

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЛНОГРАФА В ЧЕРНОМ МОРЕ

Епанова К.С.¹, Рябкова М.С.², Титченко Ю.А.²,
Мешков Е.М.², Караев В.Ю.², Беляев Р.В.²,
Яблоков А.А.², Баранов В.И.³, Очередник В.В.³,
Куклев С.Б.³

1 ННГУ им. Лобачевского, Нижний Новгород
2 ИПФ РАН, Нижний Новгород
3 ЮО ИО РАН, Геленджик

- ▶ Меня зовут Епанова Ксения, я студентка 3 курса радиофизического факультета Нижегородского государственного университета имени Лобачевского. Мой стендовый доклад посвящен измерению высот волнения на Черном море на полигоне «Гененджик» с помощью акустического волнографа.



МОТИВАЦИЯ

Буи позволяют валидировать данные дистанционного зондирования.



- Амплитудные характеристики и направление энергонесущих волн
- Состояние приводного слоя атмосферы (давление, скорость ветра и пр.)

Расположение буев NDBC

www.ndbc.noaa.gov



Более 1200 морских буев

Проблема: буи NDBC нельзя использовать во время замерзания водоема

- ▶ Для валидации данных дистанционного зондирования используются измерения океанографических буев. Например, Американское космическое агентство для валидации данных использует буи NDBC. Они располагаются над водой и измеряют параметры волнения и состояние атмосферы. Однако их нельзя использовать во время замерзания водоема. Для всепогодного измерения параметров волнения в ИПФ РАН был разработан всепогодный подводный акустический волнограф.



ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ ВОЛНОГРАФ «КАЛЬМАР»

Доплеровский
гидролокатор

Импульсный
гидролокатор

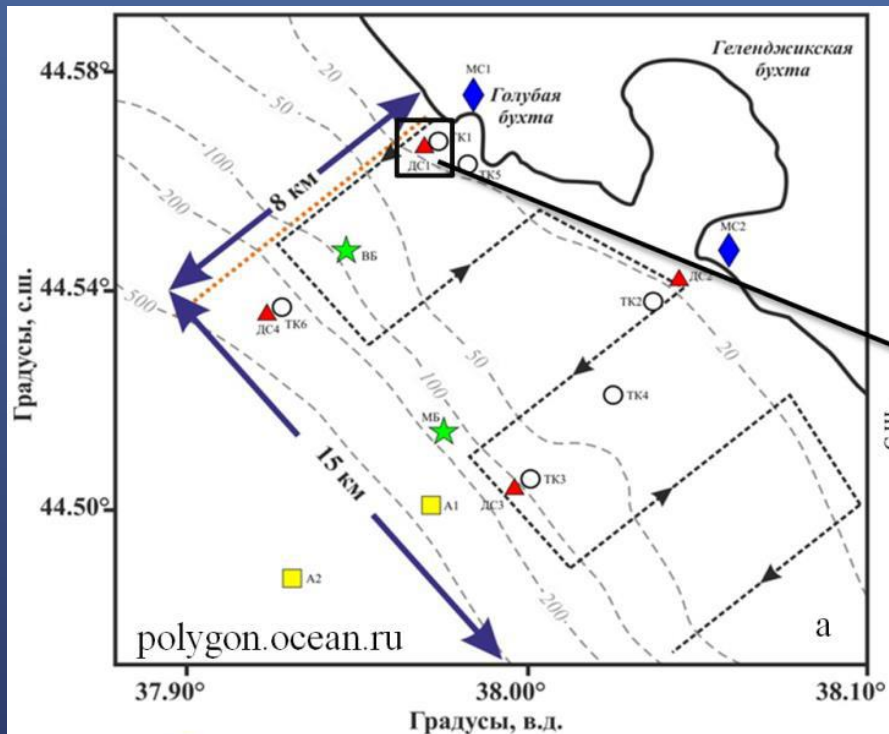


- Высотомер – импульсный, ориентирован в надир, частота 200 кГц (длина волны 7.5 мм), частота повторения импульсов 2 Гц, диаграмма направленности $15 \times 15^\circ$. Длина импульса: 5, 10, 20, **40** мкс
- Доплеровский гидролокатор – непрерывное излучение, частота 200 кГц, наклон 5 градусов от надира, диаграмма направленности $15 \times 15^\circ$

Разработан в ИПФ РАН. Инженер – Беляев Р.В.,
научный руководитель группы – Караев В.Ю.

