

УДК 57.042

## **ЭКРАНИРОВАНИЕ В БИОЛОГИИ И БИОФИЗИКЕ: МЕТОДОЛОГИЯ, ДОЗИМЕТРИЯ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**

© 2015 г. **Б.М. Владимирский, Н.А. Темурьянц**

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Республика Крым, Россия

Представлен обзор междисциплинарной литературы по экранированию биообъектов различными материалами. Отмечается, что известные расхождения в результатах, полученных разными авторами, скорее всего, обусловлены методическими причинами, среди которых могут быть как чисто биологические (неучет ритмики), так и технические (особенности конструкции или материала экрана). В некоторых случаях важна нестабильность показателей контроля, обусловленная вариациями космической погоды. В рамках современной концепции биологического действия микродоз ясно, что любая изоляция биообъекта каким-либо материалом обязательно сопровождается изменениями сразу нескольких экологических параметров, что затрудняет соблюдение принципа «прочих равных условий» в классической дифференциальной схеме опыта. Эффекты экранирования водных растворов совершенно бесспорны, так что влияние экранирования должно иметь место для всех организмов. Данные по воздействию на организмы слабых комбинированных магнитных полей, влиянию космической погоды позволили построить теоретические модели, так что эффекты экранирования биообъектов в общих чертах понятны. При ферромагнитном экранировании в пределах экрана изменяется как статическое магнитное поле, так и поле радиоволн. В случае немагнитных экранов изменение обусловлено изоляцией от радиоволн. В обоих случаях некоторый вклад в колебания измеряемых показателей может вносить вариация уровня ионизирующей радиации.

*Ключевые слова:* биологические последствия экранирования организма разными материалами, электромагнитная экология, биофизика, космическая погода, микродозы.

### **Введение**

Самые первые научные наблюдения над последствиями изоляции биообъектов от внешней среды (экранирование) принадлежат натуралистам XVIII в. Сейчас их данные прочно забыты. Между тем именно тогда было открыто, например, экологическое значение электрического поля ясной погоды. Ф. Гардини (Италия, 1784 г.) обнаружил, что

растения хуже растут под заземленной проволочной сеткой (в последующем, уже в XX в., его опыты воспроизводились многими авторами).

В наши дни историю исследований по экранированию принято начинать с упоминания экспериментов А.Л. Чижевского и П.М. Нагорского. Оба названных автора в своих опытах пытались установить, можно ли защититься от космического воздействия. В 1920-е – 1930-е годы с этим воздействием обычно ассоциировались космические лучи (открыты в 1912 г., Нобелевская премия – В. Гесс, 1936 г.). Отсюда и выбор материала для экрана – свинец. Работая совершенно независимо, исследователи получили сходные предварительные результаты (в частности, стимуляция процессов регенерации), но встретили полное непонимание со стороны коллег и не смогли завершить эксперименты.

Сходная судьба постигла и результаты профессора Флорентийского университета Дж. Пиккарди и его сотрудников, проводивших исследования в середине XX в. [*Piccardi, 1962*]. Дж. Пиккарди разработал особые физико-химические тест-реакции, проводившиеся ежедневно: измерялось время осаждения хлопьев оксихлорида висмута в воде по дифференциальной схеме. В простейшем варианте (тест Р) упомянутая величина сравнивалась для процесса, проходившего в воде, в стандартных лабораторных условиях и при экранировании металлической фольгой. Статистическая обработка большого массива данных показала, что под экраном осаждение проходило медленнее, но разница во времени менялась в зависимости от метеорологических условий и вариаций космической погоды (числа Вольфа). В отличие от своего предшественника – немецкого микробиолога Г. Бортельса (H. Bortels), открывшего влияние экранирования на метеотропную химическую реакцию, итальянский исследователь подробно изучил зависимость эффекта экранирования от материала экрана, его толщины и геометрии. Все эти данные были опубликованы, но так и не вошли в научный обиход, поскольку полученным результатам не было дано убедительное теоретическое истолкование. Примерно в это же время о влиянии экранирования на различные процессы сообщали и другие авторы – В. Райх (W. Reich), Н.А. Козырев, Х. Морияма (H. Moriyama).

Начиная с 1960-х годов число публикаций о влиянии экранирования на различные биообъекты стало возрастать. На этом этапе исследований уже анализировались эффекты изоляции биосубстрата не просто от внешней среды «вообще» либо от каких-то гипотетических физических агентов, но от конкретных экологических факторов. Получили развитие два независимых направления работ:

- изучение биологических эффектов уменьшения природного радиоактивного фона, т.е. биологического действия «сверхслабых» потоков ионизирующего излучения;
- изучение биологических эффектов понижения (ниже уровня геомагнитного поля) индукции квазистатических магнитных полей – «гипомагнитная среда».

Эти годы совпали с увлечением магнитобиологией, когда геомагнитному полю присваивался статус важнейшего из нетрадиционных экологических показателей.

На протяжении последующих десятилетий особенно обильный материал был собран по второму из упомянутых направлений. Согласно одному из первых обзоров по данной проблеме [*Копанев, Шакула, 1985*], число сообщений к году публикации перевалило за сотню. При этом сопоставление результатов разных авторов обнаружило существенные разногласия между ними, а иногда – явные противоречия. Например, в эксперименте З.Н. Нахильницкой и соавт. [1978] пребывание в течение трех месяцев в пермалловом экране мышей не имело для них существенных последствий. А сходные эксперименты М.П. Козлова и др. [1984] для мышей, находившихся в экране из аналогичного материала с такой же примерно экспозицией, обнаружили весьма значитель-

ные изменения нескольких показателей. А как понять частичную невозпроизводимость опытов по глубокому электромагнитному экранированию В.Н. Казначеева и Л.П. Михайловой [1985]?

Ближе к нашим дням общее число публикаций по рассматриваемым вопросам увеличилось почти на порядок. Методически более совершенные современные опыты к тому же много лучше оснащены технически. Однако некоторые расхождения в результатах разных исследователей устойчиво сохраняются, а их причины остаются неясными. Разногласия в интерпретации имеют место даже таком важном вопросе, как: в стальном боксе изменения показателей подопытных биообъектов обусловлены снижением индукции статического магнитного поля или интенсивности переменных полей (радиоволн)? Попытаться разобраться в причинах этих различий – основная цель данного обзора. Привлекаются сведения из сопредельных областей знания, но не ставится задача представить исчерпывающую библиографию.

### Методология и метрология

Одна из вероятных причин неоднозначной трактовки накопленных данных – это различие в методических подходах разных авторов к организации экспериментов. Прежде чем приступить к обсуждению полученных данных, необходимо коснуться вкратце некоторых общих соображений, которые не могут не влиять на планирование опытов.

