

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИДОННОГО СЛОЯ ВОД МОРЕЯ

Ластовенко О.Р., Лисиутин В.А.

Севастопольский государственный университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ; e-mail: vlisiutin@mail.ru

Поступила в редакцию: 24.07.2019

**Аннотация.** Биологические процессы, связанные с водорослями могут сильно повлиять на распространение звука в прибрежных районах, где присутствуют луга водорослей. Акустический эффект обусловлен производством растениями пузырьков, которые могут оказать влияние на способность обнаружения объектов и на возможности донного картирования гидролокаторами вследствие увеличения помех. В работе использованы данные измерений скорости звука и коэффициента затухания в придонном слое воды и пограничном слое дна, опубликованные в научной литературе. В среде с пузырьками газа частотные зависимости скорости звука и затухания имеют специфичный вид. Приводится дисперсионное уравнение GSED+g теории. Рассматриваются и анализируются дополнительные источники дисперсии и виды потерь, свойственные газонасыщенным средам. В рамках GSED+g теории распространения упругих волн в газонасыщенных морских осадках по измеренным частотным зависимостям скорости звука и коэффициента затухания восстанавливаются физические свойства газонасыщенного придонного водного слоя и пограничного слоя дна.

**Ключевые слова:** дисперсия скорости звука, газонасыщенные морские осадки, коэффициент затухания.

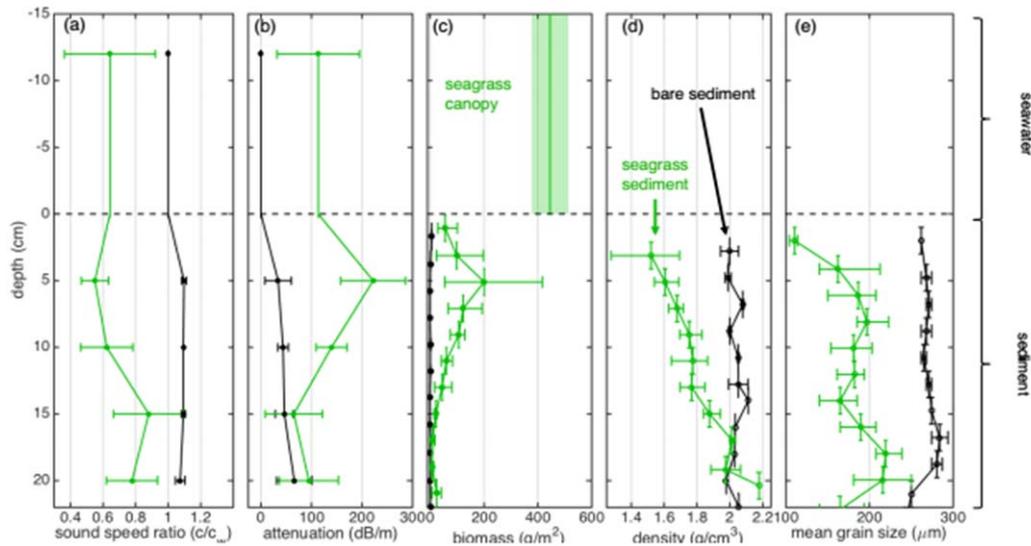
### ВВЕДЕНИЕ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Биологические процессы, связанные с водорослями могут сильно повлиять на распространение звука в прибрежных районах, где присутствуют луга водорослей. Акустический эффект обусловлен производством растениями пузырьков, которые могут оказать существенное влияние на способность обнаружения объектов и на возможности донного картирования гидролокаторами вследствие увеличения помех за счет отражения, поглощения и рассеяния звука [1]. Методы акустического дистанционного зондирования были использованы для мониторинга биологических маркеров, таких как фотосинтетическая активность морских водорослей, оценка здоровья морских экосистем [1, 2]. Газ, генерируемый фотосинтетической активностью морских водорослей, может растворяться непосредственно в окружающей морской воде или образовывать пузырьки, цепляющиеся за края листьев. Показано, что генерация газа морскими водорослями является переменной во времени. Более короткие (суточные) и более длительные временные интервалы (сезонные и более) указывают, что возможные акустические аномальные эффекты также зависят от времени. В дополнение к газонасыщенному листу ткани в толще воды, корневища также содержат аэренхиму (газонаполненные каналы), которые способствуют диффузии кислорода в окружающие корни морские осадки. Плотность и модули упругости самих растений могут также потенциально влиять на распространение звука путем изменения эффективных свойств материала на границе раздела вода-осадки и внутри морского дна [1, 2].

