Рис. 1. Динамика уровней ^{90}Sr в воде Северной Двины (верхняя кривая) и Индигирки (нижняя кривая). *1*, *3* – расчет, *2*, *4* – наблюдения

Рис. 2. Динамика уровней ^{137}Cs в воде озер и рек Восточной Фенноскандии (1968–1985). *T* – полупериод очищения озерно-речных систем

водах этого региона. В интервале с 1968 по 1985 год (рис. 2) воды озер этого региона очищались от ^{137}Cs с *T* = 6,5 лет (Большиянов Д.Ю., Бакунов Н.А., Макаров А.С. К вопросу миграции ^{137}Cs в водных системах Восточной Фенноскандии // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 3. С. 329–335).

В глубоководном Онежском озере от ^{137}Cs и ^{90}Sr воды очищались с *T* = 8 и 16 лет соответственно. Результаты исследований миграции ИРН в глубоких озерах, имеющих сток (Ладожское, Онежское — Россия, Пяйянне — Финляндия), показали, что воды озер очищаются от ^{90}Sr и ^{137}Cs в 2–4 раза медленнее смены озерных вод в водоеме. Смена загрязненных ^{90}Sr и ^{137}Cs озерных вод на менее «грязные» речные способствовала замедлению процесса естественной дезактивации вод. Основным фактором, сдерживающим очищение вод, является кумулятивный запас ^{90}Sr и ^{137}Cs в грунтах дна. Он же выступает в качестве регулятора их концентраций при смене гидрологического режима водоемов (паводок — межень). Обмен ионов ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе поровые растворы грунтов дна — вода способствует поддержанию загрязнения радионуклидами вод озер и русла рек.

Выполненные радиоэкологические исследования позволяют в случаях несанкционированных поступлений ^{90}Sr и ^{137}Cs в водоемы воздушным путем прогнозировать загрязнение их вод и очищение с течением времени. Этим целям служат количественные показатели выноса ИРН с водосборов и очищения вод. Применительно к загрязнению ^{90}Sr и ^{137}Cs вод северных водоемов была предложена градационная шкала оценки загрязнения пресноводной рыбы по показателю коэффициента накопления радионуклида, имеющего тесную связь с химическим содержанием в воде элементов кальция и калия (Бакунов Н.А., Саватюгин Л.М. К вопросу устойчивости пресноводных водоемов Восточной Фенноскандии к отложению ^{137}Cs: радиологический аспект // Арктика, экология и экономика. 2013. № 1 (9). С. 24–35). Назначение шкалы — использование в системе поддержки управленческих и организационных решений на минимизацию ущерба природе в ситуациях с загрязнением водоемов ^{90}Sr и ^{137}Cs.

Н.А. Бакунов, Д.Ю. Большиянов, А.С. Макаров (ААНИИ). Фото Д.Ю. Большиянова

БИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ» (48-Я РАЭ)

К настоящему времени накоплен объемный материал экспериментальных данных о воздействии космогеофизических факторов на состояние биосферы. В числе этих данных есть необъяснимые эффекты гравитационных воздействий, проявляющихся в биосенсорах. Изучение их пространственно-временных характеристик биофизическими методами имеет фундаментальное значение для исследования влияния космофизических факторов на функции центральной нервной системы человека и *временную структуру организма*, основанную на биоритмах клеток, субклеточных структур, тканей и органов.

Экспрессный метод определения скорости сбраживания глюкозы в жидкой питательной среде используется во многих микробиологических, генетических и экспериментальных исследованиях. Интервалом времени приспособления микробных клеток к условиям внешних факторов, с которыми они сталкиваются при посеве в новую питательную среду, является лаг-фаза (L). При обычных условиях культивирования продолжительность лаг-фазы, например, культуры бактерий (штамма) *Escherichia coli M-17* составляет 180–210 мин. В этот период бактерии начинают ассимиляцию и остро реагируют на изменения в окружающей среде. Штамм *E. coli M-17* активно участвует в переваривании пищи, выработке ряда аминокислот и витаминов, в том числе K2 — активного участника обменных процессов, ответственного за синтез протромбина крови и регуляцию состава микрофлоры кишечника.