### Опыты по экранированию и экология

В среде обитания на биообъект действует постоянно и одновременно множество физических факторов. Действие почти всех из них ослабевает при экранировании, но для каждого фактора – это экранирование «своим» материалом. Список факторов включает электрическое поле (статическое и переменное), геомагнитное поле (статическое и переменное), радиоволны в широком диапазоне частот, акустические поля (включая инфразвук и микробаровариации поперечных волн тяжести), ионизирующие излучения, биологически активные микропримеси воздушной среды, освещенность, температуру. Не экранируются только гравитация, космические лучи сверхвысокой энергии и частицы «темной материи». Цифровые данные приводятся в соответствующих руководствах по физической экологии (см., например, [Куклев, 2001; Колесник и др., 2009]).

При проведении любых экспериментов по экранированию необходимо принимать во внимание теоретические соображения и опытные данные, накопленные в последние десятилетия в рамках концепции «биологического действия микродоз различных химических и физических факторов» [Бурлакова и др., 2004]: на динамику биологических показателей влияют растворы некоторых веществ при экстремально низких концентрациях и физические агенты при интенсивностях, на много порядков ниже предельно допустимых уровней линейной (классической) экологии.

Упомянутая концепция микродоз делает необходимым учет (во всех типах экспериментов!) влияния на состояние биообъектов вариаций космической погоды (не забывая также о воздействии метеорологических процессов). Конечно, столь же необходимо считаться с результатами, полученными в последние десятилетия в опытах с активными воздействиями различными физическими агентами на организмы при сверхслабых интенсивностях – будь то инфразвук [Soroka et al., 2004] и микробаровариации атмосферного давления [Delyukov, Diduk, 1999] или ионизирующие излучения [Кузин, 1991].

Самая важная закономерность была открыта сначала для электромагнитных полей: оказалось, что биологическая эффективность слабых переменных магнитных и электрических полей сильно зависит от их частоты и амплитуды при фиксированном значении статических полей; для магнитных полей биологическое действие кардинально меняется при изменениях векторного соотношения между статическим и переменным полями (комбинированные магнитные поля; см. в качестве обзора работу В.Н. Бинги [2011]). Частотные и амплитудные «окна» биологического действия в современных теоретических моделях трактуются как резонансы (см. далее). Существенно нелинейная связь «доза – эффект» имеет место также для агентов иной физической природы. Понятно, что «резонансная» природа действия внешнего фактора на биосистему приводит к дополнительной зависимости эффектов экранирования от материала экрана. Все перечисленное усложняет истолкование результатов опытов с экранированием.

### *Материаловедение*

Универсального справочника по свойствам экранов не существует. То, что альфа-частицы поглощаются алюминиевой фольгой толщиной 10 мкм, а для защиты от гамма-квантов необходимы сантиметры свинца, можно узнать из руководства по радиобиологии. Сведения о материалах, экранирующих от акустических полей, представлены в учебнике по акустике; там можно узнать, между прочим, что экранирование от инфразвуков, сопровождающих магнитные бури (частота – десятки миллигерц), – задача технически весьма сложная. Электрическое поле экранируется полностью проводочной сеткой (это сведения из другого справочника). При планировании опытов по экранированию организмов все такие руководства должны использоваться; ведь корректное применение классической дифференциальной схемы «опыт – контроль» предполагает, что измерение биологических показателей проводится при условии, когда только один изучаемый параметр изменен в рабочем боксе – экране, а все остальные параметры тождественны. Если, например, в опыте и контроле различаются уровни механических вибраций, а исследуется эффект экранирования от радиоволн, результаты не могут быть истолкованы однозначно.

В большинстве работ, рассматриваемых в настоящем обзоре, исследовались эффекты электромагнитного экранирования. Применяемые при этом материалы четко подразделяются на два класса:

1) ферромагнитные (железо, сплавы с высокими значениями магнитной проницаемости – пермаллой, мю-металл). Внутри боксов, изготовленных из подобных материалов, уменьшается статическое магнитное поле и любые его вариации, а тем самым – радиоволны; в них не проникает электрическое поле и его изменения не оказывают никакого воздействия;

2) электромагнитные (алюминий, сплавы типа латуни). Внутри боксов из этих материалов статическое магнитное поле не изменяется, но уменьшается интенсивность радиоволн и исчезает электрическое поле.

Давно разработаны точные методы расчета эффективности электромагнитных экранов [Гроднев, 1972]. Этот параметр, конечно, зависит не только от свойств использованных материалов, но и от конструкции самого бокса и свойств внешних источников полей. Здесь, разумеется, есть вопросы, ответы на которые известны только специалистам: насколько отверстия в боксе снижают эффективность экрана? Каковы свойства микроаномалий поля, возникающих вблизи отверстий, оснащенных специальными патрубками, снижающими проникновение внешних полей? И т.д. В некоторых работах использовались и материалы для экранирования, полученные с помощью современных

технологий, – аморфные сплавы, эффективно защищающие от низкочастотных магнитных полей, радиоотражающие покрытия и др.

Особым этапом в усилиях получить «магнитный вакуум» была разработка сверхпроводящих экранов. В этих установках используется эффект «выталкивания» силовых линий поля из сверхпроводника: свинец (материал экрана) переходит в это состояние при температуре жидкого гелия; внутри дьюара, где обеспечиваются эти условия, помещается еще одна камера, где поддерживается «обычная» температура. В подобных устройствах достигнута рекордная величина «остаточного» магнитного поля (порядка нанотесла) и уровня его флуктуаций, что позволяет наблюдать очень интересные биофизические эффекты [Богатина и др., 1989].

Условия, приближающиеся к «нулевому магнитному полю», достигаются также в установках – специальных помещениях для прецизионных магнитометрических измерений. При их сооружении применяются многослойные экраны из материалов, о которых уже шла речь (о некоторых результатах, полученных на таких установках, см. ниже).

Большинству исследователей приведенные выше рекордные параметры экспериментов недоступны. Но как раз наблюдения и измерения при умеренных ослаблениях полей представляют большой интерес. Это хорошо видно на примере работы с «экранированной палатой», куда пациенты особой группы риска помещались во время гелиогеофизических возмущений [Гурфинкель, 2004]. Ослабление поля было примерно пятикратным и достигалось обшивкой комнат двумя слоями железа толщиной 1 мм. К этому же типу экранов относится, используемая в Крымском федеральном университете им. В.И. Вернадского камера размером 2×2×3 м, изготовленная из трансформаторного железа толщиной 3 мм [Темурьянц и др., 2012].

Поскольку в ферромагнитных экранах уменьшаются одновременно индукция статического геомагнитного поля и интенсивность радиоволн, кажется привлекательной идея «восстановить» внутри такого экрана переменное магнитное поле с помощью, например, колец Гельмгольца и генератора [Prato et al., 2011; Темурьянц и др., 2012].

Важно отметить, что ферромагнитное экранирование и компенсация геомагнитного поля с помощью тех же колец – эксперименты существенно разные: в последнем случае изучаемый биообъект остается в поле радиоволн. Это замечание остается в силе и для современных установок с «активной защитой», ведь компенсация переменной составляющей магнитного поля ограничена некоторой предельной частотой. В литературе удалось отыскать яркий пример, подтверждающий сказанное в аккуратном эксперименте: время реакции на тепловой стимул мышей измерялось при их пребывании в боксе из мю-металла и в условиях компенсации поля при одинаковом значении индукции; было зафиксировано достоверное различие, которое следует отнести за счет отсутствия в экране именно низкочастотных радиоволн [Choleris et al., 2002].

