

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**



**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
Института проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН
и Физического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова
«ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГЕОСРЕДАХ»**



**ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
В ГЕОСРЕДАХ**

МОСКВА, ИПМЕХ РАН, 23-25 ОКТЯБРЯ 2019

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

**FIFTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE - SCHOOL
FOR YOUNG SCIENTISTS**

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL
MODELING OF PROCESSES
IN GEOMEDIA**

MOSCOW, IPMECH RAS, OCTOBER 23-25, 2019

PROCEEDINGS

МОСКВА 2019

УДК 531 + 532 + 556 + 550.3 + 550.8

ББК 22.2 + 22.3 + 26.2

Ф 50

Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах:

Ф 50

Пятая международная научная конференция-школа молодых ученых; 23-25 октября 2019 г., Москва: Материалы конференции. – М.: ИПМех РАН, 2019. – 176 с.

ISBN 978-5-91741-249-8

В сборнике материалов конференции представлены доклады участников 5-й Международной научной конференции-школы молодых ученых «Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах» в виде коротких статей. Тематика Школы охватывает широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований процессов во всех природных средах: в недрах Земли, океане, атмосфере. Центральное место в работе Школы занимают вопросы, связанные с разработкой месторождений углеводородного сырья. Большое внимание уделено исследованию течений в сложных неоднородных жидкостях, экологическим проблемам, изучению антропогенного вклада в динамику природных систем.

Ключевые слова: процессы в геосредах, математическое и лабораторное моделирование, нефтяные и газовые месторождения, неоднородные жидкости, течения в сложных средах.

УДК 531 + 532 + 556 + 550.3 + 550.8

ББК 22.2 + 22.3 + 26.2

Physical and Mathematical Modeling of Processes in Geomedia:

5th International Scientific School of Young Scientists; October 23–25, 2019, Moscow: proceedings. – Moscow: IPMech RAS, 2019. – 176 p.

The book presents short papers of participants of the 5th International Scientific Conference-School for Young Scientists «Physical and Mathematical Modeling of Processes in Geomedia». The Conference focuses on results of the Basic Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences P8 "Deposits of strategic raw materials in Russia: innovative approaches to forecasting, evaluation and production. Oil from the deep horizons of sedimentary basins as a source of replenishment of the resource base of hydrocarbons: theoretical and applied aspects", as well as fundamental and applied problems in the natural and technical systems.

Key words: processes in geo-media, mathematical and laboratory modelling, oil and gas production, inhomogeneous fluids, fluxes in complex media.

ISBN 978-5-91741-249-8

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, 2019

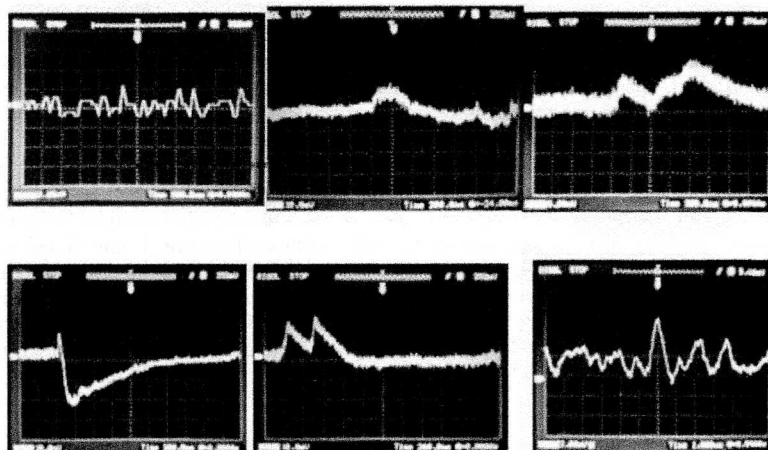


Рис. 5. Осциллограммы сигналов ЭМЭ при замораживании дистиллированной воды (три верхних снимка) и таянии льда (три нижних снимка), масштаб (1)- 5мВх2мс, (2) – 5х5, 3- 10мВх500мс, (4-6) - 10мВх100мс.

