

# ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЦУНАМИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Геннадий Афанасьевич Кантаков (ГК),  
НПО «ДЭКО», МВА HR, к.г.н.

1

## О чем презентация

- О научном наследии академика *СЕРГЕЯ ЛЕОНИДОВИЧА СОЛОВЬЕВА* и остальных;
- Об отсутствии флагов в науке на примере решения задач по цунами;
- О важности преемственности на примере исследований длинных волн;
- О бесперспективности международных, ведомственных или межведомственных подходов в создании цельных систем предупреждения цунами;
- О реальности собственных технических разработок и их неизбежном прогрессе.

# О важности преемственности на примере любых исследований (следовательно, и длинных волн тоже)

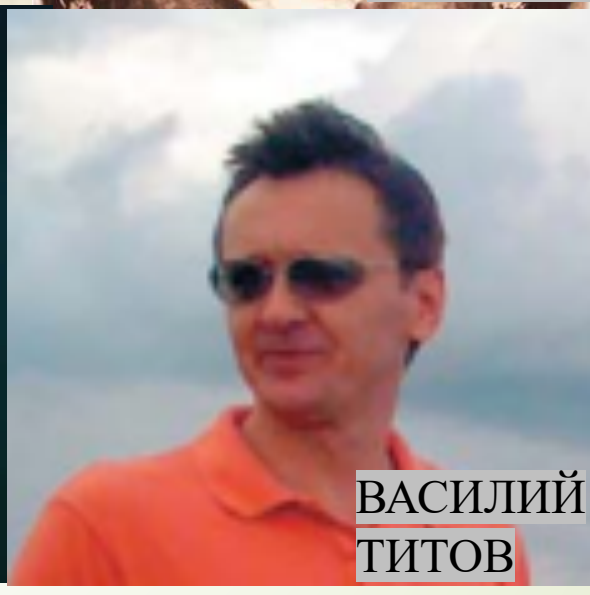
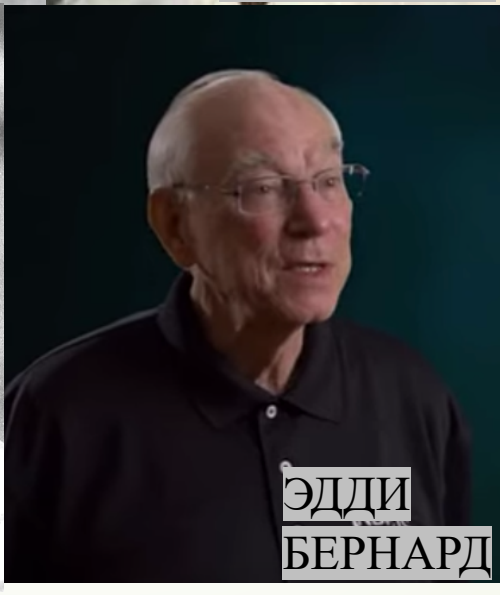
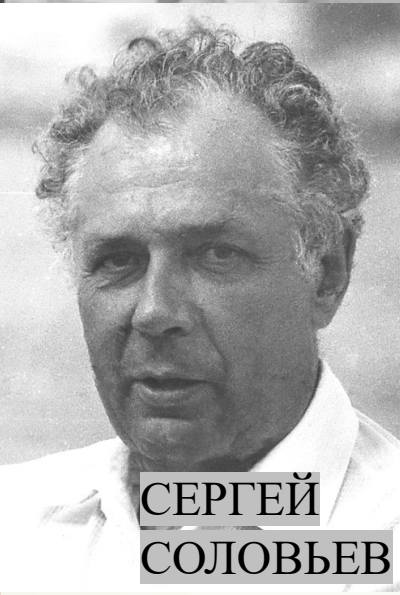
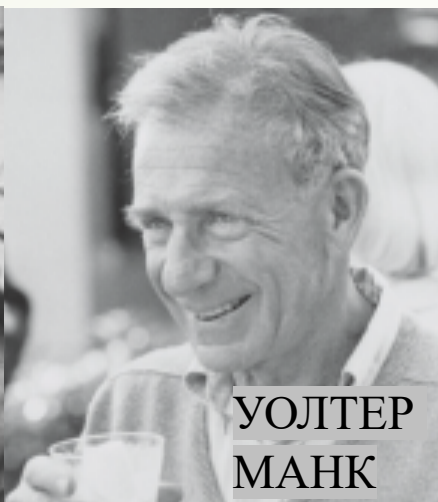
➔ Четверг 26 сентября 2024 г. - Ученый совет Геологического направления