### *Дозиметрия*

В обширной современной литературе по экранированию трудно встретить обоснование использованной в данной работе величины ослабления поля. Ученые, работающие с предельно малыми индукциями («нулевое поле»), преследуют цель выяснить, возможно ли вообще функционирование организма в отсутствие магнитного поля? Задача в подобных опытах едва ли решается: ведь в биосубстрате есть собственное магнитное поле, создаваемое всюду присутствующими наночастицами биоманганита.

В большинстве случаев кажется, что коэффициент ослабления определяется техническими возможностями.

Между тем подтверждены ранние данные, указывающие на наличие довольно сложной нелинейной зависимости между значением остаточного поля в экране (эффективности экранирования) и биологическими показателями. Оказалось, например, что гравитропическая реакция растений резко снижается, когда индукция магнитного поля становится менее 2 мкТл (опыты с искусственным полем в пределах экрана [Богатина, Шейкина, 2009]). Очевидно, существование подобных зависимостей – разных для разных организмов и показателей – важный потенциальный источник разногласий.

Достоверные эффекты изоляции от геомагнитного поля (и фона радиоволн – о чем авторы публикаций, как правило, не упоминают) наблюдаются при совсем слабом экранировании – снижении индукции статического поля на десятки процентов. Это следует из систематических гигиенических наблюдений [Походзей и др., 2010]. Зафиксированные изменения находятся в разумном качественном согласии с данными медицинских экспериментов (см., например, [Григорьев, 1995]). В связи с этим введены предельно допустимые уровни ослабления поля в жилых помещениях – не более 1.5.

Еще одним независимым источником разброса результатов, полученных разными авторами, является разнообразие используемых экспозиций. Их продолжительность, как правило, «привязана» к особенностям изучаемого биообъекта. Все исследователи согласны, что к экранированию особенно чувствительны организмы, находящиеся на эмбриональных стадиях развития. 20-суточное пребывание личинок японского тритона в помещении, экранированном многослойным ферромагнитным экраном (остаточное поле около 5 нТл), приводило к необратимым аномалиям развития [Asashima et al., 1991]. На эмбрионе американской лягушки было показано, что естественное развитие нарушается уже при экспозиции менее 2 ч (остаточное поле экрана – не более 200 нТл) [Wel-chuan Mo et al., 2012]. «Прерывистые» экспозиции (разные – от 1 ч в сутки до 23 ч) затрудняют сравнение результатов разных авторов и вносят дополнительные трудности в их истолкование: ведь извлечение биообъекта (для измерения показателя) из опытного электромагнитного экрана и контрольного из диэлектрика – процедуры совсем разные. Имеет значение и время начала экспозиции: регенерация плоских червей-планарий под экраном протекает более интенсивно летом, чем зимой [Темурьянц, Демцун, 2010].

### ***Изъяны дифференциальной схемы. Нестабильность контроля***

Если учесть данные биофизики микродоз и неизбежно повышающиеся требования к точности эксперимента, то соблюдение принципа «прочих равных условий» в классической дифференциальной схеме опытов по экранированию кажется очень трудно реализуемым. Список параметров, которые должны быть тождественны в рабочем и контрольном экранах, все время увеличивается: от температуры и влажности в ранних опытах – к перечисленным выше физическим полям, воздуху с его микропримесями и аэроионами, освещенности (важен спектральный состав). В большинстве случаев вклад всех подобных отступлений от идеальной схемы опыта в дисперсию окончательных результатов, вероятно, невелик и складывается с разбросом данных по чисто биологическим причинам. Во многих работах показано, что отклик на изменения в окружении организмов зависит от их видовой принадлежности, возраста, функционального состояния, типологических особенностей (сенситивы). Применительно к опытам по экранированию это показано, в частности с использованием тестов «открытого поля» [Темурьянц, Грабовская, 1992].

Наконец, еще один источник разногласий в итоговых данных обусловлен нестабильностью показателей контроля. Суть дела можно проиллюстрировать следующими двумя примерами.

1. Изучалось влияние экранирования на стандартные лабораторные бактериальные культуры по традиционной схеме «опыт (4 мм латуни) – контроль (стекло)» при 16-часовой экспозиции. Эксперимент регулярно повторялся изо дня в день длительное время. Обычно фиксировались признаки подавления жизнедеятельности (в полном соответствии с литературными данными), однако бывали дни, когда наблюдался противоположный результат – для более чувствительных сальмонелл (*S. typhimurium*) не воспроизводилось 20 % опытов. Цитируемая работа проводилась при высоком уровне солнечной активности. Оказалось, что если из накопленного массива данных (около 800 опытов) исключить дни, когда наблюдались естественные электромагнитные возмущения – вспышки, ионосферные возмущения, магнитные бури с внезапным началом – число случаев невоспроизводимости уменьшалось вдвое [Ачкасова, 1973; Ачкасова и др., 1982].

2. Семена и проростки гороха, чечевицы и льна, помещенные в камеру с экстремально низким (не более 2 нТл) остаточным полем на 3–6 сут отставали в своем развитии от контроля (боксы из пенопласта); была зафиксирована неустойчивость в результатах, явно связанная с изменениями космической погоды, влиявшими, видимо, именно на контроль [Говорун и др., 1992; Фомичева и др., 1992].

Влияние космической погоды в некоторых случаях имеет место также и на экранированные биообъекты. Иначе как понять, что изменения биологических показателей крыс, находящихся в ферромагнитном и немагнитном экранах в данный интервал времени, при сопоставлении с индексом магнитной активности  $A_p$  были разнонаправленными [Холодный, 1979]? Понятно, что вариации показателей контроля могут быть связаны не только с космофизическими причинами, но и с классическими эффектами биометеорологии.

### **Резюме**

Каталогизация возможных причин разногласий в экспериментальных данных по экранированию, представленных в этом разделе, ясно указывает на их тривиальное происхождение. Более полный учет чисто биологических (ритмика), экологических (влияние космической погоды) и технических факторов при планировании и реализации опытов, несомненно, позволяет уменьшить масштаб несогласованности и даже их ликвидировать. Конечно, простую схему дифференциальных измерений желательно дополнить мониторингом. Важно применять более широкий ассортимент материалов для экранирования, при этом каждый материал должен характеризоваться соответствующей частотной кривой затухания поля внутри рабочего объема. Важно использовать оптимальные длительности экспозиций.

### **Экранирование физико-химических систем**

Прежде чем приступить к заключительной части настоящего обзора – анализу различий в интерпретациях опытов, целесообразно кратко суммировать экспериментальные данные по экранированию физико-химических систем. Такие системы – бесспорная подоснова всех биологических процессов. Но проводить опыты с ними много проще, а их истолкование содержит меньше гипотез – ведь в отличие от организмов, рас-

творы не отвечают на внешние возмущение генерализованной адаптивной реакцией, а просто изменяют свои параметры.