В период 48-й Российской антарктической экспедиции на НЭС «Академик Федоров», следовавшем из Санкт-Петербурга в Антарктику, проводились наблю-

дения за лаг-фазой штамма *E. coli M-17*, выращенного в лабораторных условиях на искусственной питательной среде. Эти наблюдения проводились с помощью диэлектрометра, используемого в медицинских методиках по принципу бесконтактной высокочастотной кондуктометрии (30–50 MHz). Задача исследований состояла в изучении временного интервала лаг-фазы при изменении географических координат в планетарном масштабе, т. к. имелась предпосылка для проверки гипотезы о зависимости активности микроорганизмов от гравитационного поля Земли (поля силы тяжести). Поле тяжести обусловлено притяжением масс Земли, центробежной силой, связанной с вращением Земли, и характеризуется силой тяжести, ее потенциалом, а также различными производными. В наблюдениях лаг-фазы поле тяжести рассматривалось как вид основного геофизического поля, определяющего физическое состояние литосферы. Так как верхние слои Земли сформированы породами, имеющими разную плотность, распределение силы тяжести по земной поверхности отклоняется от теоретически вычисленных значений. Наблюдения на НЭС «Академик Федоров» проводились д-ром мед. наук В.М. Воробейчиковым с 13 ноября 2002 года по 26 марта 2003 года по маршруту, отмеченному пунктирной линией на карте высот геоида (рис. 1). Геоид — это эквипотенциальная поверхность поля силы тяжести Земли. На карте видно насколько разнородными являются районы геоида по плотности и, соответственно, массе.

На рис. 2 показано сравнение суточных значений лаг-фазы с дольными значениями ускорения свободного падения мГал (http://bgi.obs-mip.fr/activities/projects/world-gravity-map-wgm/) согласно отмеченному маршруту на рис. 1.

На рисунке видно фазовое согласование рядов на протяжении маршрута НЭС от 50° с. ш. (начало наблюдений) до 70° ю. ш. Значения лаг-фазы в период логистических операций НЭС в акваториях станций РАЭ отмечены отрезком А. На рис. 3 (*а*, *б*) представлены суточные значения лаг-фазы относительно широты и долготы. На графике (а) значения лаг-фазы ограничены по абсциссе интервалом 19° з. д. — 93° в. д., т. к. обслуживание станций РАЭ проходило в Восточном полушарии. Тем не менее по аппроксимирующей кривой можно видеть уменьшение времени лаг-фазы от Гринвичского меридиана до 75° в. д. Следует отметить, что в данном диапазоне расположена Африканско-Антарктическая котловина.

На графике (*б*) кривая лаг-фазы имеет четыре выраженных экстремума, показывающих существенную

