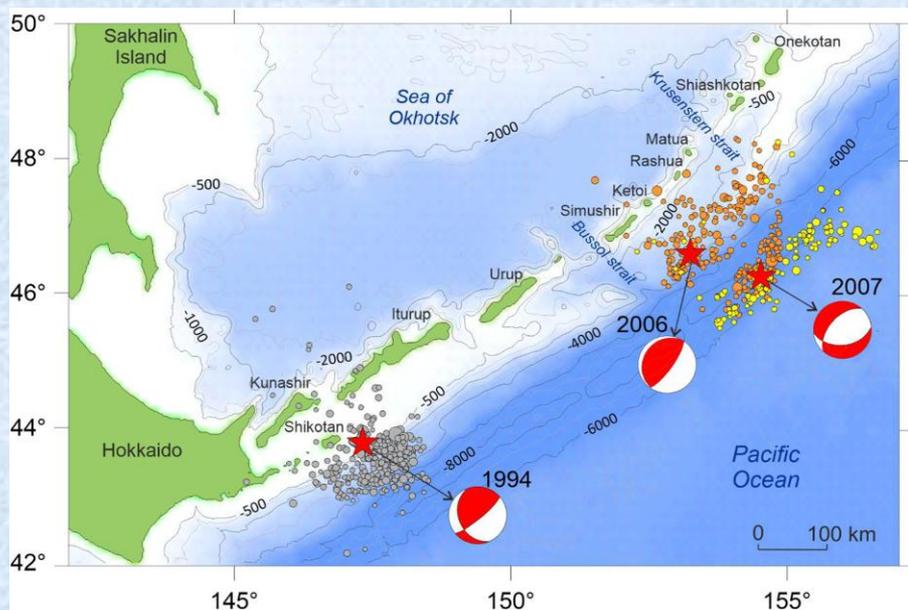


Обзорные карты цунамирайонирования российского побережья Арктики для периодов повторения воздействий 500 лет (a), 1 000 лет (b), 5 000 лет (c), 10 000 лет (d). Цветом показаны градации цунамиопасности побережья в единицах ожидаемой максимальной высоты волн цунами (см)

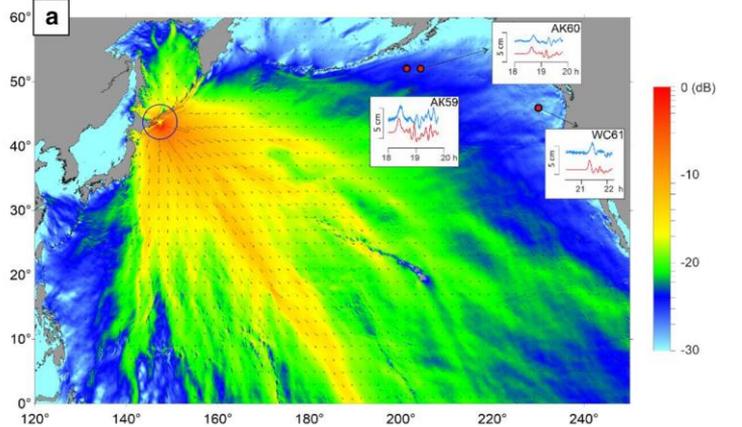
Несмотря на то, что опасность цунами сейсмического происхождения оценивается как невысокая, представленные результаты могут в дальнейшем быть учтены в расчетах экстремальных ледовых нагрузок как дополнительные факторы риска. В Арктическом регионе образование значительных волн цунами в результате схода оползней вполне вероятно. Формирование потенциально цунамиопасных оползней может быть связано, например, с образованием конусов выноса сибирских рек - Оби, Енисея и Лены, а также может являться наблюдаемое в последние годы потепление климата в Арктике.

Последней почти законченной работой было исследование совместно с А.А. Ивановой эффективность цунами при землетрясениях 1994, 2006 и 2007 гг. в районе Курильских островов. Работа выходит либо в конце этого года, либо в начале следующего.