Целью настоящей работы является восстановление акустических характеристик придонного слоя воды и переходного слоя морских осадков при отсутствии и при наличии слоя водорослей с помощью GSED теории распространения упругих волн в морских осадках [3, 4].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы результаты экспериментов, опубликованные в [2]. Эксперименты проводились в восточной части залива Корпус-Кристи, штат Техас, США, в районе, где произрастают водоросли вида *Thalassia testudinum*. В период активного роста густой, пышный полог распространяется в толщу воды на 30 см от границы осадки/вода, и обильные пузырьки фотосинтеза наблюдаются в толще воды. Для сравнения, во время спящего сезона слой водорослей намного более редок и простирается всего на 5-10 см от осадков, а пузырьков от фотосинтетической активности не наблюдается. Глубина воды на месте эксперимента составляла около 1 м. В ходе акустических измерений температура и соленость воды контролировались так, чтобы можно было рассчитать скорость звука в воде. Сначала был проведен ряд измерений в воде над областью голого осадка для получения акустической калибровки в морской воде. Затем измерения проводились на глубинах от 5 см до 20 см с шагом 5 см ниже граница раздела вода-осадки в области голых осадков. Затем измерительная система была перемещена в ложе водорослей в нескольких метрах и измерения проводились над осадками, в пределах полога водорослей, и затем на тех же глубинах под границей вода-осадки [2]. Четыре керна были собраны на участках голых осадков и участках с водорослями для определения типа осадков и определения биомассы ниже границы раздела. Керны были погружены в осадки на глубину примерно от 20 см до 25 см.



**Рисунок 1.** Зависимость от глубины акустических и физических характеристик в слое *Thalassia testudinum* (сплошные зеленые линии) по сравнению с теми же измерениями на участке без водорослей, голые осадки (сплошные черные линии). Отрицательные значения глубины указывают расположение в водном слое, положительные – в слое осадков. Частота 50 кГц. Взято из [2]

Результаты измерений акустических и физических характеристик вдоль вертикали, захватывающей водный слой и слой осадков на одной частоте приведены на рисунке 1. На рисунке 2 показаны вертикальные профили скорости звука и затухания, измеренные на трех частотах, что позволяет выявить дисперсию – самый интересный параметр.

**ПРИЛОЖЕНИЕ GS+ED+G ТЕОРИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В МОРСКИХ ОСАДКАХ**

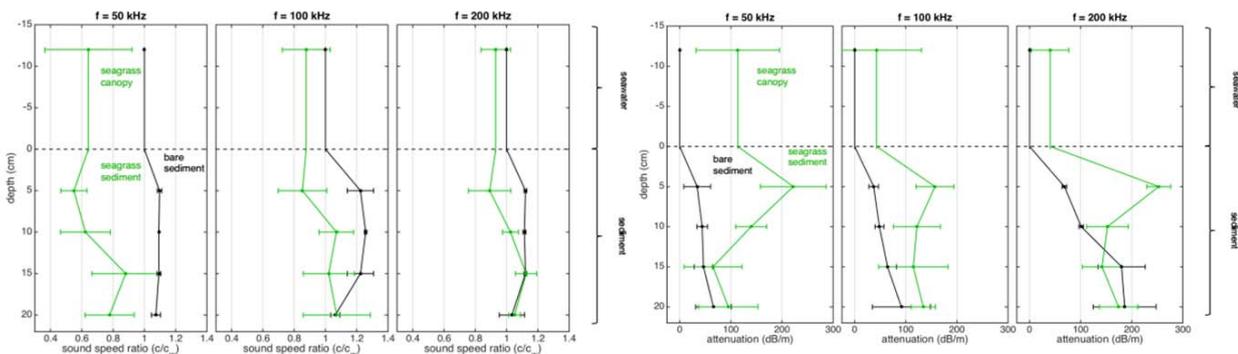
**Теория.** В первом приближении, без дисперсии, скорость звука в любой среде определяется упругими и инерционными свойствами среды согласно формуле [3, 4]:

$$c_0 = \sqrt{\frac{K_m}{\rho_m}}, \tag{1}$$

где  $\rho_m, K_m$  – равновесные плотность и модуль упругости среды.