Полученные осциллограммы соответствуют основным механизмам пластического деформирования растущих кристаллов льда и их термического разрушения [7].

Основные выводы и результаты работы

Продолжен цикл исследований, направленных на решение проблемы количественной связи структуры льда с его макроскопическими свойствами. Качественно и количественно описано влияние деформационных дефектов на реологические и прочностные свойства пресноводного льда Ih в контексте современных представлений физической мезомеханики.

Установлена количественная связь микро и макро характеристик пресноводного льда Ih, волновой характер его разрушения и влияние интерференции на усиление пластичности льда при интерференции падающих и отражённых волн.

Получено соответствие экспериментальных закономерностей динамики и кинетики накопления деформационных повреждений фундаментальному принципу прерывистости пластической деформации.

Литература / References:

1. Piazzolo S., Wilson C. J. L., Luzin V., Brouzet C., Peterzell M. Dynamics of ice mass deformation: Linking processes to rheology, texture, and microstructure // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2013. V. 14 (10). pp. 4185–41194.
2. Епифанов В.П. ДАН. 1982. Т. 267 (6). С. 1364–1367.
3. Воронина И.Ю., Епифанов В.П. Акустический журнал. 1980. Т. 26. С. 371–376.
4. Епифанов В.П. Влияние промежуточного слоя на прочность соединения льда с подложкой // *Докл. РАН.* 2017. Т. 472 (1). С. 27–32.
5. Епифанов В.П. Физическое моделирование режимов движения ледников // *Лед и Снег.* 2016. Т. 56 (3). С. 333–344.
6. Епифанов В.П. Докл. РАН. 2018. Т. 479 (6). С. 629–633.
7. Шибков А.А. Собственное ЭМИ растущего льда // *Вестник ТГУ.* 2009. Т. 14 (6). С. 1192–1195.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОСОМНЫХ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ ПО СПЕКТРАМ ПОГЛОЩЕНИЯ КЛЕТОК В ПРОБАХ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

П.С. Емельянцева¹, А.А. Жильцова¹, Е.Д. Краснова¹, Д.А. Воронов^{1,2}, С.В. Пацаева¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, emelyantsev97@mail.ru, aa.zhiltsova@physics.msu.ru, e_d_krasnova@mail.ru, spatsaeva@mail.ru

² Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, da_voronov@mail.ru

Работа посвящена разработке и апробации нового спектрального метода определения концентрации хлоросомных бактериохлорофиллов (Бхл) зеленых серных бактерий (ЗСБ) в пробах воды без экстрагирования пигментов. В настоящее время для определения концентраций хлоросомных Бхл широко используется эмпирическая формула [1], полученная Оверманном и Тилзером в 1989 г. В эту формулу входят значения оптической плотности на 651 и 663 нм в спектре поглощения Бхл в ацетон-метаноловом экстракте. Однако изготовление экстрактов с пробами воды с ЗСБ затруднено с технической точки зрения. Данная работа нацелена на упрощение измерения концентрации Бхл, сокращение затрачиваемого на измерения

времени и снижение сопутствующей опасности, связанной с использованием токсичных растворителей.

При разработке нового метода в качестве образцов взяты пробы воды, отобранные в марте 2018 г. из ряда меромиктических водоемов, отделяющихся от акватории Белого моря: Лагуны на Зеленом мысе, оз. Большие Хрусломены и оз. Трехцветного, содержащие зеленоокрашенные и коричневоокрашенные ЗСБ. Для апробации метода отобраны пробы из тех же водоемов, а также из оз. Елового (побережье Белого моря) и оз. Могильного (о-в Кильдин в Баренцевом море), отобранные в разные сезоны 2018-2019 гг. Также при проверке метода использовали зеленоокрашенные и коричневоокрашенные культуры ЗСБ, выращенные в лаборатории Института микробиологии имени С.Н. Виноградского РАН.