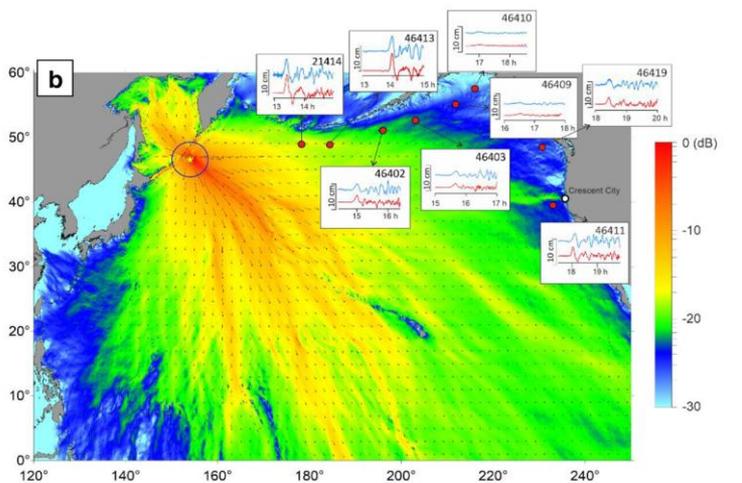
Три крупных землетрясения около Курильских островов (4.10.1994 г. Mw = 8.3; 15.11.2006 г. Mw = 8.3 и 13.11.2007 г. Mw = 8.1) вызвали трансокеанские цунами, которые были зафиксировано во всем Тихим океане. Источники цунами имели существенно различалась геометрия. В результате расчетов видим, что источник 2007 г. имел четко определенную направленность потока энергии, а энергетическое излучение цунами 1994 г. было самым изотропным. Диаграммы излучения каждого источника ясно показывают долю волновой энергии, излучаемой в открытый океан, и в Охотское море через Курильские проливы или был захвачен шельфом и распространился из зоны источника вдоль Курильской гряды. Показано, что поток энергии, направленный на берег, представляет собой ключевой фактор, определяющий амплитуды цунами на побережье.



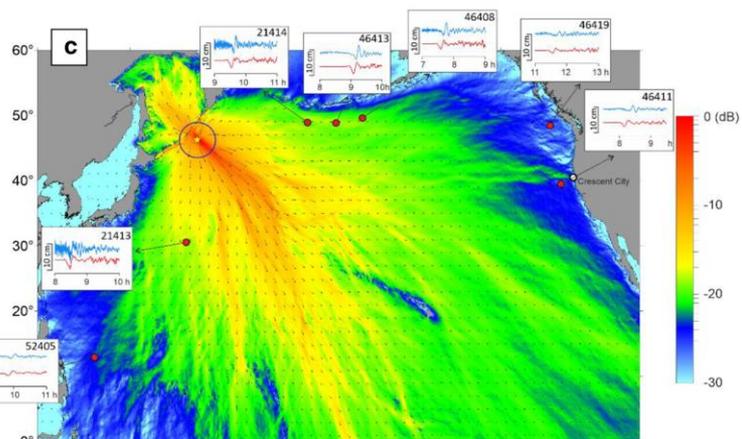
Увеличенная область, где произошли три курильских события с механизмом очага (бело-красные шарики). Показаны афтершоки с Mw от 4.5 до 10 дней после главного землетрясения (серые кружки для 1994 г., оранжевые для 2006 и желтые для 2007 г; их размер зависит от магнитуды)



Диаграммы излучения для каждого события. Тонкие красные и синие кривые обозначают начальные смещения морской поверхности (поднятие - красный и понижение - синий) с шагом 0,1 м. Черные круги имеют радиус = 300 км и указывают контуры, по которым распространялась удельная энергия. Толстые красные линии обозначают полную энергию нормированную на среднюю удельную энергию, толстые синие линии обозначают аналитические функции направленности, а толстые зеленые линии обозначают диаграммы направленности в случае плоского океана



У Евгения Аркадьевича были обширные планы дальнейшей работы, в которую он предполагал вовлечь своих молодых сотрудников.



Е.А. Куликов имел учеников и коллег по всему миру – в России от Сахалина до Москвы, в Европе, в Канаде и в США. Лаборатория цунами ИО РАН. Е.А. Куликов оставил яркий след в океанографии, в науке о цунами, а также в памяти многочисленных друзей и коллег по всему миру как замечательный ученый, наставник и прекрасный человек.

Е.А. Куликов в 2018 году сделал заведующим лабораторией своего ученика Игоря Павловича Медведева, что позволило лаборатории сохраниться после катастрофической потери Алексея Илларионовича и Евгения Аркадьевича.



2019 г. Алексей Илларионович



2013 г. Евгений Аркадьевич на любимом острове Кулебре в Карибском море

*Рабинович А.Б., Файн И.В., Медведев И.П., Яковенко О.И. [Памяти Евгения Аркадьевича Куликова \(27.01.1950 – 21.11.2020\)](#) // Океанологические исследования. 2020. № 4. С. 177-192.*

*Яковенко О.И., Медведев И.П., Кайстренко В.М., Ковачев С.А., Крылов А.А. Памяти Алексея Илларионовича Иващенко (1.11.1941 – 16.11.2020) // Океанологические исследования. 2020. № 4. С. 193-204.*