Информация о подробно изученных тест-системах сведена в таблице. Открывают этот список данные тестов Дж. Пиккарди; и не только потому, что его работы были пионерскими. Помимо опытов с оксихлоридом висмута, Дж. Пиккарди еще обнаружил, что под медным экраном снижается интенсивность полимеризации акрилонитрила, уменьшается время затвердевания расплавленного нафталина, снижается интенсивность кристаллообразования в колбе Фицроя – штормглассе. Это последнее устройство – герметически заполненная пробирка (20 мл), содержащая насыщенный раствор камфоры и некоторых солей, – обратимо реагирует как на изменения космической погоды, так и на метеорологические процессы [Барановский и др., 2010; Владимирский, 2013]. Действующим физическим агентом в данном случае являются сверхнизкочастотные радиоволны [Степанюк и др., 2013].

### Влияние экранирования на физико-химические системы

Авторы, ссылка	Процесс, измеряемая величина	Материал экрана	Наблюдаемый эффект
[Piccardi, 1962]	Скорость оседания оксихлорида висмута, время образования границы; интенсивность полимеризации акрилонитрила, вес полимера	Железо, свинец, медь, алюминий	Время оседания висмута уменьшается; вес полимера уменьшается
[Удальцова и др., 1987; Шноль, 2009]	Скорость биохимических реакций, активность ферментов in vitro, относительный разброс результатов при повторении опытов	Сталь, чугун, алюминий, вода	Форма статистических распределений изменяется
[Опалинская, Агулова, 1984]	Скорость оседания оксихлорида висмута (модифицированный тест Пиккарди), время образования границы раздела	Сталь, латунь, алюминий, пермаллой	Время оседания и его дисперсия уменьшаются
[Rothen, 1976]	Активность фермента in vitro	Свинец, мю-металл	Суточная вариация исчезает
[Сосунов и др., 1972; Tromp, 1981]	Скорость оседания эритроцитов, время образования границы раздела	Железо, латунь	Скорость осаждения уменьшается
[Соколовский, 1984]	Скорость окисления унитиола в водном растворе, время окисления 50 % SH-группы	Медь	Скорость окисления уменьшается
[Коновалов, 2013]	Свойства сверхразбавленных растворов, образование в растворе наноструктур	Пермаллой	Наноассоциаты воды не образуются

Массив данных, собранный Дж. Пиккарди и его помощниками, анализировали в дальнейшем многие исследователи. При этом не только подтвердились выводы о чувствительности его тестов к вариациям космической погоды, но были обнаружены эффекты электромагнитных явлений, о которых сам он и не подозревал – тест F реагирует, как оказалось, на смену знака межпланетного магнитного поля [Владимирский,

1989]. Были воспроизведены и опыты Дж. Пиккарди. Подробно это было сделано томскими исследователями [Опалинская, Агулова, 1984]. Они использовали ферромагнитные экраны (сталь, пермаллой) с расчетными коэффициентами ослабления для статического геомагнитного поля  $10^2$  и  $10^6$  соответственно. На протяжении 6 лет проводились десятки опытов (1968–1974 гг.; контрольные эксперименты проводились в деревянном боксе). Оказалось, что в стальном экране время осаждения относительно контроля в среднем уменьшилось на  $37 \pm 3$  %, а флуктуации – в 1.5 раза, а в пермалловом экране – соответственно на 50 % и в 2.6 раза ( $p \leq 0.001$ ). Делается заключение, что основной эффект обусловлен изоляцией от электромагнитного фона (радиоволны). Этот вывод учитывает результаты дополнительных опытов, в которых на тест-реакцию действовали переменным магнитным полем на определенных частотах в экране, а также влияние на скорость осаждения промышленных шумов и гроз. Такова была, между прочим, и точка зрения самого Дж. Пиккарди, наблюдавшего влияние на тест Р радиоволн диапазона атмосфериков.

Впечатляющее новейшее открытие – влияние пермаллового экрана (с ослаблением геомагнитного поля примерно в 1000 раз) на существование в воде некоторых наноструктур – некоторые исследователи также связывают с ослаблением фона переменных полей (см. обзор в [Коновалов, 2013]). Однако единого мнения на этот счет нет.

Для большинства тест-реакций, приведенных в таблице, установлена их связь с изменениями космической погоды. Теперь ясно, что это – общее явление: от чисел Вольфа зависит, как выяснилось, электропроводность дистиллированной воды [Агеев, Шишкин, 2001] и показатели водных «псевдорастворов» [Лазарева, Бинги, 1992]. Само существование таких корреляций – косвенный аргумент в пользу истолкования эффектов экранирования как следствия изоляции от фона радиоволн. Из всех возможных каналов воздействия космической погоды на процессы в среде обитания для интерпретации рассматриваемых опытов следует предпочесть именно электромагнитный.

Вода играет в явлениях жизни совершенно исключительную роль. Отсюда с непреложной необходимостью следует общий вывод: эффекты с экранированием электропроводящими материалами должны иметь место для всех организмов (они могут быть не обнаружены в отдельных случаях по методическим причинам!).

Представленное выше обсуждение ставит и некоторые технические вопросы, которые следует принимать во внимание при планировании опытов и при истолковании их результатов:

– нестабильность контроля (находящегося в диэлектрическом боксе-экране) при достижении определенной точности измерений является феноменом неустранимым;

– растворы, сохраняющиеся в стандартных лабораторных условиях (вне экрана), при внесении их в рабочий экранируемый объем, возможно, привносят некоторый «сигнал» из внешней среды подопытному биообъекту. Чтобы устранить это нарушение принципа «прочих равных условий», не следует ли сохранять в экране все жидкости, используемые по ходу опыта?

– при экранировании обитателей водной среды какая доля измеряемого показателя должна быть отнесена к влиянию экрана собственно на организм и какая – на воду? Было показано, например, что вода после воздействия на нее слабым переменным магнитным полем с определенными параметрами влияет на скорость деления плоских червей – планарий так же, как если бы на планарии действовало непосредственно электромагнитное поле [Новиков и др., 2002].

### Эффект экранирования и теоретические модели биологического действия микродоз

Если известен механизм биологического действия того или иного физического фактора, то последствия изоляции от него могут быть предсказаны. В подавляющем большинстве случаев такие механизмы разработаны пока в самых общих чертах либо вообще не построены. Непонятно, почему инфразвук (или микробаровариации волн тяжести) может воздействовать на воду и биосубстрат. Неизвестно, как получается, что организмы «чувствуют» сверхслабые изменения уровня радиоактивного излучения или потока инфракрасных фотонов.

Некоторое исключение составляют электромагнитные поля. За последние десятилетия удалось определить «точки приложения» (мишени) действия слабых переменных магнитных полей в живом веществе. Это породило обширную литературу по биологическому действию искусственных так называемых комбинированных магнитных полей: параллельно вектору постоянного магнитного поля накладывается монохроматическое переменное магнитное поле с амплитудой, сопоставимой с индукцией постоянного. Объем настоящей статьи не позволяет остановиться на изложении теоретических схем, обсуждаемых разными авторами и касающихся, прежде всего, спиновой подсистемы вещества [Леднев, 2003; Леднев и др., 2003; Zhadin, 2004; Бучаченко и др., 2006]; обзор этих идей см. в монографии В.Н. Бинги [2011].