Если среда состоит из нескольких компонент (водный слой – вода, ткань водорослей и газ, дно – вода, ткань водорослей, твердая компонента и газ), состав среды описывается многокомпонентной моделью. Скорость распространения продольных волн  $c_0$  в многокомпонентной среде будет выражаться через равновесные по объему значения плотности  $\rho_m$  и сжимаемости  $K_m^{-1}$  в соответствии с (1), только плотность и сжимаемость следует вычислять суммированием соответствующих парциальных компонент среды

$$\rho_m = \phi_1\rho_1 + \phi_2\rho_2 + \phi_3\rho_3 + \dots, \quad \frac{1}{K_m} = \frac{\phi_1}{K_1} + \frac{\phi_2}{K_2} + \frac{\phi_3}{K_3} \dots, \tag{2}$$



**Рисунок 2.** Результаты измерений скорости звука и затухания на частотах 50 кГц, 100 кГц и 200 кГц во время активного сезона на участке голых отложений (черный) и на участке морских водорослей (зеленый). Взято из [2]

где  $\phi_{1,2,3} = V_{1,2,3}/V$  – относительный объем составляющих, причем  $\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = 1$ ,  $V$  – полный объем среды. Таким образом, скорость звука в трехкомпонентной среде из твердой фазы, воды и газа будет равна

$$c_{0sat} = \left[ \left( (1-P)\rho_g + (P-S)\rho_f + S\rho_a \right) \left( (1-P)K_g^{-1} + (P-S)K_f^{-1} + SK_a^{-1} \right) \right]^{-1/2}, \quad (3)$$

где  $P$  – пористость (если дно);  $S$  – сатурация среды газом (объемная доля);  $\rho_{f,g,a}, K_{f,g,a} = \rho_{f,g,a} c_{f,g,a}^2$  – плотности и модули упругости флюида вместе с тканью водорослей, твердой фазы и газа соответственно. Заметим, что упругость газа это есть давление.

Коэффициент затухания  $\alpha_p$ , Нп/м, входит в формулу для комплексного волнового числа

$$k_p = \frac{\omega}{c_p} - i\alpha_p = \frac{\omega}{c_p} (1 - i\beta_p),$$

где  $c_p$  – фазовая скорость звука;  $\beta_p = \frac{\alpha_p c_p}{\omega}$  – тангенс потерь. Коэффициент затухания обычно измеряют в дБ/м,  $\alpha_p$ , дБ/м = 8, 69 $\alpha_p$ , Нп/м.

Комплексная фазовая скорость согласно GSED теории дается дисперсионным уравнением [3]

$$\tilde{c}_p = \sqrt{\frac{K_m + \gamma_p (i\omega)^n}{\rho_{eff}}}, \quad \rho_{eff} = \rho_m - \phi \rho_f F_C(w), \quad (4)$$

где  $\gamma_p$ , Па – модуль межгранулярной жесткости;  $n$  – показатель стресс-релаксации;  $\phi$  – перколяционная пористость – внутренний параметр теории, устанавливающий баланс между силами внутреннего и вязкого

трения;  $F_C(w) = 1 - \frac{2J_1(i^{3/2}w)}{i^{3/2}wJ_0(i^{3/2}w)}$  – функция частотной коррекции, отражающая отличия характера

течений в порах от течения Пуазейля;  $w = \sqrt{\frac{a^2 \rho_f}{\eta}} \omega$ ,  $J_{0,1}$  – функции Бесселя;  $\eta$  – динамическая вязкость жидкости, Па·с;  $a$  – радиус цилиндрической поры.

Вещественные скорость звука  $c_p$  и коэффициент затухания  $\alpha_p$  могут быть получены из комплексных фазовых скоростей как  $c_p = \text{Re}(\tilde{c}_p)$ ,  $\alpha_p = -\omega \text{Im}(\tilde{c}_p^{-1})$ , Нп/м.

Модель GS+ED разработана для двухкомпонентных (вода + твердая фаза) сред и учитывает только два вида потерь: внутреннее (межгранулярное) и вязкое трение. При сатурации среды газом к перечисленным потерям добавляются специфичные, связанные с реологическими (резонансными) эффектами в пузырьковой среде [5].