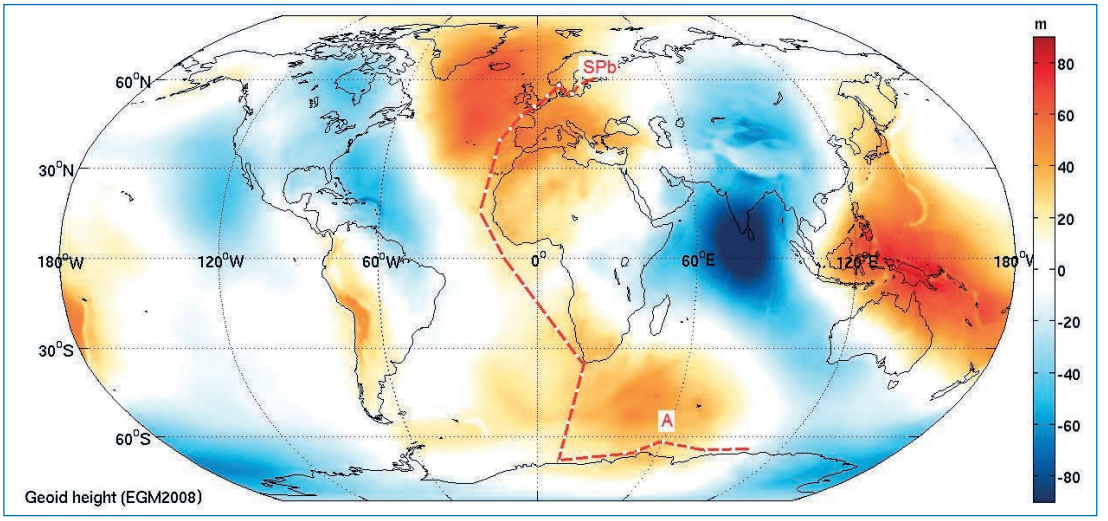

Рис. 1. Маршрут НЭС «Академик Федоров» в период 48-й РАЭ на карте высот геоида (http://bgi.obs-mip.fr/data-products/gravity-databases/land-gravity-data/)

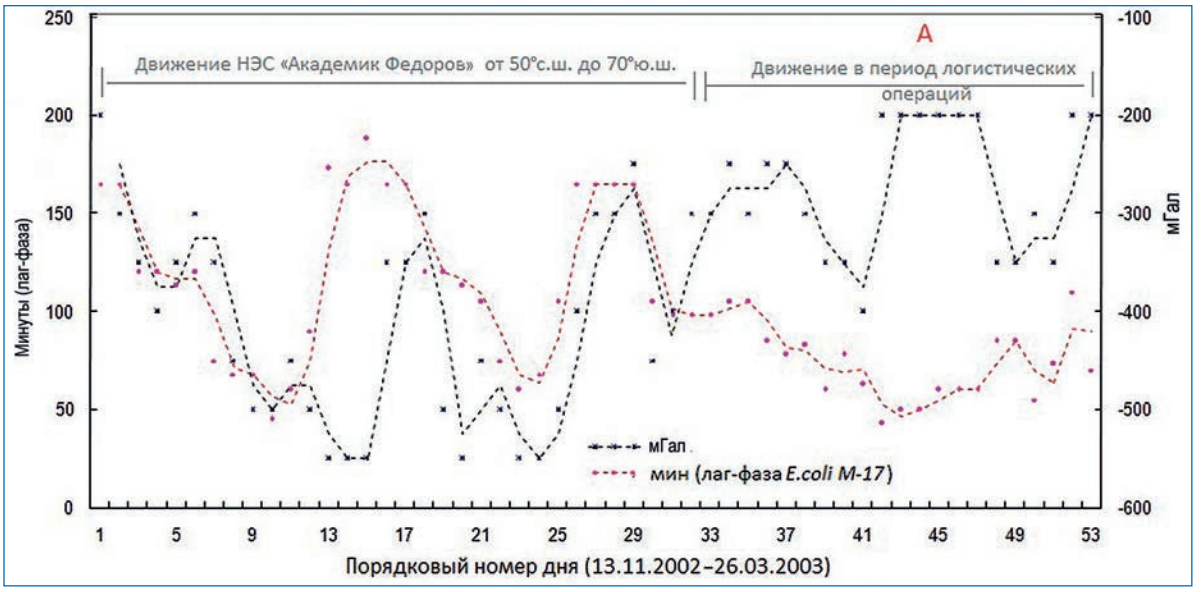

Рис. 2. Сравнение времени лаг-фазы *Escherichia coli M-17* со значениями дольных единиц ускорения свободного падения мГал на протяжении маршрута НЭС «Академик Федоров» (48-я РАЭ)