Применительно к вопросам экранирования вывод из рассмотрения перечисленных выше теоретических идей состоит в том, что биологический эффект чувствителен к изменению внешних как постоянных, так и переменных магнитных полей. Из формул, полученных в теории параметрического резонанса В.В. Леднева, в частности, следует, что изменение статического магнитного поля в небольших пределах существенно влияет на спектр действия биосубстрата к переменным полям (обзор этой теории см. в [Белова, Панчелюга, 2010]). Экспериментально установлено, что при экранировании важную роль играет ослабление не только постоянного компонента ГМП, но и ПемП крайне низкочастотного диапазона [Темурьянц, Костюк, 2015].

В полном списке внешних физических агентов, которые влияют на воду (и биосистему), фигурируют еще, согласно А.В. Дроздову и др. [2010], градиент постоянного магнитного поля, амплитуда и частота микроволнового поля. Последнее означает, что биообъект непременно должен реагировать на экранирование немагнитными материалами (медь, свинец и т.д.).

Прямое сравнение результатов опытов по экранированию с теоретическими предсказаниями невозможно потому, что для сопоставления недостаточно определить первичные мишени и выделить главную из них. Необходимо еще более или менее однозначно проследить «перенос» начального эффекта к измеряемой величине, что является задачей физиологии. Важнейшим событием при построении механизмов действия электромагнитных полей на этом более высоком уровне организации было обнаружение важной роли мелатонина. Этот гормон, вырабатываемый эпифизом, давно известен как один из основных нейроэндокринных преобразователей стимулов внешней среды. Через посредство мелатонина контролируется биологическая ритмика; его концентрация в организме коррелирует с изменениями космической погоды [Рапопорт, 2013]. Поэтому можно думать, что в нарушении временной организации всех биосистем при экранировании изменение функционального состояния эпифиза имеет ключевое значение [Темурьянц и др., 2012]. Скорее всего, физиологические пути преобразования первичного «сигнала» в фиксируемый эффект могут быть разными. В.О. Пономарев и

В.В. Новиков [2009] из развиваемых ими модельных представлений предсказывают увеличение концентрации активных форм кислорода после воздействия на биосистему определенных комбинированных магнитных полей. Но тогда при экранировании должен снижаться темп окислительных процессов, что, видимо, и наблюдается. В.В. Леднев с соавторами [2008] в своих наблюдениях над добровольцами установили, что крайне слабые магнитные поля, параметры которых были выбраны из теоретических соображений, влияли на вариабельность сердечного ритма. Они отметили, что точно такой же эффект должен обязательно наблюдаться при облучении организма естественными микропульсациями Pс1 (амплитуда – десятки пикотесла, частота – около 1 Гц, возбуждаются время от времени в магнитосфере). Но тогда получает объяснение (частичное) терапевтический эффект пребывания пациентов-сердечников в экранированной палате, в которой упомянутые колебания ослаблялись по амплитуде [Гурфинкель, 2004].

Конечно, не все важные эмпирические закономерности, выявленные в ходе опытов по экранированию, находятся в поле зрения теоретиков. Какова все-таки физическая природа электро- и магнитотропизмов, видоизменяющихся в экране? Мицелий нескольких видов грибов в экране с коэффициентом ослабления около  $10^3$  развивается «кругами» [Богомолова и др., 2009]. Почему? Ведь важнейший вектор анизотропии в среде обитания – сила тяжести – не экранируется. Давно и хорошо известно, что изоляция от внешних природных «датчиков времени» приводит к глубокому нарушению биологической ритмики (что было установлено сначала в ходе спелеологических наблюдений).

В принципе, таких датчиков существует несколько. По каким-то причинам организмы предпочитают электромагнитные: это вариации параметров электромагнитного фона, содержащего в себе всю космическую ритмику. Неизвестно, существует ли какой-либо выделенный частотный диапазон, ответственный за поддержание временной организации биосистем. Слабое ферромагнитное экранирование при «прерывистой» экспозиции у беспозвоночных вызывает изменение ритмики в широком диапазоне периодов – от внутрисуточной до инфрадианной [Темурьянц и др., 2012].

### Трудности интерпретации

Разумеется, те или иные трудности в интерпретации результатов эксперимента – неотъемлемая, рутинная часть исследовательской практики. Но в некоторых случаях они перерастают в масштабные проблемы, притом достаточно острые, затрагивающие, так сказать, вопросы стратегические. К двум таким дискуссионным проблемам хотелось бы привлечь внимание.

#### **Ферромагнитное экранирование – неоднозначность толкования экспериментов**

Как уже неоднократно подчеркивалось, в пределах камеры из ферромагнитных материалов уменьшение постоянного магнитного поля всегда сопровождается уменьшением поля переменного соответственно частотной характеристике. В функционирующем организме неизбежно «что-то» двигается (циркулирует), миниатюрные биообъекты все время перемещаются. Если имеется градиент поля, это эквивалентно влиянию поля переменного. Можно еще вспомнить о магнитотропизмах. К действию какого фактора следует отнести изменение некоторого показателя после экспозиции? Эта перманентно существующая неясность уже не раз отмечалась. Все-таки, что «в основном» действует?

Теперь, когда в пределах экранированного объема некоторые исследователи определили зависимость биологического показателя от величины индукции искусственно восстановленного статического поля, когда проведено много опытов с компенсацией геомагнитного поля, утверждение о биологической значимости статического магнитного поля бесспорно. Этот категоричный вывод можно было вполне обоснованно сделать много раньше, если бы в свое время получил достаточную известность эксперимент Б.И. Веркина и сотр. [1976].

В одной из двух идентичных пермалловых камер (остаточная индукция – 26 нТл) было восстановлено геомагнитное поле (без микропульсаций); наблюдались хорошо изученные культуры бактерий с измерением стандартных показателей; пересев на свежую культурную среду проводился каждые 18 ч в пределах экрана; общая экспозиция – 4 мес.; различия морфофункциональных параметров для обоих боксов были высоко статистически значимы. Но столь же бесспорны данные по эффектам немагнитных экранов, когда статичное магнитное поле остается неизменным, а все изменения следует отнести за счет изоляции биообъектов от радиоволн в широком диапазоне частот (и действия электрических полей). Наконец, теоретические соображения (см. выше) и многочисленные опыты с комбинированными магнитными полями ясно показывают, что постоянное и переменное поля в биологическом действии электромагнитных микродоз тесно связаны. Можно ли вообще ставить вопрос «что важнее»?