Модифицированное дисперсионное уравнение для газонасыщенной среды имеет вид:

$$\tilde{c}_{pbubble} = \sqrt{\frac{K_m + \gamma_p (i\omega)^n}{\rho_{eff} + \Delta\rho}}, \quad (5)$$

где  $\Delta\rho = (K_m + \gamma_p (i\omega)^n) Y$ ,  $Y = 4\pi\omega^2 \int_0^\infty \frac{R_0 N(R_0)}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2iB_{tot}\omega} dR_0$  – интеграл, характеризующей резонансную

дисперсию и дополнительные суммарные потери  $B_{tot}$ , и зависящий от:  $R_0 N(R_0)$  – числа пузырьков в единице объема, радиус которых заключен в пределах от  $R_0$  до  $R_0 + dR_0$ ;  $\omega_0$  – резонансная частота пузырька;  $B_{tot}$  – суммарные реологические потери. В случае монодисперсной популяции пузырьков, величина

$$Y = \frac{4\pi R_0 C}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2iB_{tot}\omega}, \quad (6)$$

где  $C = S/V_0$  – концентрация пузырьков,  $V_0 = 4/3\pi R_0^3$ .

Резонансная частота пузырька определяется формулой  $\omega_0^2 = \frac{A_0 - B_0 + C_0}{m_0}$ , где  $m_0 = \rho_m R_0^2 + 4R_0\mu/c_0$

– эффективная масса пузырька,  $\mu$  – коэффициент касательного трения при пульсации пузырька;  $A_0 = 3p \operatorname{Re}(F_p)$ ,  $p = 10^5 + \rho_f gh + \rho_m gd + 2\tau/R_0$  – равновесное гидростатическое давление внутри пузырька,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $h$  – глубина воды,  $d$  – глубина в слое осадков,  $\tau$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $F_p$  – комплексная функция политропы;  $B_0 = 2P\tau/R_0$ ;  $C_0 = 4G(1-P)$ ,  $G$  – вещественный коэффициент касательного механического напряжения. Комплексная функция политропы имеет вид

$$F_p = \frac{3\gamma}{1 - 3iL_T(\gamma - 1) \left[ (i/L_T)^{1/2} \left( \coth \left( (i/L_T)^{1/2} \right) \right) - 1 \right]},$$

где  $\gamma = C_p/C_V$  – отношение молярных теплоемкостей;  $L_T = \chi/R_0^2/\omega_0$  – характерная глубина проникновения термодиффузии,  $\chi$  – температуропроводность [5].

Суммарные реологические потери определяются формулой  $B_{tot} = B_{vis} + B_{th} + B_{int} + B_{el} + B_{ac} + B_{rad}$  и включают шесть компонент:  $B_{vis} = 2P\mu/m_0$  – сдвиговые потери в окружающей пузырек среде при его пульсации;  $B_{th} = 3p \operatorname{Im}(F_p)/(2m_0\omega)$  – тепловые потери из-за неадиабатичности процесса в микронеоднородной среде (микроскопически, в масштабах размеров зерен и пузырьков процесс распространения звука будет неадиабатичен, большой теплообмен на малых частотах и малый теплообмен на больших частотах);  $B_{int} = -P\tau/m_0/c_{psat}$  – внутренние потери, связанные с выполнением работы против сил поверхностного натяжения;  $B_{el} = 2G(1-P)R_0/m_0/c_{psat}$  – упругие внутренние потери, связанные с деформацией внешней для пузырька поверхности, охваченной гранулами среды, если между гранулами есть трение или они связаны скелетом;  $B_{ac} = R_0 \operatorname{Re}(k_{psat})\omega/2/(1 + \operatorname{Re}(k_{psat})R_0)^2$  – акустические потери, связанные с рассеянием на пузырьках;  $B_{rad} = \rho_m R_0^3 \omega^2/2m_0/c_{psat}$  – потери на дипольное излучение пульсирующего пузырька [5].

**Дисперсия и затухание звука в водном слое.** Обычно, затуханием звука в воде пренебрегают (чисто вязкое затухание проявляется в воде на мегагерцовых частотах или на тысячекилометровых дистанциях), и считают плотность и упругость воды вещественными. Однако, в случае распространения звука в слое водорослей, как видно из рис.1 и рис.2, скорость звука значительно уменьшается, а затухание возрастает до 114 дБ/м! Кроме того, как видно из рис.2, регистрируется значительная дисперсия и зависимость коэффициента затухания от частоты.