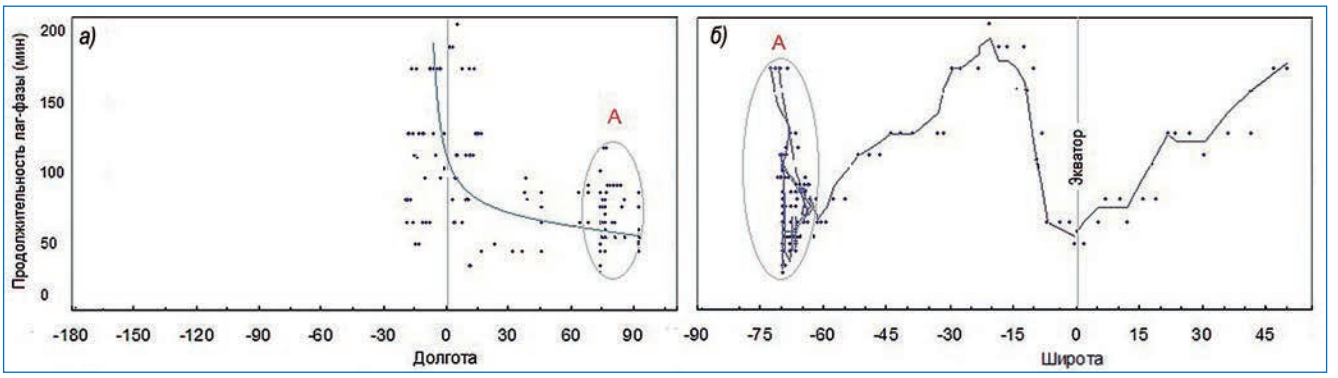

Рис. 3. Изменение продолжительности лаг-фазы *Escherichia coli M-17* во время движения НЭС «Академик Федоров» с 13 ноября 2002 года по 26 марта 2003 года. Область А – наблюдения в период логистических операций в акваториях станций РАЭ: *а*) изменение в координатах долготы; *б*) изменение в координатах широты

разницу лаг-фазы между Санкт-Петербургом, границей Южного тропика, экватором и Антарктикой. Возникает вопрос, а может ли быть такая разница артефактом? Практически все приборы создают шумы разного уровня. В наблюдениях по методике В.М. Воробейчикова ошибка измерений могла бы появиться только из-за неустойчивой работы термостатированной ячейки в диэлектрометре. В этом случае изменение интервала лаг-фазы будет линейно зависеть от температуры забортного воздуха, поступающего в гидрологическую лабораторию, где проводились измерения. Но так как температура воздуха к экватору повышается, а при удалении снижается, что представляет квадратичную функцию с координатами вершины x_0 = экватор, y_0 = ~30 °С, то «температурный артефакт» исключается. Время лаг-фазы в точках минимума на рис. 3*б*, как оказалось, тождественно времени лаг-фазы *E. coli M-17* в момент центральной фазы полутеневого лунного затмения (~50 мин), проходившего 24 июня 2002 года. На рис. 4 (*а*, *б*) представлены распределения значений лаг-фазы во время солнечного кольцеобразного (10 июня 2002 года) и лунного полутеневого (24 июня 2002 года) затмений в Санкт-Петербурге. На рисунке видно выразительное и закономерное изменение интервала лаг-фазы от воздействия затмений в целом, как астрономического явления, так и частностях: глубокие минимумы лаг-фазы с точностью до минуты соответствуют моментам последовательности фаз. Неожиданным показателем является значение нуля лаг-фазы в центральной фазе солнечного затмения (мгновенный отклик бактерий!). В этой связи крайне важными для будущих исследований биологического старения и витаукта — процесса мобилизации важных приспособительных механизмов, противодействующих старению, — являются наблюдения лаг-фазы во время солнечных и лунных затмений в экстремальных районах поля силы тяжести Земли.