Учёный совет Геологического направления ИО РАН - 26 сентября 2024 г. в 14:00 в Малом конференц-зале (возможно онлайн подключение).

**ПОВЕСТКА ДНЯ:** Доклад доктора технических наук Д.Г. Левченко «Проблемы и перспективы использования стабилизированных буев в Курило-Камчатском сейсмоактивном регионе в задачах мониторинга движения дна».

**Источник:** <https://ocean.ru/index.php/novosti-left/zasedaniya-uchenykh-sovetov/item/3208-chetverg-26-sentyabrya-2024-g-uchenyj-sovet-geologicheskogo-napravleniya>

# Об отсутствии флагов в науке (эволюция DART)





# О научном наследии академика *СЕРГЕЯ ЛЕОНИДОВИЧА СОЛОВЬЕВА* и остальных



борт НИСП *Валериан Урываев* (1978 г.),  
фото Дмитрий Москаленко (с)



борт НИС *Академик Шокальский* (2014 г.),  
фото Лев Рыжков (Росгидромет) (с)

## О недостаточности международных, ведомственных или межведомственных подходов для решения задач цунами в части создания готового продукта

- Роспуск WG 27 SCOR (1976), распад взаимодействия команд Миллера и Соловьева в конце 1970-ых (US-USSR ECT, 1972);
- Старт госпрограммы цунами в 1980 гг. и ее фиаско в 1990-ых;
- Успешная работа 2009-2014 гг. межведомств. программы МЧС/РАН/РГМ на берегу и открытом океане, затем разрушение! сети уровенных станций Курил, сознательный обрыв финансирования, оставление станций DART в океане, устаревший и методически ложный возврат к МГМ как основному по определению цунамигенности землетрясений (28%, Шевченко 2011), беспробудный вандализм открытых вод - Convention on the Law of the Sea (UNCLOS; часть XIII, раздел 4, гл. 260, раздел 5, гл. 263(2));
- 2004 – конец программы разработки DART, но Суматра! Поддержка и возобновление разработок на новом уровне как части системы.