В воде с водорослями можно представить следующие источники дисперсии и виды затухания: затухание и дисперсия, источником которой являются реологические эффекты, связанные с пузырьками (описываются величиной  $\Delta\rho$  в (5)), вязкое трение при течении жидкости между стеблями и листьями (если жидкость и листья колеблются раздельно) и внутреннее трение между соприкасающимися стеблями и листьями. Два последних случая являются гипотезами и могут реализоваться, если слой водорослей очень густой.

Теория GS+ED+G многофункциональна и позволяет проверить существование всех трех компонент. Например, если положить в (3)  $P = 1$  и в (5)  $\gamma_p = 0$ ,  $\phi = 0$ , среда превращается в пузырьковую жидкость без твердой фазы. Если  $\gamma_p > 0$ ,  $n > 0$ , то прибавляется трение между листьями, если  $\phi > 0$ , добавляется вязкое трение за счет относительного движения флюида внутри слоя водорослей.

Для случая водного слоя формулы (6) и далее упрощаются:  $C_0 = 0$ ,  $B_0 \ll A_0$ ,  $B_{vis} = 0$ ,  $B_{int} = 0$ ,  $B_{el} = 0$ ,  $B_{ac} = 0$ . В таблице 1 приведены входные параметры, в таблице 2 – восстановленные параметры, на рисунке 1 – дисперсионные кривые.

**Таблица 1.** Входные параметры, использованные для расчета

$K_f$ , Па	$\mu$ , Па·с	$\tau$ , Н/м	$c_a$ , м/с	$\chi$ , м <sup>2</sup> /с	$M$ , кг/моль	$\gamma$	$K_a$ , Па
1,9e9	1e-3	73e-3	315	2,4e-5	32e-3	1,41	1,45e5

Таблица 2. Инвертированные параметры. Вода и водоросли

$R_0$ , мм	$\gamma_p$ , Па	$n$	$S$
0,095	100	0,87	0,007

Как видно из рисунка 1, расположение экспериментальных точек можно объяснить только специфичной «пузырьковой» дисперсией и затуханием. Следует обратить внимание на график  $\alpha_p(f)$ . С ростом частоты затухание уменьшается несколько медленнее, чем у обычной резонансной кривой, что можно объяснить дополнительным трением между листьями водорослей. Трение будет все сильнее проявляться с увеличением частоты. Конечно, для подтверждения или опровержения этой гипотезы должны быть выполнены измерения и на больших частотах. В случае отсутствия трения, коэффициент трения  $\gamma_p = 0$ , в этом случае кривая  $\alpha_p(f)$  с ростом частоты будет монотонно убывать.

**Дисперсия и затухание звука в донном слое.** Рассмотрим теперь более сложный и более интересный случай – дисперсия и затухание звука в донном слое без водорослей и с водорослями. Данные взяты из рисунка 2. Аналогичные приведенным на рисунке 3 дисперсионно-диссипативные кривые для глубины 5 см приведены на рис. 4, восстановленные характеристики осадков и пузырьков – в таблице 3.

Инверсия проводилась в три этапа. Сначала были восстановлены характеристики голых, без водорослей осадков (bare) – на рисунке 4 черная линия. Затем восстановлены характеристики осадков с растущими на них водорослями, предполагая, что пузырьков газа нет. На дисперсионные кривые, рассчитанные по этим характеристикам (тонкая зеленая линия) на третьем этапе были наложены резонансные особенности, возникающие за счет наличия пузырей газа (толстая зеленая линия). На рисунке 4 показана также линия  $\sim f^1$  – у «правильных» морских осадков должна быть именно такая частотная зависимость затухания, что соответствует постоянному тангенсу потерь и постоянной добротности.