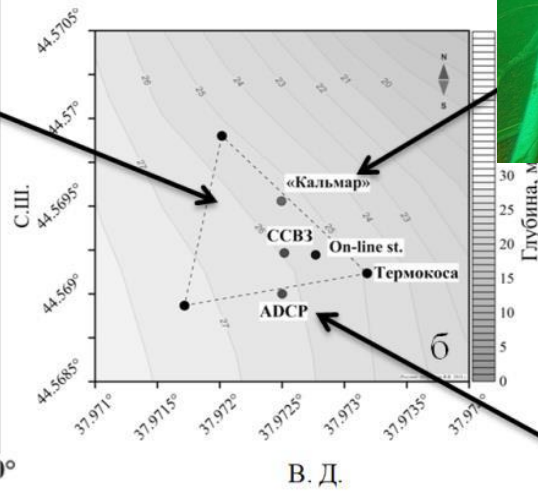
- ▶ Прибор оснащен гидролокаторами, обеспечивающими работу в импульсном (красный гидролокатор) и непрерывном режиме (два белых гидролокатора). «Пирамида» с закрепленным акустическим волнографом установлена на дне так, чтобы приемо-передающая антенна импульсного гидролокатора была ориентирована в зенит, на морскую поверхность.

ПОЛИГОН «ГЕЛЕНДЖИК»



- – Аквалогы; ▲ – донные станции; ○ – термоксы;
- ★ – метео и волномерные буи; - - - – мониторинговый разрез;
- ◆ – метеостанции;

Акустический волнограф «Кальмар»



RDI WHS-600



Акустический волнограф и ADCP установлены в 60 м друг от друга, используют ультразвук для измерения волнения

Рябкова и др., Измерение статистических характеристик морской поверхности с помощью подводного акустического волнографа в Чёрном море и сравнение с ADCP «Современные проблемы дзз из космоса». 2021. Т. 18. № 2. С. 189-204



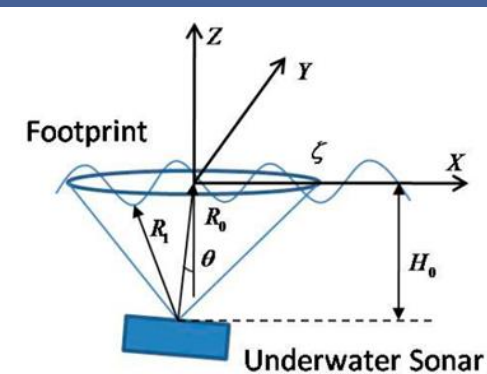
Spotter – буй компании Sofar Ocean (USA)

Рябкова и др., Измерения параметров волнения с помощью акустического волнографа в черном море и сравнение с буюм Spotter // КИМО, г. Москва, 18–24 апреля 2021, С. 522-523

- ▶ Акустический волнограф «Кальмар» был установлен на полигоне «Геленджик». Акустический волнограф производил непрерывные измерения на полигоне с декабря 2019 года, прибор установлен на донной станции в 1 км от берега, глубина установки 28 метров. Было произведено сравнение результатов работы прибора с измерениями ADCP в феврале 2020 года и с буем «Spotter» в августе 2020 года. Было показано, что данные волнографа хорошо согласуются с измерениями других приборов. В данной работе произведено сравнение двух методов обработки данных акустического волнографа за весь период измерений.