# О перспективах собственных технических разработок и их применения (0) Эволюция DART и связанные события 1965 – н.в.

7

№п/п	Годы	Описание	Район исследований	Источник
1	1965 — начало 1980-х	Автономные регистраторы уровня моря различных модификаций как прототипы. Переход от аналоговой схемотехники к цифровой. Постепенное совершенствование глубоководных датчиков давления (модели Borg-Warner, Hewlett-Packard, Paroscientific и др.), а также систем всплытия.	Западное побережье США, Экваториальная Пацифика, залив Аляска, Атлантика, Антарктика	Eyries (1965), Snodgrass(1968), Jean Filloux(1969), Vitoucek, Miller (1970) Cartwright (1972), Harvey et al. (1976) Curtis, G.D., H.G. Loomis (1980)
1а	1972–1979	Подготовка и проведение двух экспедиций СССР-США по цунами (1975 и 1978 гг.). Глубоководные автономные регистраторы с вибрационно-частотным сенсором гидростатического давления модели 8150 Borg-Warner Corp.	Западная часть Тихого океана	Лаппо, Соловьев (1976), Харви, Витусек, Шинмото (1977), Куликов и др. (1979)
1б	1979	Первая регистрация цунами автономным прибором в открытом океане.	Восточная часть Тихого океана	Jean Filloux (1982)
2	1980–1987	Прототипы глубоководного BPR и системы предупреждения цунами через спутниковый канал. Три требования по глубоководному измерению цунами: 1) программа наблюдений цунами, 2) моделирование и приложения, связанные с краевыми эффектами, 3) цунамигенная идентификация землетрясений. Разработка прототипов мелководного BPR. Тороидальные буи ТАО со спутниковой передачей данных	Северо-Восточная Пацифика Морское побережье США Гавайи, западное побережье США, экваториальная область Тихого океана	Bernard, E.N. (1983) Bernard et al. (1984)
3	1985–1988	Проект THRUST, первый сегмент космической связи в реальном времени, численное моделирование цунами	Чили, Вальпараисо	Bernard, Behn, and Milburn 1988
4	1986–1991	Прототипы BPR-A, BPR-B, BPR-C, BPR-D	Северо-Восточная Пацифика	Eble, Gonzalez 1991 Rabinovich, Eble, 2016
5	1995	DART первый прототип	Свал глубин Вашингтон-Орегон, Тихий океан	Meinig et al., 2005
6	1998	DART-I (автономная система реального времени с системой передачи данных океан — берег)	Тихий океан, залив Аляска	González et al., 1998
7	2009	DART-II (автономная система реального времени с системой передачи данных океан — берег — океан). Передача лицензии на производство от PMEL в SAIC.	Тихий, Атлантический, Индийский океаны	Spillane et al., 2009
8	2011 — настоящее время	DART — III (ETD), DART — IV (G4)...	Тихий, Индийский, Атлантический океаны	Lawson et al., 2011, Paros et al., 2011



# О перспективах собственных технических разработок и их применения (1) Результаты работы DART РФ в СЗ части Тихого океана

Номер станции	Координаты	Глубина (м)	Отслеженные сигналы раннего предупреждения о цунами	Примечание
<b>21401</b> <b>STB DART-II*</b>	42°37'0"N 152°35'0" E	5260	(15) 11.07.2014 (14) 23.09.2014 (13) 06.12.2013 (12) 11.04.2012 (11) 24.03.2012 (10) 20.03.2012 (9) 14.03.2012 (8) 16.09.2011 (7) 10.07.2011 (6) 13.03.2011 (5) 12.03.2011 (4) 12.03.2011  <u>(3) 11.03.2011</u>  (2) 09.03.2011 (1) 21.12.2010	*BPR не работает с 17.07.2014 г., ВВ 17.09.2014 г.  <u>Тохоку</u>
<b>21402</b> <b>STB ETD</b>	46°29'15"N 158°20'36" E	4944	(7) 08.12.2016 (6) 30.01.2016 (5) 14.10.2015 (4) 23.06.2014 (3) 24.05.2013 (2) 05.01.2013 (1) 07.12.2012	Станция отработала за пределами регламентного срока службы (июнь 2014 — апрель 2017 г.)



# О перспективах собственных технических разработок и их применения (2) Нужно ли закупать или дублировать DART в СЗ части Тихого океана?

- Восстанавливать прибрежные уровенные станции Курил!
- Возвращаться к разработкам Соловьева и Миллера – значит идти снова в открытый океан! Основа мониторинга цунами - измерения *IN SITU* Открытого Океана (ОО);
- Создание DARTа РФ на основе собственного датчика давления (остальные техвопросы решены)
- Рассматривать новые технические подходы – например, сенсоры ультранизкого спектра измерений ускорений диапазона  $10^{-1} - 10^{-3}$  Гц для измерений волновых движений ОО и последующей фильтрации для выделения сигналов цунами волн;
- Совмещать датчики разных станций для детекции цунами по параметрам – уровень, сейсмика, подводная пассивная акустика, анемобарика, сигналы ионосферных возмущений как предвестников цунамигенных землетрясений;
- Организация мониторинга уровня ОО автономными круглогодично движущимися платформами в заданных районах наблюдения с передачей данных он-лайн;
- Отличный пример - Панорамный радиоальтиметр (Куликов и др., 2023)

# Теоретическая возможность измерений денивеляции уровня океана из космоса

$$\Delta h = \frac{\lambda H}{2\pi l_z \text{Ctg}\gamma_n \text{Cos}\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_n - \theta\right)} \frac{\sum_{n=1}^{n=N} \text{Sin}(\varphi_n - \alpha_n)}{\sum_{n=1}^{n=N} \text{Cos}(\varphi_n - \alpha_n)}, \quad (2)$$