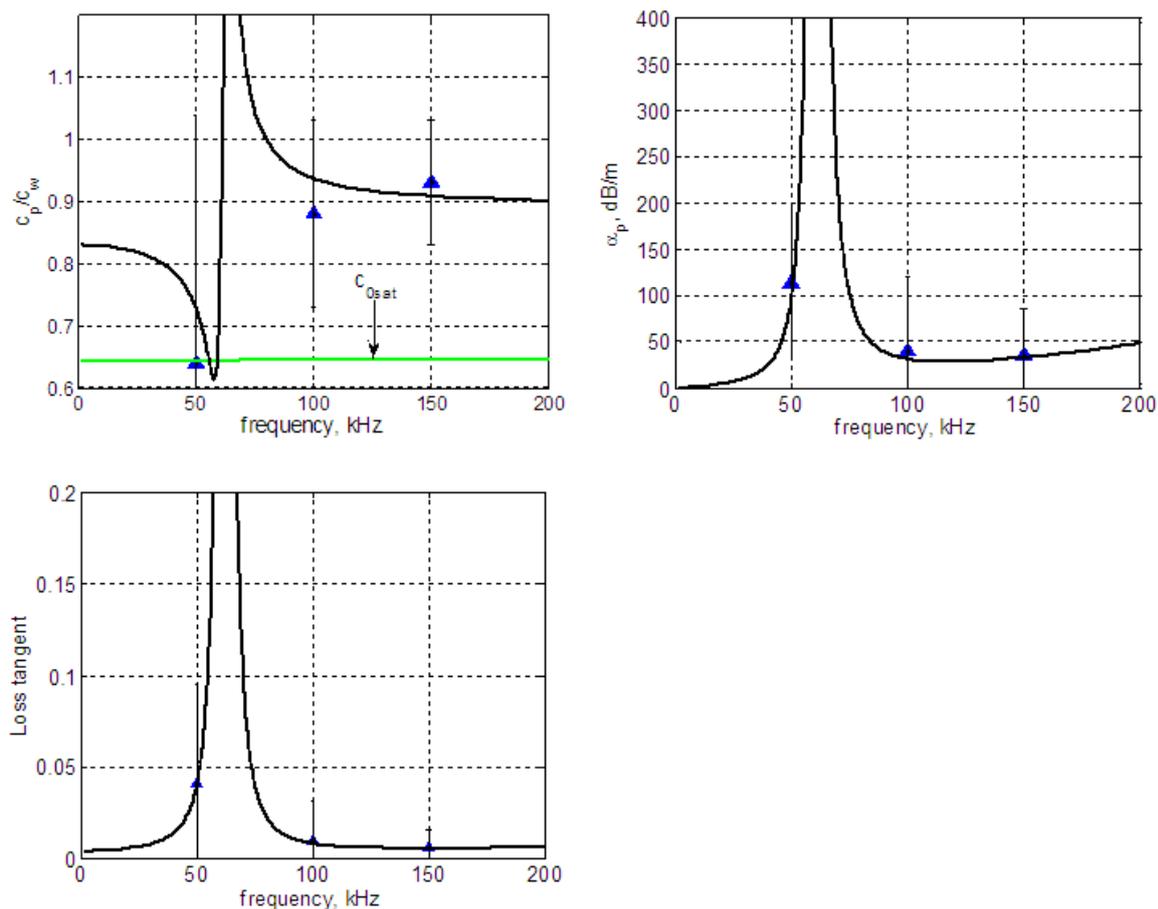


Рисунок 3. Дисперсионно-диссипативные кривые для слоя воды с водорослями. На верхней панели слева --- - бездисперсионное приближение. Для чистой воды  $c_p/c_w = 1$