Спектры оптической плотности проб измеряли при помощи спектрофотометров Solar PB2201 или PV 1251 в стандартных кюветах для фотометрии с длиной оптического пути 1 или 3 см в спектральном диапазоне 400-900 нм с шагом 1 нм. Для дальнейших расчетов все оптические плотности приводились к длине оптического пути 1 см. Для определения концентраций Бхл с помощью спектрометрических формул из отобранных проб воды с ЗСБ были приготовлены экстракты. В качестве растворителя была выбрана смесь ацетона и метанола в пропорции 7 к 2. Примеры спектров поглощения в воде и в ацетон-метаноловых экстрактах приведены на рис. 1, 2.

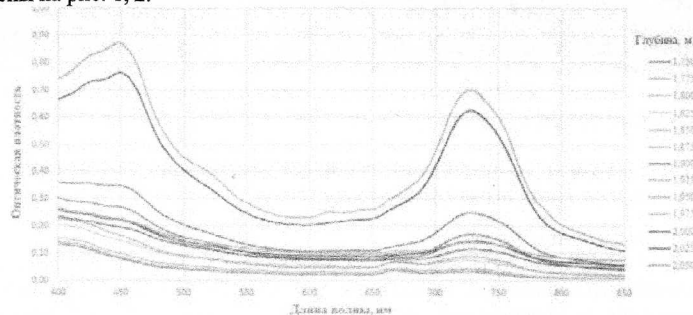


Рис. 1. Спектры поглощения проб воды из оз. Трехцветного (отбор проб многошприцевым пробоотборником с шагом 2.5 см по глубине, сентябрь 2018 г.).

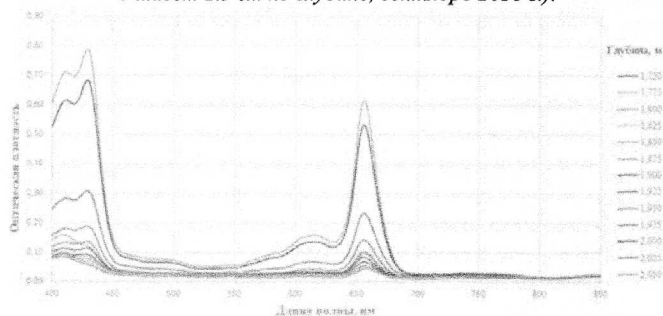


Рис. 2. Спектры поглощения экстрактов проб воды из оз. Трехцветного (отбор проб многошприцевым пробоотборником с шагом 2.5 см по глубине, сентябрь 2018 г.).

Новый метод [2] позволяет опустить ряд традиционных операций, поскольку он заключается в определении концентраций Бхл d и e по площади длинноволновой полосы поглощения в абсорбционных спектрах клеток бактерий в воде. В качестве первого приближения выбран интервал длин волн от 650 до 800 нм и аппроксимация «пьедестала» под пиком поглощения в виде трапеции.

Для всех исследуемых серий проб обнаружена пропорциональная зависимость между ΣD (площадь длинноволновой полосы в спектрах поглощения Бхл в пробах воды с вычтенным пьедесталом рассеяния) и концентрациями, рассчитанными по формулам для концентраций Бхл d и Бхл e , полученных из закона ослабления света Бугера-Ламберта-Бера. Пример одной из полученных зависимостей представлен на рис. 3.

Для этих серий проб получены коэффициенты линейной регрессии K [$\text{нм} \cdot \text{м}^3 / \text{мг}$] для пропорциональных зависимостей ΣD от концентраций Бхл, рассчитанных по фотометрическим формулам для экстрактов, и рассчитаны коэффициенты A [$\text{мг} / (\text{нм} \cdot \text{м}^3)$], обратные коэффициентам K . Для всех исследованных серий проб коэффициенты A получились довольно близкими: $A = 336 \pm 9 \text{ мг} / (\text{нм} \cdot \text{м}^3)$. Таким образом, мы получили формулу для расчета концентрации Бхл по спектрам поглощения в воде:

$$C(\text{Бхл } d, e) [\text{мг} / \text{м}^3] = 336 [\text{мг} / (\text{нм} \cdot \text{м}^3)] \cdot \Sigma D [\text{нм}]$$

Для апробации метода построены профили распределения концентраций Бхл, полученные для каждой серии проб тремя способами: по формуле Оверманна-Тилзера и по формуле, полученной из закона Бугера, по спектрам поглощения экстрактов, а также новым методом по спектрам поглощения бактерий

непосредственно в воде (см. рис. 4).