Кажется, ответ на него может быть общим, универсальным, но в зависимости от контекста и от исходной точки зрения. С экологических позиций, постоянное магнитное поле оказывает воздействие своим присутствием, внешнее управление процессом связано в большей степени именно с переменными полями – радиоволнами. Размышляя, например, над результатами опытов В.А. Гусева [2001] – гибель кишечной палочки, развивающейся в условиях острого субстратного голода после помещения культуры в пермалловый экран, – приходится предполагать, что эффект обусловлен, прежде всего, изоляцией бактерий от радиоволн. Все многообразие эффектов при вариациях космической погоды имеет место при практически неизменном геомагнитном поле и обеспечивается изменениями переменных полей. Сам электромагнитный фон среды обитания, согласно мнению многих авторов [Александров, 2006; Владимирский, 2006; Мартынюк и др., 2006; Мартынюк, Темурьянц, 2009], необходим для нормального функционирования организмов. Причем для их комфортного существования требуется некоторый оптимальный уровень интенсивности; «избыток» или «дефицит» в равной мере нежелательны [Белишева и др., 1995].

Так или иначе, но при анализе эффектов ферромагнитного экранирования важно учитывать изменение всех параметров. Часто фигурирующие в литературе термины «магниторецепция», «гипомагнитная среда», «магнитный вакуум» лишь вводят в заблуждение.

### ***Природный радиоактивный фон тоже необходим для нормальной жизнедеятельности***

Вынесенный в заголовок этого раздела тезис органично вписывается в биофизику микродоз. Он является обобщением большого числа наблюдений и экспериментов над самыми различными организмами – от одноклеточных до млекопитающих. Как правило, повышение естественного фона (даже всего в 3 раза!) оказывает стимулирующее действие, снижение (экранирование) – угнетающее (библиография соответствующих публикаций представлена в монографии А.М. Кузина [1991]). Читателям, далеким от радиобиологии, можно напомнить, что суммарная годовая доза для человека получает-

ся в основном за счет облучения внутренними источниками (ориентировочно – около 150 мрад), природный радиоактивный фон составляет ~65 мрад (половина приходится на космические лучи).

Эксперимент, иллюстрирующий влияние сверхслабого изменения уровня радиоактивности на жизнедеятельность, заключался в наблюдении над растительными проростками, «лишенными» радиоактивного изотопа  $K^{40}$  (они принадлежали растениям, выращенным на среде, в которой благодаря искусственному разделению изотопов был представлен только стабильный изотоп  $K^{39}$ ). Оказалось, что подопытные проростки «чувствовали» себя в лабораторных условиях по сравнению с контрольными проростками хуже [Кузин и др., 1994]. И это соответствовало снижению суммарной дозы облучения всего на 9 %!

Пример радиобиологического эксперимента по экранированию выглядит следующим образом [Кузин и др., 1997]: проростки редиса помещались в одинаковые герметичные стальные контейнеры; один из них оставался в лаборатории, другой помещался в подземную низкофоновую камеру, заполненную водой. Экспозиция составляла 4 сут; уровень ионизирующего излучения был снижен в 20 раз; температура в опыте и контроле не различалась более чем на  $0.1^\circ$ . В ходе эксперимента в опытной камере наблюдались статистически достоверные снижения роста корневой системы (23 %) и самих проростков (14 %), но этот эффект исчезал, если фон ионизирующей радиации восстанавливался путем помещения в опытный контейнер навески соли урана.

У читателя, знакомого с литературой по влиянию на растительные проростки электромагнитного экранирования, возникают в связи с подобными опытами следующие вопросы:

– почему весь эффект подавления жизнедеятельности следует отнести только к снижению уровня ионизирующей радиации? Ведь в контроле–опыте, возможно, существенно отличались электромагнитные и акустические условия (что вообще не обсуждается);

– изменения соотношения между интенсивностями ионизирующего–неионизирующего излучений необходимо, казалось бы, учитывать, поскольку воздействие переменным магнитным полем повышает радиорезистентность [Копылов, Троицкий, 1982]; при снижении уровня таких полей не возникает ли повышение чувствительности к гамма-излучению?

– аргумент в связи с «восстановлением» радиоактивного фона не кажется вполне убедительным. Совсем не исключено, что слабый сигнал иной физической природы дал бы тот же самый нивелирующий эффект; такой эффект мог быть обусловлен не только прямым действием гамма-излучения, но и взаимным действием на проростки вторичного биогенного излучения.

Конечно, эти замечания относятся ко всем экспериментам данного типа. Они не ставят под сомнение общий вывод о необходимости для биосферы радиоактивного фона; речь идет об уточнении цифр. Игнорирование электромагнитных факторов в данном случае, скорее всего, обусловлено междисциплинарной разобщенностью: ведь и в литературе по изучению биологических эффектов электромагнитного вакуума нет ссылок на радиобиологические работы. Между тем во многих случаях различия между опытом и контролем в подобных опытах могут быть биологически значимы. Так, например, свинец в сверхпроводящем экране сохраняет свои поглощающие свойства к гамма-излучению.

## Заключение

Основной итог панорамного обзора данных по экранированию, накопленных на протяжении почти столетия, – выявление междисциплинарного характера проблемы. Функционирование и эволюция биосферы проходят под «защитой» космических экранов. Все без исключения виды организмов адаптированы к существующим в среде обитания «фоновым» полям – электромагнитным, акустическим, ионизирующих излучений, химических микропримесей. Изоляция биообъектов с применением любых экранов неизбежно сопровождается изменениями в пределах экранированного объема сразу нескольких параметров, что порождает известные трудности в истолковании результатов. Многочисленные опыты с комбинированными магнитными полями, применение все более информативных биологических показателей, использование данных по экранированию водных растворов стимулировало возникновение теоретических моделей, связавших эмпирические данные с современной теоретической физикой. В самых общих чертах эффекты экранирования понятны. Обсуждение опытов по экранированию с длительными экспозициями неизбежно приводит к необходимости учитывать вариации космической погоды, что особенно важно при рассмотрении биологической ритмики. При условии применения более совершенных методических приемов и надлежащем повышении уровня технической оснащенности опыты с экранированием остаются весьма ценными источниками информации в биологии и биофизике. Возможно, самые интересные открытия ждут исследователей в экспериментах с физико-химическими системами – растворами, полупроводниковыми структурами.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания № 2015/701 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Обоснование применения оздоровительно-превентивных технологий на основе действия низкоинтенсивных факторов различной природы» и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-04-06054, проект «Феноменология и механизмы действия слабых электромагнитных факторов: ослабленного электромагнитного поля Земли и низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты»).