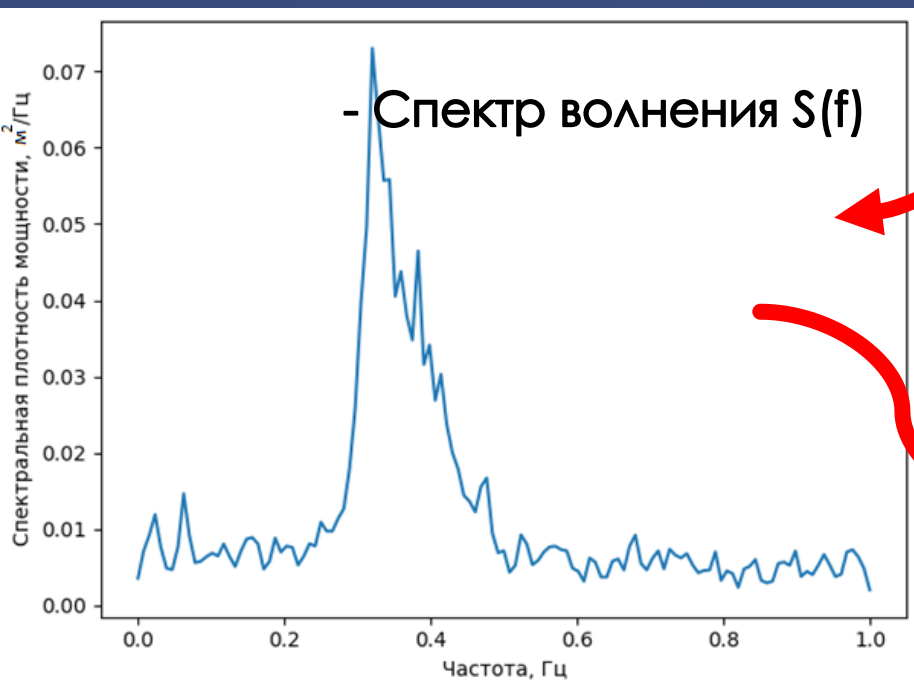
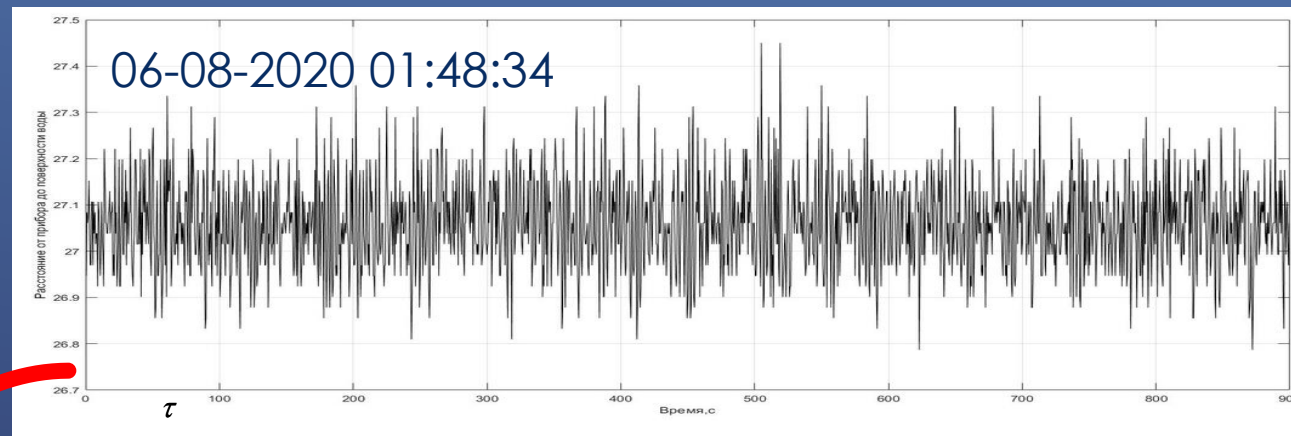
МЕТОД 1 - ВЫЧИСЛЕНИЕ СПЕКТРА

$H(t)$ - Зависимость расстояния от прибора до поверхности воды



τ - время прихода импульса

$$H = c\tau / 2$$



Фурье-преобразование

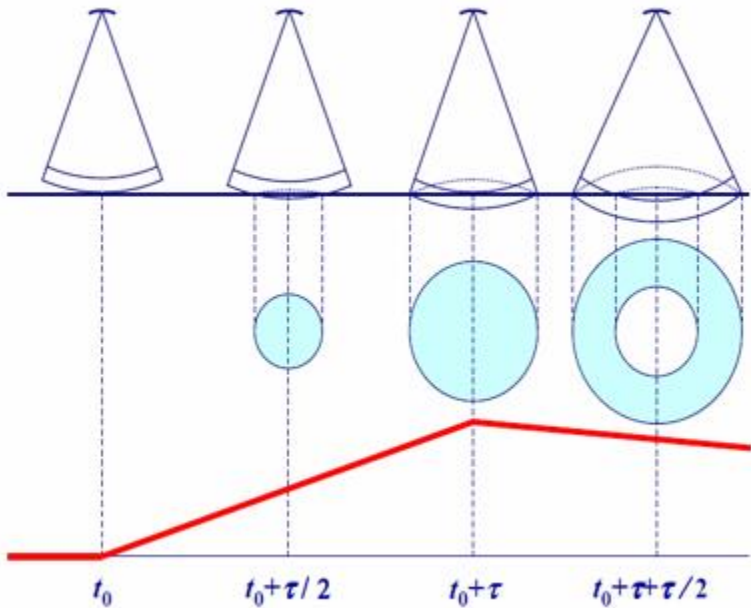
$$H_s = 4\sqrt{\int S(f)df}$$

- ВЫСОТА
ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ВОЛНЕНИЯ

- ▶ Расстояние до поверхности определяется по времени прихода максимума отраженного импульса. Можно восстановить зависимость расстояния от прибора до поверхности воды от времени. Спектр волнения определяется как Фурье-образ этой зависимости.