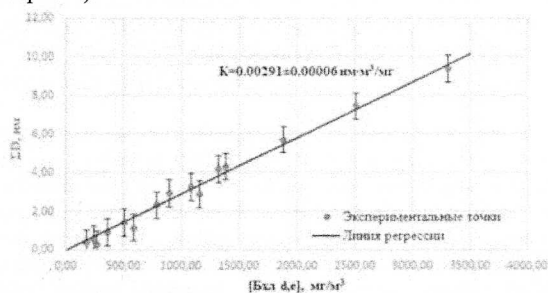


Рис. 3. Корреляция между площадью ΣD длинноволновой полосы поглощения в воде и концентрацией Бхл, рассчитанной по формуле из закона Бугера для экстрактов. Данные для оз. Трехцветное (отбор проб многошприцевым пробоотборником с шагом 2.5 см по глубине, март 2018 г.).

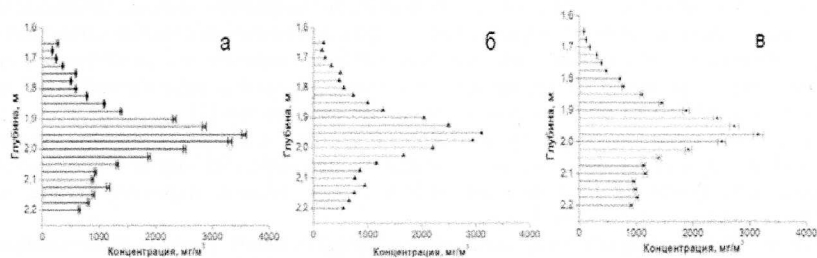


Рис. 4. Распределение Бхл по глубине в оз. Трехцветное (отбор проб многошприцевым пробоотборником, сентябрь 2018), рассчитанной: а) по формуле, полученной из закона Бугера; б) по формуле Оверманна-Тилзера; в) по спектрам поглощения в воде.

Можно видеть, что форма профилей концентрации Бхл практически одинакова во всех трех случаях. Форма профиля распределения с концентрациями, рассчитанными по спектрам поглощения в воде, более сглаженная при низких концентрациях. Концентрации, рассчитанные по новому методу, близки к концентрациям, рассчитанным по формуле, полученной из закона Бугера, и концентрациями, полученным по формуле Оверманна-Тилзера, однако на больших концентрациях значения и расположение точек немного отличаются. Такие различия могут быть вызваны большим влиянием рассеяния в спектрах поглощения Бхл в клетках и грубостью аппроксимации пьедестала рассеяния трапецией. Это говорит о необходимости модификации разработанного метода, в частности, о необходимости выбора более точного способа аппроксимации пьедестала рассеяния. Также существует необходимость разделения вкладов зеленоокрашенных и коричневоокрашенных ЗСБ в общую картину поглощения. Эту задачу можно решить либо с помощью флуоресцентного анализа пигментов, либо путем изучения коротковолновой области в спектрах поглощения экстрактов.

Разработанный метод позволяет без экстрагирования пигментов определить картину распределения бактериохлорофилла ЗСБ по глубине в меромиктических водоемах.

Благодарим сотрудников Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН **Лунину Ольгу Николаевну** за предоставленные для спектральных измерений образцы культур зеленых серных бактерий и **Савичева Александра Сергеевича** за плодотворное осуждение полученных результатов.

Работа выполнена с использованием финансовых средств проекта РФФИ, грант № 19-05-00377, и Министерства науки и высшего образования РФ.

Литература / References:

1. Overmann J., Tilzer M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee West-Germany // Aquatic Sciences. 1989. V. 51(4). pp. 261–278.
2. Kharcheva A., Zhiltsova A., Emelyantsev P., Lunina O., Krasnova E., Voronov D., Savichev A., Patsaeva S. Spectrophotometric quantification of chlorosomal bacteriochlorophyll in intact cells of green sulphur bacteria: Monocultures and natural water // EARSel eProceedings. 2018. V. 17(1). pp. 7–15.