## Литература

- Агеев И.М., Шишкин Г.Г.* Корреляция солнечной активности с электропроводностью воды // Биофизика. 2001. Т. 46, № 5. С. 829–832.
- Александров В.В.* Экологическая роль электромагнетизма. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2006. 715 с.
- Ачкасова Ю.Н.* Метаболизм и скорость размножения микроорганизмов, развивающихся при экранировании электрических и магнитных полей // Влияние слабых электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков: Изд-во Харьков. мед. ин-та, 1973. С. 51–52.
- Ачкасова Ю.Н., Брызгунова Н.И., Клименко Л.И., Новгородов Н.П.* Биологическое действие неионизирующей радиации и проблема влияния солнечной активности на организмы // Влияние солнечной активности на биосферу. М.: Наука, 1982. Т. 43. С. 109–116 (Проблемы космической биологии. Т. 43).
- Барановский Э.А., Таращук В.П., Владимирский Б.М.* Влияние солнечной активности и геофизической возмущенности на физико-химические процессы в жидкой среде: предвари-

- тельный анализ показания штормгласса // Геофизические процессы и биосфера. 2010. Т. 9, № 1. С. 19–33.
- Белишева Н.К., Попов А.Н., Петухова Н.В. Павлова Л.П., Осипов К.С., Ткаченко С.Э., Баранова Т.И.* Качественная и количественная оценка воздействия вариаций геомагнитного поля на функциональное состояние мозга человека // Биофизика. 1995. Т. 40, № 5. С. 1005–1012.
- Белова Н.А., Панчелюга В.А.* Модель Леднева: теория и эксперимент // Биофизика. 2010. Т. 56, № 4. С. 750–766.
- Бинги В.Н.* Принципы электромагнитной биофизики. М.: Физматлит, 2011. 591 с.
- Богатина Н.И., Шейкина Н.В.* Влияние амплитуды и частоты комбинированного магнитного поля на гравитропическую реакцию растений // V Междунар. конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в медицине»: Сб. избр. тр. СПб., 2009. С. 23–39.
- Богатина Н.И., Бондаренко С.И., Гудков С.В.* Сверхпроводящий магнитный экран с теплым рабочим объемом // Приборы и техника эксперимента. 1989. № 4. С. 241–242.
- Богомолова Е.В., Гаврилов Ю.М., Дмитриев С.П., Доватор Н.А., Панина Л.К.* Магнитный вакуум провоцирует аномалии полярного роста у грибов // V Междунар. конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине»: Тез. СПб., 2009. С. 78.
- Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л.* Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы // Биофизика. 2004. Т. 49, № 3. С. 551–564.
- Бучаченко А.Л., Кузнецов Д.А., Бердинский В.Л.* Новые механизмы биологических эффектов электромагнитных полей // Биофизика. 2006. Т. 51, № 3. С. 545–552.
- Веркин Б.И., Бондаренко С.И., Шеремет В.И. Дудаева А.А., Сафонова Т.С., Юрченко Г.Г.* Влияние слабого магнитного поля на некоторые виды бактерий // Микробиология. 1976. Т. 45, вып. 6. С. 1067–1070.
- Владимирский Б.М.* Секторная структура межпланетного магнитного поля и химические тесты Пиккарди // Проблемы космической биологии. Л.: Наука, 1989. Т. 65. С. 210.
- Владимирский Б.М.* Электромагнитные поля среды обитания, «биолокация» и хоминг // Геофизические процессы и биосфера. 2006. Т. 5, № 2. С. 5–17.
- Владимирский Б.М.* Загадочный штормгласс и погода – земная и космическая // Пространство и время. 2013. Вып. 2(12). С. 173–182.
- Говорун Р.Д., Данилов В.И., Фомичева В.М., Белявская Н.А., Зинченко С.Ю.* Влияние флуктуаций геомагнитного поля и его экранирования на ранние фазы развития высших растений // Биофизика. 1992. Т. 37, № 4. С. 738–744.
- Григорьев Ю.Г.* Реакция организма в ослабленном геомагнитном поле (эффект магнитной депривации) // Радиационная биология. Радиозкология. 1995. Т. 35, вып. 1. С. 3–18.
- Гроднев И.И.* Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М.: Связь, 1972. 312 с.
- Гурфинкель Ю.И.* Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность. М.: Эльф-3, 2004. 169 с.
- Гусев В.А.* Об источнике энергии для сохранения жизнеспособности и амплификации гетеротрофных микроорганизмов в условиях субстратного голода // Биофизика. 2001. Т. 46, № 5. С. 862–878.
- Дроздов А.В., Нагорская Т.П., Масюкевич С.В., Горшков Э.С.* Квантово-механические аспекты эффектов слабых магнитных полей на биологические объекты // Биофизика. 2010. Т. 55, № 4. С. 740–749.
- Казначеев В.П., Михайлова Л.П.* Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. Новосибирск: Наука, 1985. 181 с.
- Козлов М.П., Труфанов Г.В., Товканев Ф.И.* Влияние ослабленного геомагнитного поля на размножение и развитие белых мышей. Ставрополь, 1984. 16 с. Деп. ВИНТИ № 2074–84.
- Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В.* Электромагнитная экология. Томск: Томск. гос. ун-т, 2009. 334 с.

- Коновалов А.И. Образование наноразмерных молекулярных ансамблей в высокоразбавленных водных растворах // Вестн. РАН. 2013. Т. 83, № 12. С. 1076–1082.
- Копанев В.И., Шакула А.В. Влияние гипوماгнитного поля на биологические объекты. Л.: Наука, 1985. 72 с.
- Копылов А.Н., Троицкий М.А. Влияние магнитных полей на радиочувствительность мышей // Радиобиология. 1982. Т. 22, № 5. С. 687–690.
- Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М.: Наука, 1991. 116 с.
- Кузин А.М., Суркенова Г.Н., Мозговой Е.Г. Влияние  $K^{40}$  на развитие растений // Докл. РАН. 1994. Т. 334, № 1. С. 112–114.
- Кузин А.М., Вагатова М.Э., Примаков-Миролюбов В.Н. О роли естественного фона ионизирующих излучений на начальных фазах развития растений // Радиобиология. 1997. № 1. С. 37–40.
- Куклев Ю.И. Физическая экология. М.: Высш. шк., 2001. 357 с.
- Лазарева Н.Ю., Бинги В.Н. О корреляции биодействия мнимых растворов и солнечной активности // Биофизика. 1992. Т. 37, № 3. С. 601–603.
- Леднев В.В. Биологические эффекты крайне слабых переменных магнитных полей: идентификация первичных мишеней // Моделирование геофизических процессов / Под ред. А.Я. Сидорина. М.: ИФЗ РАН, 2003. С. 130–136.
- Леднев В.В., Белова Н.А., Рождественская З.Е., Тирас Х.П. Биоэффекты слабых переменных полей и биологические предвестники землетрясений // Геофизические процессы и биосфера. 2003. Т. 2, № 1. С. 7–18.
- Леднев В.В., Белова Н.А., Ермаков А.М., Акимов Е.Б., Тоневецкий А.Г. Регуляция variability сердечного ритма человека с помощью крайне слабых переменных магнитных полей // Биофизика. 2008. Т. 53, № 6. С. 1129–1137.
- Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А. Магнитные поля крайне низкой частоты как фактор модуляции и синхронизации инфраничных биоритмов у животных // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 5, № 1. С. 5–23.
- Мартынюк В.С., Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8, № 1. С. 36–50.
- Нахильницкая З.Н., Мاستрюкова В.М., Бородкина А.Г. Реакция организма на воздействие нулевого магнитного поля // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1978. Т. 12, № 2. С. 74–78.
- Новиков В.В., Шейман И.М., Фесенко Е.Е. Влияние слабых и сверхслабых магнитных полей на интенсивность бесполого размножения планарий *Dugesiatigrina* // Биофизика. 2002. Т. 47, № 1. С. 125–129.
- Опалинская А.М., Агулова Л.П. Влияние естественных и искусственных электромагнитных полей на физико-химическую и элементарную биологическую системы. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. 190 с.
- Пономарев В.О., Новиков В.В. Влияние низкочастотных переменных магнитных полей на скорость биохимических реакций // Биофизика. 2009. Т. 54, № 2. С. 235–241.
- Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Рубцова Н.Б. Гипогеомагнитное поле: биологическое действие и гигиеническое нормирование // Человек и электромагнитные поля: Докл. III Межд. конф. Саров, 2010. С. 185–193.
- Рапопорт С.И. Мелатонин в профилактике магнитных бурь // Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле: Тр. Междунар. конф. М.: ИКИ, 2013. Т. 2. С. 615–618.
- Соколовский В.В. Влияние солнечной активности на скорость окисления тиоловых соединений // Электромагнитные поля в биосфере. М.: Наука, 1984. Т. 1. С. 193–206.
- Сосунов А.В., Голубчак Б.А., Семкин В.А. Наблюдения по изучению некоторых биологических процессов в экранированных пространствах // Гигиеническая оценка магнитных полей. М., 1972. С. 144–146.