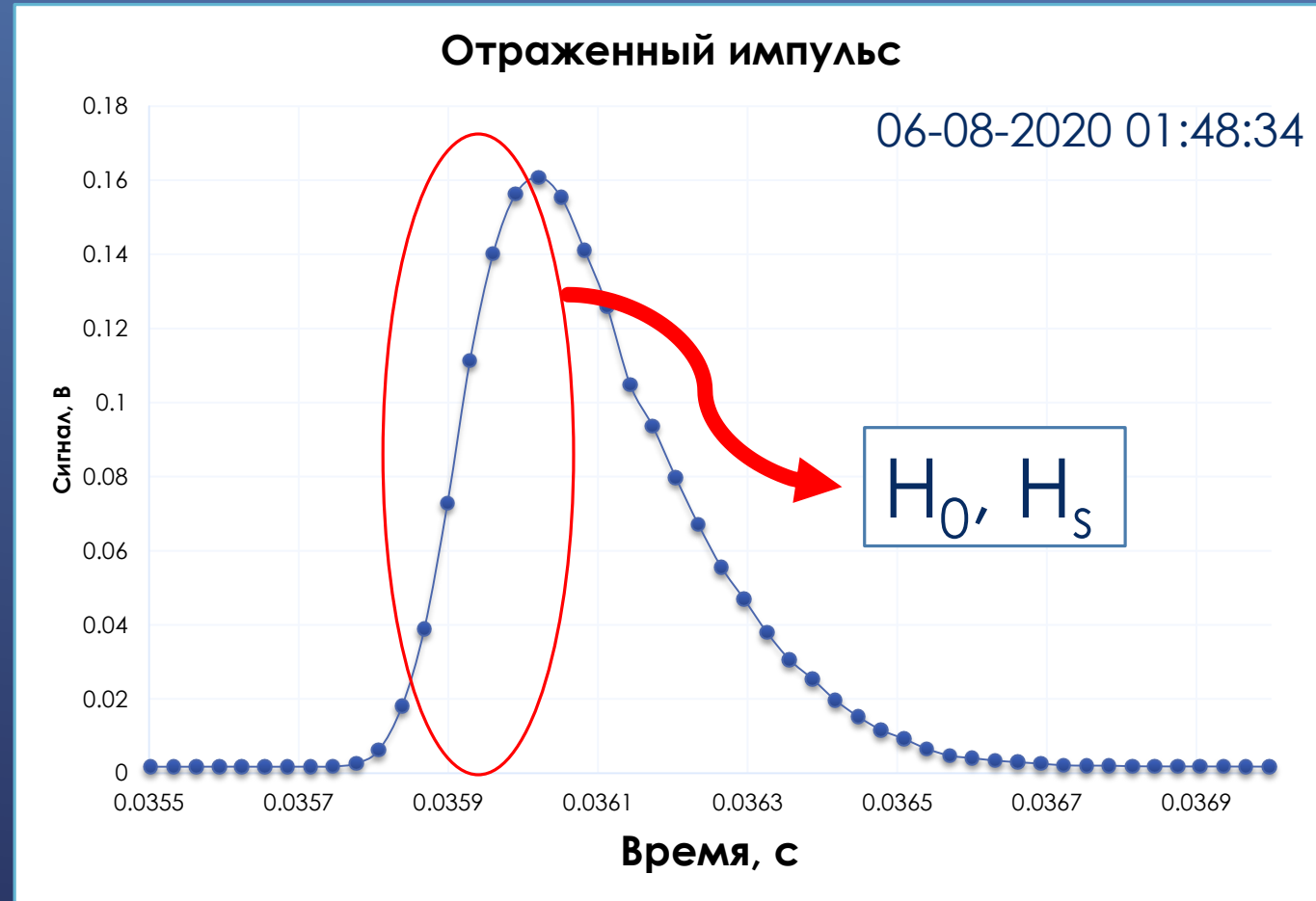


МЕТОД 2 – АНАЛИЗ ФОРМЫ СРЕДНЕГО ИМПУЛЬСА



Спутниковый альтиметр
Диаграмма направленности 1°

В.Ю. Караев и др., Подводный акустический высотомер
Изв. Вуз. Радиофизика. 2014. Т. 57. № 7. С. 543-554