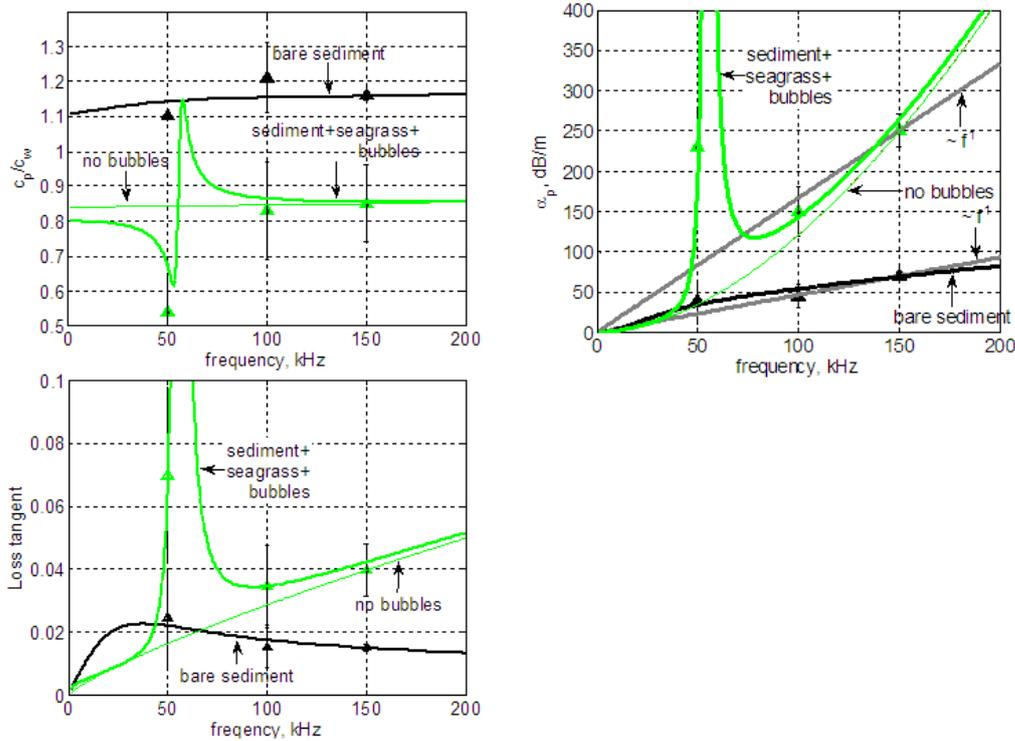


Рисунок 4. Дисперсионно-диссипативные кривые для слоя голых осадков и для слоя осадков с водорослями

Таблица 3. Инвертированные параметры. Осадки и водоросли, глубина 5 см

Параметр	$R_0$ , мм	$S$	$G$ , Па	$\gamma_p$ , Па	$n$	$\phi$	$P$
голые осадки	0	0	n/o	4,13e7	0,055	0,22	0,38
осадки и водоросли	0	0	n/o	2,8e3	0,82	0	0,63
осадки, водоросли и пузырьки	0,08	0,005	1e3	2,8e3	0,82	0	0,63

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотрим вначале расположение экспериментальных точек, дисперсионные кривые и инвертированные параметры для случая голых осадков. Расположение экспериментальных точек не следует «правильному» закону  $\alpha_p(f) \sim f^1$ , характерному для плотных, слежавшихся, невозмущенных сред. Инверсия показывает очень низкий показатель стресс-релаксации (показатель нелинейности), что характерно для суспензионного состояния среды, где взаимодействие между частицами – упругое, линейное, в рамках закона Гука. Действительно, глубина водного слоя – 1 м, глубина в слое осадков – 5 см. Поверхностное волнение, течения, приливы возмущают осадки на такой малой глубине и переводят их во взвешенное, суспензионное состояние. Перколяционная пористость имеет значение 0,22, что хорошо совпадает с инверсиями, выполненными для песка аналогичного размера гранул в аналогичных гидродинамических условиях.

Осадки с корнями водорослей имеет значительно большую пористость, инверсия возвращает высокий показатель нелинейности (стресс-релаксации) и большую мягкость (меньшую жесткость) среды с биомассой. Перколяционная пористость равна нулю, что означает среду с непроницаемыми порами, забитыми органикой и пузырьками газа. Добавка газовой резонансной дисперсии немедленно исправляет явное расхождение между дисперсионно-диссипативными кривыми и экспериментальными точками.

Рассмотрим теперь водный слой с пологом водорослей (рис. 3). Сравнивая правую ветвь графиков  $\alpha_p(f)$  и  $\beta_p(f)$  на рисунке 3 и рисунке 4 – т.е. вода и пузырьки и твердая фаза, вода и пузырьки, сразу видно принципиальное отличие – в осадках правая ветвь восходящая, в воде – нисходящая. Это следствие межгранулярного трения. В воде поглощение – число резонансного характера, единственная физическая природа (это здесь мы предположили наличие трения между листьями), в осадках резонансное пузырьковое поглощение и межгранулярное трение. Сравнивая инвертированные радиусы и концентрации пузырьков, видно, что внутри осадков меньше и то и другое. Обратим внимание на существенную добавку сдвигового трения в осадках. Здесь мы положили наугад  $G = 1 \cdot 10^3$  Па, так лишь, чтобы  $G < \gamma_p$ . Сдвиговое трение влияет и