где  $\varphi_n$  — измеряемая разность фаз,  $\alpha_n$  — аппаратурная (учитываемая) разность фаз, возникающая из-за различия угла визирования  $\gamma_n$  и угла визирования зеркальной точки. Флуктуационно-уровенная чувствительность (3) определяется шириной спектра сигнала  $\Delta f$ , размером осредняющей площадки  $d$  и удельным (на 1 м<sup>2</sup>) числом независимых отсчетов сигнала  $N_0$  (4):

$$\sigma_{\Delta h 0} = \frac{c}{4\Delta f d \sqrt{N_0} \cos \gamma_0}, \quad (3)$$

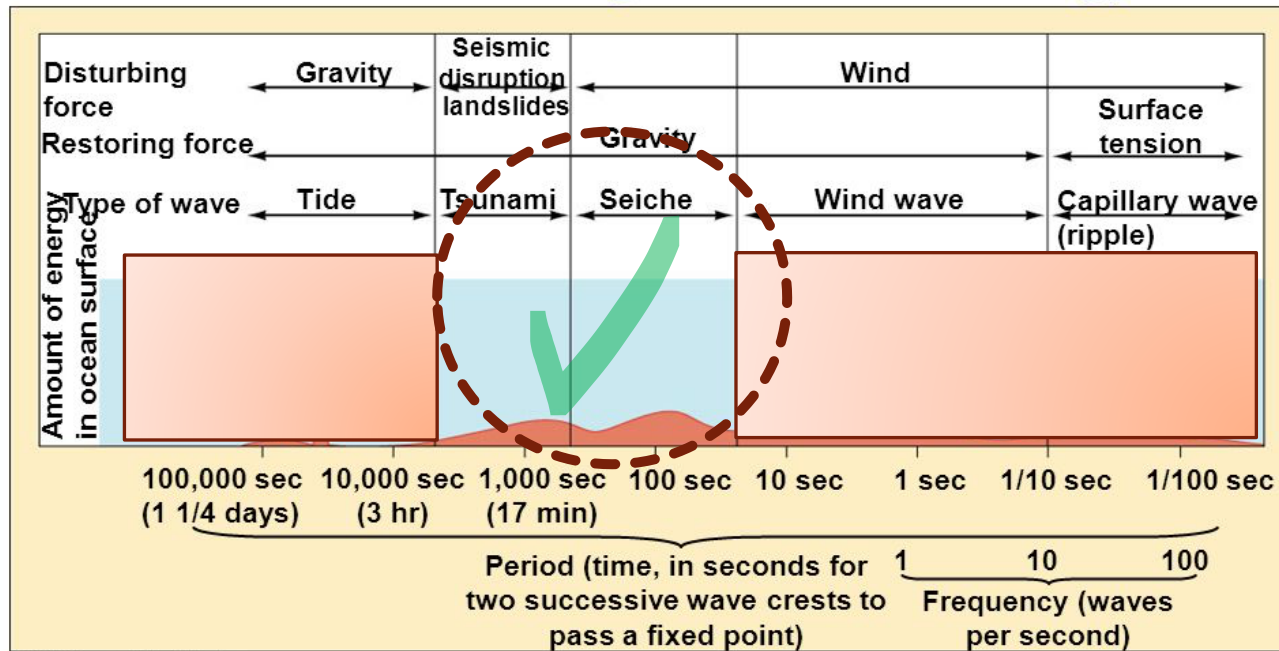
$$N_0 = \frac{2}{D_{x2} r_y} = \frac{8\Delta f}{c D_{x2}} |m| \cos^3 \gamma_0. \quad (4)$$

Источник: Куликов и др. 2023 DOI 10.48612/fpg/nxgz-bbuz-mu52

# Многоосевые сенсоры ускорений $10^{-1} \sim 10^{-3}$ Гц

11

## Period (& wavelength) and Wave Energy



© 2007 Thomson Higher Education

Waves transmit energy across the ocean's surface. Wave energy in the ocean as a function of the wave period. As the graph shows, most wave energy is typically concentrated in wind waves. However, large tsunami, rare events in the ocean, can transmit more energy than all wind waves for a brief time. Ides are waves - their energy is concentrated at periods of 12 and 24 hours.