Очевидно, что представленные результаты свидетельствуют о влиянии гравитационных факторов на все микроорганизмы. Но какими биофизическими или биохимическими способами осуществляется отклик микроорганизмов на слабые гравитационные изменения? По предположению автора микроорганизмы способны реагировать на гравитационные факторы посредством гипотетических *g-рецепторов* (*g* — ускорение свободного падения). Значение исследований в данном направлении особенно актуально в связи с развитием космических программ NASA, Роскосмоса, CNSA по освоению Луны и Марса. Сложно представить жизнь человека на Луне, где организму необходимо пройти стрессовую адаптацию к различным характеристикам космической среды и, главным образом, к полю тяжести и солнечным затмениям на Луне, превышающим в несколько раз по своей силе и продолжительности затмения на Земле. Еще сложнее представить адаптацию земных бактерий к полю тяжести Марса, у которого нет не только Луны и затмений, но также планетарной магнитосферы и атмосферы.

Изменения активности штамма *E. coli M-17* во время прохождения солнечного и лунного затмений (рис. 4) превышают чувствительность современных гравиметров в тысячи раз. Поэтому измерения величины гравитационного поля, соизмеримые с суммарным воздействием Солнца и Луны, с помощью самых современных гравиметров априори исключаются. Для будущих исследований необходимы приборы, построенные на иных физических принципах. В 2001 году в отделе геофизики ААНИИ проводились эксперименты с детектором сверхслабых из-

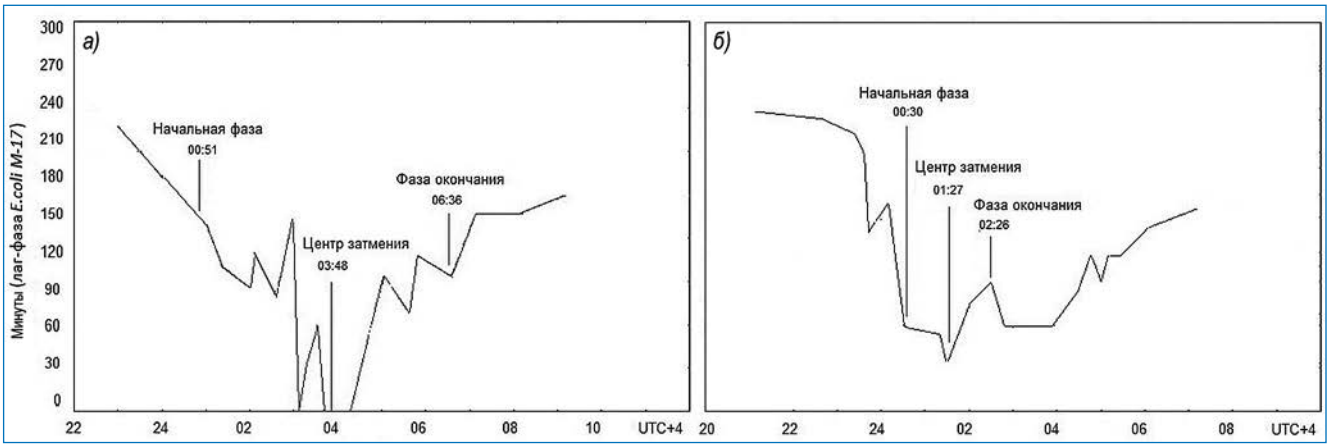

Рис. 4. Изменение лаг-фазы штамма *Escherichia coli M-17* во время прохождения солнечного и лунного затмений (Санкт-Петербург): *а*) интервал солнечного кольцеобразного затмения 10 июня 2002 года. *б*) интервал полутеневого лунного затмения 24 июня.2002 года.