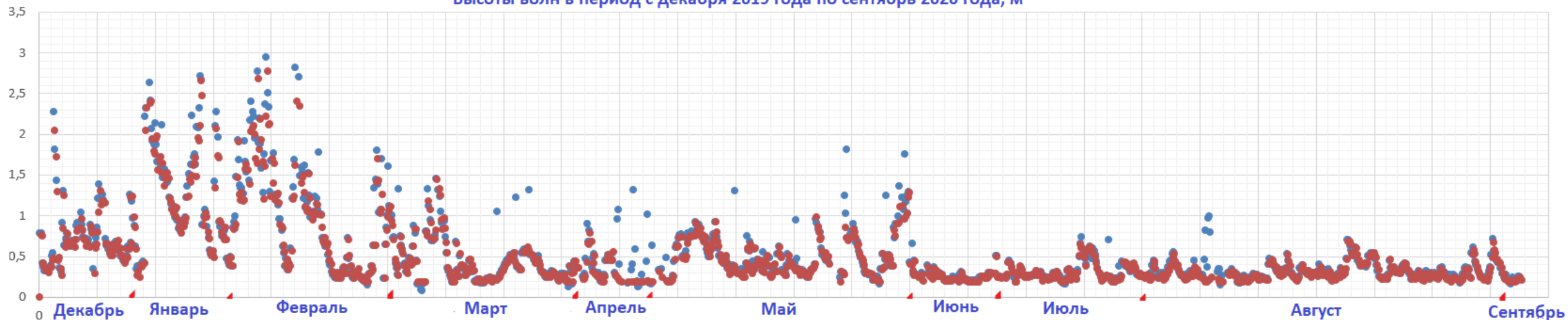


Акустический волнограф
Диаграмма направленности 15°

- ▶ Принцип работы акустического высотомера похож на принцип работы альтиметра и схематически изображен на верхнем рисунке. Интенсивность отраженного импульса начинает расти в момент, когда передний фронт импульса касается поверхности воды, (t_0 на рисунке), затем площадь «засвеченного» круга увеличивается и достигает максимума в момент, когда задний фронт импульса касается поверхности воды (t_0+t , где t – длительность импульса). Хотя акустический волнограф находится на небольшом расстоянии от поверхности воды и имеет широкую диаграмму направленности, в ходе предыдущих работ было показано, что можно использовать для определения параметров волнения те же модели анализа формы импульса, что используются в спутниковой альтиметрии. В теоретической работе В.Ю. Караева с соавторами представлена модель отраженного импульса акустического волнографа. Применяя ее для анализа экспериментальных данных, можем оценить расстояние от прибора до поверхности воды и значительную высоту волнения по наклону переднего склона импульса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Высоты волн в период с декабря 2019 года по сентябрь 2020 года, м



Высоты волн в Голубой бухте вблизи г. Геленджик с декабря 2019 по сентябрь 2020 гг

Синие точки – метод «Вычисление спектра»

Красные точки – метод «Анализ формы усредненного импульса»

Коэффициент корреляции двух методов = 0.97

Коэффициент корреляции двух методов при определении уровня воды = 0.9

- ▶ Уровень воды, определяемый двумя методами, коррелирует с коэффициентом корреляции $r = 0.9$. Были получены ряды данных о значительной высоте волнения в период с декабря 2019 по сентябрь 2020 года. Они представлены на графике. Маркер 1 – метод вычисления спектра, маркер 2 – метод определения высоты по форме отраженного импульса. Коэффициент корреляции между методами = 0.97. (Зимой волнение больше, чем летом).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Если вас интересуют экспериментальные данные, обращайтесь

По акустическому волнографу:

Мария Рябкова *E-mail: mrjabkova@gmail.com*

Юрий Титченко *E-mail: yuriy@ipfran.ru*

Владимир Караев *E-mail: volody@ipfran.ru*

По бую «Spotter»:

Сергей Борисович Куклев *E-mail: kuklev@ecologpro.ru*

По ADCP и полигону «Геленджик»:

Владимир Баранов *E-mail: baranovvlad@mail.ru*

Владимир Очередник *E-mail: v.ocherednik@ocean.ru*

Работа выполнена при поддержке гранта Российского
научного фонда (проект № 20-77- 10089).



Российский
научный
фонд

- ▶ Архив данных сейчас можно получить только от авторов. В дальнейшем планируется выложить его в открытый доступ. Мы заинтересованы в сравнении с другими приборами, чтобы верифицировать наши данные. Планируется совместное измерение со струнным волнографом, чтобы валидировать точность измерения спектра волнения.