на резонансную частоту пузырька и на добротность резонансной части диссипативной кривой. Возможно, принятое здесь значение завышено.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении инверсий возникает проблема «уникальности» – является ли восстановленный набор параметров единственным. Судя по рис. 3, рис. 4, получено очень хорошее соответствие дисперсионных и диссипативных кривых с экспериментальными точками. Однако, это соответствие получено в рамках гипотезы о монодисперсной популяции пузырьков. Трудно представить себе ситуацию, в которой природа могла бы сгенерировать популяцию пузырьков с такими параметрами. Действительно, границы доверительного интервала, обозначенные на рис. 3 и рис. 4 позволяют сделать и альтернативные предположения, например, что пузырьки имеют в 2 – 3 раза большие размеры и функция распределения концентрации пузырьков по размерам достаточно широкая. В этом случае резонансная частота пузырьков сдвигается вниз, ниже 50 кГц, и экспериментальные точки  $\alpha_p(f)$  оказываются на правом, спадающем участке частотной зависимости затухания, а точки  $c_p(f)$  – на растянутом «переходном» участке дисперсионной кривой. Восстановление параметров среды для такой альтернативной гипотезы требует решения интеграла  $Y$  и наличия еще хотя бы одной экспериментальной точки на частотах ниже 50 кГц.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-42-920001.*

#### Список литературы / References:

1. Kevin M. L., Ballard M.S., McNeese A.R., Wilson P.S. Sound speed and attenuation measurements within a seagrass meadow from the water column into the seabed. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2017, vol. 141, no. 4, pp. EL402-EL406. DOI: 10.1121/1.4979302.
2. Kevin M.L., Ballard M.S., McNeese A.R., Wilson P.S. Sound speed and attenuation in seagrass from the water column into the seabed. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 2017, vol. 30, p. 005001. DOI: 10.1121/2.0000583.
3. Лисютин В.А. Простая акустическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним и вязким трением. *Экологический вестник научных центров ЧЭС*, 2018, т. 15, № 3, с. 39-51. DOI: 10.31429/vestnik-15-3-39-51. [Lisyutin V.A. A Simple Acoustic Model of Unconsolidated Marine Sediments with Internal Friction and Viscous Dissipation. *Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 39-51. DOI: 10.31429/vestnik-15-3-39-51. (in Russ.)]
4. Лисютин В.А. Обобщенная реологическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним трением и эффективной сжимаемостью. *Морской гидрофизический журнал*, 2019, т. 35, № 1, с. 85-100. DOI: 10.22449/0233-7584-2019-1-85-100. [Lisyutin, V.A. Generalized Rheological Model of the Unconsolidated Marine Sediments with Internal Friction and Effective Compressibility. *Physical Oceanography*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 85-100. DOI: 10.22449/1573-160X-2019-1-77-91. (In Russ.)]
5. Mantouka A., Dogan H., White P.R., Leighton T.G. Modelling acoustic scattering, sound speed, and attenuation in gassy soft marine sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2016, vol. 140, no. 1, pp. 274-282. DOI: 10.1121/1.4954753.

### BIOLOGICAL ACTIVITY OF SEAGRASS AND VARIABILITY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF THE BOTTOM LAYER OF THE SHALLOW SEA

Lastovenko O.R., Lisyutin V.A.

Sevastopol state university

*Universitetskaya str., 33, Sevastopol, 299053, Russia; e-mail: vlisiutin@mail.ru*

**Abstract.** Biological processes associated with seagrass can greatly affect the spreading of sound speed in coastal areas where seagrass meadows are present. The acoustic effect is due to the production of gas bubbles by plants, which can affect the ability to detect objects and the possibility of bottom sonar mapping due to increased interference. We used the data of measurements of the sound velocity and attenuation coefficient in the bottom layer of water and with the bottom boundary layer, published in the scientific literature. In an environment with gas bubbles, the frequency dependences of the speed of sound and attenuation have a specific appearance. The dispersion equation of the GSED + g theory is given. Additional sources of dispersion and types of losses characteristic of gas-saturated media are considered and analyzed. In the framework of the GSED + g theory of the propagation of elastic waves in gas-saturated marine sediments, the physical properties of the gas-saturated bottom water layer and the bottom boundary layer are restored according to the measured frequency dependences of the speed of sound and the attenuation coefficient.

**Key words:** dispersion of sound speed, gassy saturated marine sediments, attenuation coefficient.