- Степанюк И.А., Фролова Н.С., Зимин А.В., Перевозчиков Н.Ф. Поиск механизмов влияния гидрометеорологических процессов на штормглас // Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле: Тр. Междунар. конф. ИКИ РАН, 2013. Т. 2. С. 7–745.
- Темурьянц Н.А., Грабовская Е.Ю. Реакция крыс с разными конституционными особенностями на действие слабых переменных магнитных полей крайне низких частот // Биофизика. 1992. Т. 37, № 4. С. 817–820.
- Темурьянц Н.А., Демцун Н.А. Сезонные различия регенерации планарий в условиях многодневного электромагнитного экранирования // Биофизика. 2010. Т. 55, вып. 4. С. 710–714.
- Темурьянц Н.А., Костюк А.С. Воздействие переменного магнитного поля крайне низкой частоты на активность опиоидной системы моллюсков, находящихся в условиях длительного электромагнитного экранирования // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 1. С. 42–52.
- Темурьянц Н.А., Чуян Е.Н., Костюк А.С., Туманянц К.Н., Демцун Н.А., Ярмлюк Н.С. Эффект слабых электромагнитных факторов у беспозвоночных животных. Симферополь: Диайпи, 2012. 302 с.
- Удальцова Н.В., Коломбет В.А., Шноль С.Э. Возможная космофизическая обусловленность макрокосмических флуктуаций в процессах разной природы. Пушино, 1987. 96 с.
- Фомичева В.М., Заславский В.А., Говорун Р.Д., Данилов В.И. Динамика синтеза РНК и белков в клетках корневой меристемы // Биофизика. 1992. Т. 37, № 4. С. 750–758.
- Холодный Ю.Г. Нейрогормональная характеристика некоторых моделей эмоциональных нарушений в условиях частичной геомагнитной депривации // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической эндокринологии. Харьков, 1979. 36 с.
- Шноль С.Э. Комофизические факторы в случайных процессах. Stockholm: Swed. Physics Archiv., 2009. 388 с.
- Asashima M., Shimada K., Pfeiffer C.J. Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the Newt *Cynops pyrogaster* // Bioelectromagnetics. 1991. V. 12, N 4. P. 215–224.
- Choleris E., Del Sepia C., Thomas A.W., Luschi P., Ghione G., Moran G.R., Prato F.S. Shielding, but zeroing of ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice // Proc. Roy. Soc. London, 2002. V. B269, N 1487. P. 193–201.
- Delyukov A., Didyk L. The effects of extra-low frequency atmospheric pressure oscillations on human mental activity // Intern. J. of Biometeorology. 1999. V. 43. P. 31–37.
- Halpern J.B., Van-Duce H.H. Very low magnetic fields: biological effects and their implication for space exploration // Aerospace Med. Assoc. 37-th Ann. Sci. Meet. Las-Vegas (Nevada, USA), 1966. P. 281–288.
- Piccardi G. The chemical basis of medical climatology. Springfield, Ill., USA, 1962. 146 p.
- Prato F.S., Holmes D.D., Keenlside L.D., DeMoor J.M., Robertson J.A., Stodilka R.Z., Thomas A.W. The detection threshold for ELF magnetic fields may be below 1000 nT-Hz in mice // Bioelectromagnetics. 2011. V. 32. P. 561–569.
- Rothen A. 24-hour periodicity in the course of immunologic reaction carried out at liquid-solid interface due to possible extra-terrestrial influences // J. Interdiscipl. Cycle Res. 1976. V. 7, N 3. P. 173–182.
- Soroka S.A., Negoda A.A., Mezentssev V.P., Kalita B.I., Karataeva L.M. The infrasonic channel of influence of solar activity on the biosphere // Biophysics. 2004. V. 49, suppl. 1. P. S32–S42.
- Tromp S.W. Long-term fluctuations of the physical-chemical state of human blood and their possible geophysical causes // Zeitschrift für phys. Medicine, Balneology, Med. Climatology. 1981. N 6. P. 359–369.
- Wel-chuan Mo, Ying Liu, Cooper H.M., Rong-qiao He. Altered development of xenopus embryos in a hypomagnetic field // Bioelectromagnetics. 2012. V. 33, N 4. P. 238–246.
- Zhadin M.N. Mechanisms of biological influence of weak magnetic fields // Biophysics. 2004. V. 49, suppl. 1. P. 548–551.

*Сведения об авторах*

**ВЛАДИМИРСКИЙ Борис Михайлович** – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Акад. Вернадского, д. 4. Тел.: +38 (0652) 54-62-50. E-mail: bvlad@yandex.ru

**ТЕМУРЬЯНЦ Наталия Арменаковна** – доктор биологических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Акад. Вернадского, д. 4. Тел.: +38 (0652) 60-86-05. E-mail: timur328@gmail.com

## **SHIELDING IN BIOLOGY AND BIOPHYSICS: METHODOLOGY, DOSIMETRY, INTERPRETATION**

**B.M. Vladimirsky, N.A. Temuryants**

Vernadsky' Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

**Abstract.** An interdisciplinary review of the publications on the shielding of organisms by different materials is presented. The authors make a conclusion that some discrepancy between the results of different studies might be caused by methodical biological and technical reasons. The instability of indices of control objects is connected with cosmic weather's variations. The effects of the shielding of water solution have been revealed by many experiments, so some consequences of the isolation from the environment by electromagnetic shields may exist in all organisms. Main causes of the shielding by screens of such a type may be understood when one takes into account theoretical models of the action of electromagnetic fields upon the organisms. The effects of the shielding by ferromagnetic materials are caused by the change of static magnetic field as well as the intensity of radiowaves.

*Keywords:* biological effects of the shielding of the organisms by different materials, electromagnetic ecology, biophysics, cosmic weather, microdoses.