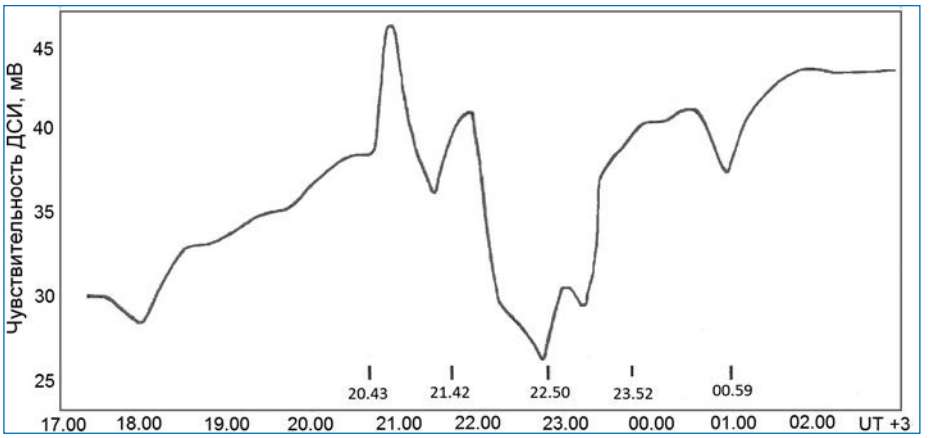

Рис. 5. Показания детектора сверхслабых излучений во время полного лунного затмения 9 января 2001 года (Санкт-Петербург)

лучений — ДСИ (патент № 2138984, Е.Г. Бондаренко, В.Н. Рыжевнин). Работу ДСИ определяет ряд физических явлений, таких как контактная разность потенциалов, двумерная система зоны контактов, полупроводниковые эффекты, контакт Джозефсона и др. Реакция ДСИ на внешнее воздействие проявляется в электрической проводимости, которая может изменяться медленно или скачком в зависимости от вида воздействия и режима работы. Отмеченные характеристики обладают признаками нелинейности, а их суперпозиция приводит к значительному увеличению чувствительности. Именно избирательно высокая чувствительность ДСИ к внешним воздействиям была реализована при регистрации полного лунного затмения 09.01.2001 года, когда Луна находилась вблизи точки перигея орбиты (рис. 5).

С.Н. Шаповалов (ААНИИ)

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ)

В настоящее время одним из основных методов изучения гидрофизических полей водных акваторий как в интересах фундаментальных исследований, так и при решении хозяйственно-экономических проблем является постановка сети автономных буйковых станций (БС) в местах выполнения работ. В условиях арктических морей постановка БС производится в притопленном состоянии или на дне для защиты от воздействий ледяного покрова.

Сбор накопленной информации производится путем подъема БС на поверхность либо через гидроакустический (ГА) канал связи. Такую процедуру удобно проводить летом при отсутствии ледяного покрова, что усложняет процесс отслеживания динамики гидрофизических процессов и их прогнозирование.

В последние годы широкое применение находят универсальные автономные БС, регистрирующие весь комплекс параметров гидрологического режима контролируемой акватории включая течения и толщину льда. Несколько таких комплексов с универсальным доплеровским профилографом течений (ADCP) французской фирмы Teledyna HD Instrument установлены в придонном слое Карского и Лаптевых морей с целью мониторинга в интересах хозяйственной деятельности. Измерители работают с годовым циклом накопления информации с объемом памяти до 16 Гб. Снятие информации производится один раз в год.

С целью развития данного способа организации мониторинга гидрофизических параметров целесообразно найти пути решения следующих задач:

– снижение стоимости эксплуатации БС;

– уменьшение времени съема накопленных данных;

– получение дополнительных гидролого-акустических данных в районе размещения БС.

Возможны различные варианты решения перечисленных задач, такие как:

– организация гидроакустического канала связи с каждой БС;

– объединение всех БС подводным кабелем с выводом его на береговой пост;

– обход БС автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА).

Нами были произведены оценки возможности реализации предлагаемых вариантов мониторинга гидрофизического состояния вод центральной части Карского моря с использованием установленной в нем системы из 9 БС (рис. 1).

Рис. 1. Размещение буйковых станций в Карском море