Application	Piezoelectric	Capacitive MEMS	Piezoresistive
<b>Static Acceleration</b> (0 Hz, 1 g) Gravity, Sensor Orientation			
<b>G- Force</b> (0 Hz, <25 g) Rocket, Centrifugal, Aircraft		✓	✓
<b>Seismic</b> (<1 Hz, <1 g) Earthquake, Waves, Bridges	✓	✓	✓
<b>Low Frequency Vibration</b> (<5 Hz, <25 g) Human Motion, Robotics	✓	✓	✓

Источники: Thomson Higher Education©; Steve Hanly (PC); Shimizu K., Nagai T., Lee J.H., Izumi H., Iwasaki M., Fujita T. (2006), Development of real-time tsunami detection system using offshore water surface elevation data, Proceedings of Techno-Ocean 2006—19th JASNAOE Ocean Engineering Symposium, Kobe, Japan, n. 24.

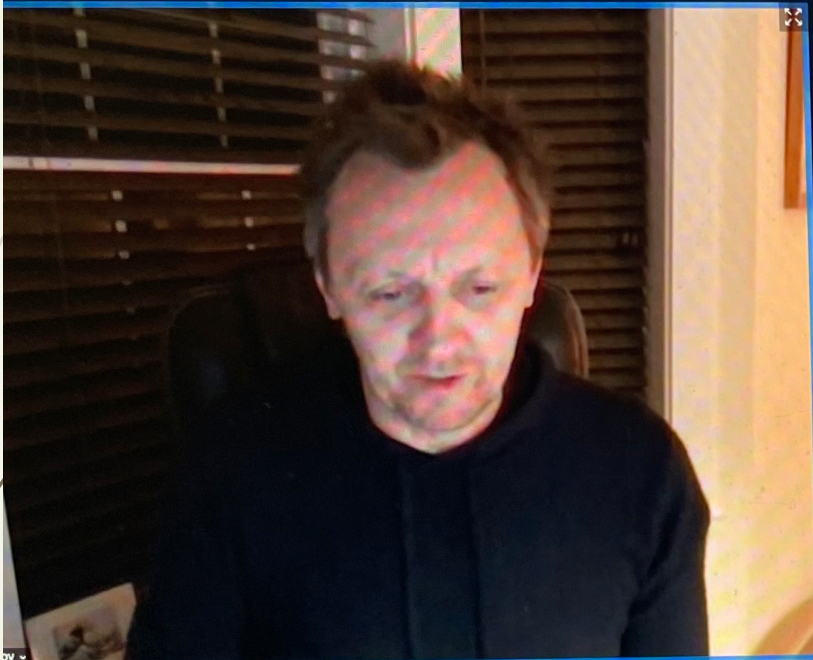
## О преемственности в науке на примере исследований длинных волн ( $P_i$ –поколение океанологов)

➤ DART  $\cong$  Sverdrup (0) – Munk(1) – Miller(2) – Bernard(3) – Titov(4) - ... ( $\sum P_i = 5$ )

➤ YET UNKNOWN TECHNOLOGY = Соловьев(0) – Лаппо, Куликов, Рабинович,...(1) - Медведев, ... (2) - ... ( $\sum P_i = 3$ )

Для любой  $\sum P_i \Rightarrow 3$  ее  $f(P_i) \neq 0 \therefore$  при  $t \Rightarrow \infty f(P_i) \Rightarrow \max (n \Rightarrow 1)$





# Можно ли полностью избежать жертв от цунами?



В. Титов  
NOAA Center for Tsunami Research  
Pacific Marine Environmental Laboratory  
<https://nctr.pmel.noaa.gov>





# Ушедшим и идущим дорогой цунами – Спасибо!

14

