

53(048)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР (17—18 января 1973 г.)

17 и 18 января 1973 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На заседании были заслушаны доклады:

1. К. И. Грингауз. Формирование плазмопаузы и его влияние на физику земной ионосферы.
2. И. А. Жулин. Динамика и физическая природа частиц по комплексным исследованиям в магнито-сопряженных районах.
3. А. Д. Сытинский. О связи сейсмичности Земли с солнечной активностью.
4. Н. Д. Девятков. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты.
5. Э. Б. Базанова, А. К. Брюхова, Р. Л. Виленская, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант, Н. С. Ландау, В. М. Мельникова, Н. П. Микаэлян, Г. М. Охохолина, Л. А. Севастьянова, А. З. Смоленская, Н. А. Сычева (под общим руководством Н. Д. Девяткова). Некоторые вопросы методики и результаты воздействия СВЧ на микроорганизмы и животных.
6. Л. А. Севастьянова, Р. Л. Виленская. Исследование влияния радиоволн сверхвысокой частоты миллиметрового диапазона на костный мозг мышей.
7. А. З. Смоленская, Р. Л. Виленская. Действие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на функциональную активность некоторых генетических элементов бактериальных клеток.
8. В. Ф. Кондратьева, Е. Н. Чистякова, И. Р. Шмакова, Н. Б. Иванова, А. А. Трескунов. Влияние радиоволн миллиметрового диапазона на некоторые свойства бактерии.
9. С. Е. Манойлов, Е. Н. Чистякова, В. Ф. Кондратьева, М. А. Стрелкова. Влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона на некоторые стороны белкового метаболизма бактерий.
10. Н. П. Залюбовская. Реакции живых организмов на воздействие электромагнитных волн миллиметрового диапазона.

11. Р. И. Киселев, Н. П. Залюбовская. Воздействие электромагнитных волн миллиметрового диапазона на клетку и некоторые структурные элементы клетки.

12. В. И. Гайдук, Ю. И. Хургин, В. А. Кудряшова. Перспективы изучения механизмов нетеплового воздействия электромагнитного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на биологически активные соединения.

Ниже публикуется краткое содержание некоторых докладов и тезисы выступления в прениях Д. С. Чернавского.

612.014.42(048)

Н. Д. Девятков. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты. С развитием СВЧ-электроники появляются все большие возможности использования ее достижений не только в традиционных для нее направлениях (передача и прием различного рода информации), но и новых, например, таких, как биология и медицина.

Особо важное значение сейчас приобретает изучение возможности использования новых освоенных диапазонов электромагнитных когерентных колебаний. К ним относятся миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны длин волн, а также более коротковолновые участки диапазона электромагнитных колебаний — те, в которых сейчас работают лазеры.

Данная научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР с участием приглашенных специалистов, работающих в области биофизики, микробиологии, биохимии и медицины, посвящена в основном экспериментальным исследованиям влияния облучения полем электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона длин волн различных биологических объектов на молекулярном и клеточном уровнях и на уровне более сложных живых организмов.

Несколько лет назад в организациях Министерства электронной промышленности СССР и в Институте радиофизики и электроники АН УССР (Харьков) были закончены разработки генераторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн типа ламп обратной волны, дающих возможность плавно изменять частоту генерируемых колебаний в широких пределах. На базе разработанных генераторов миллиметровых волн были созданы специализированные установки для проведения биологических исследований. Начиная примерно с 1965 г. в ряде организаций СССР начались систематические исследования воздействия миллиметровых волн на биологические объекты.

Экспериментальные исследования, проведенные в миллиметровом диапазоне, при очень малых плотностях потока СВЧ-энергии (не более единиц милливатт на квадратный сантиметр), выявили очень интересные специфические эффекты воздействия облучения. Почти на всех исследуемых биологических объектах было установлено, что:

- а) эффект воздействия сильно зависит от частоты СВЧ-колебаний;
- б) в определенных пределах величины СВЧ-мощности эффект воздействия слабо зависит от изменения мощности на порядки величины;
- в) наблюдается значительная зависимость эффектов от времени облучения.

Полученные результаты представляют большой научный и практический интерес. Например, установлена зависимость жизнедеятельности микроорганизмов от облучения миллиметровыми волнами. Влияние в различных участках диапазона и при различных условиях облучения может быть либо положительным либо отрицательным.

Получаемые при облучении микроорганизмов эффекты в дальнейшем могут явиться основой новых методов получения вакцин, увеличения продуктивности методов получения антибиотиков. Не исключена возможность применения облучения миллиметровыми волнами ожоговых поражений и других ран с нагноением для ускорения процесса заживления.

На примере одной из работ, проведенной совместно с нами в ЛЭТИ имени Ульянова (Ленина) К. С. Рожновым и его сотрудниками, я хочу наглядно показать, какое сильное влияние на деление клеток оказывает облучение их электромагнитными волнами миллиметрового диапазона. На основе микроскопа сравнения МИС-51 была разработана установка для облучения микроорганизмов и непосредственного наблюдения за их поведением в процессе облучения и после его окончания.

Облучению подвергались различные дрожжевые культуры. Было обнаружено резонансное действие облучения миллиметровыми волнами на интенсивность деления клеток в процессе их облучения. Так, например, облучение в течение 15 час культуры *родоторула рубра* (*Rhodotorula rubra*) при длинах волн 7,16; 7,17; 7,18 и 7,19 мм (для каждой частоты было проведено по 10 экспериментов) показало резкую частотную зависимость (рис. 1; по оси ординат отложено отношение числа клеток в опыте к контрольному): при длине волны 7,18 мм происходит стимуляция процесса деления клеток, при других длинах волн деление клеток несколько подавляется.

Облучение культуры *Кониди* вызвало заметное изменение характера деления клеток по сравнению с контролем. На рис. 2—4 хорошо видна разница между контролем и опытом на разных этапах облучения.

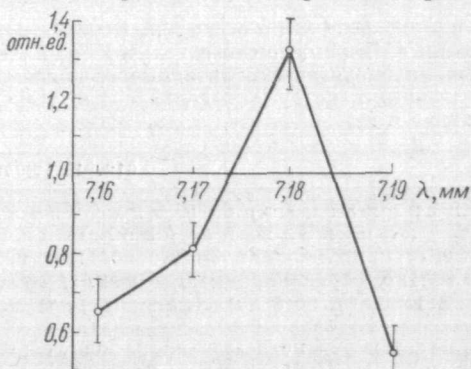


Рис. 1.

На рис. 5 представлено поведение облученной и необлученной (контроль) культуры после облучения примерно через 15 час (облучение производилось при температуре 20—21 °С. После облучения в течение 15 час культуры находились при температуре около 16—17 °С).

С научной точки зрения объяснение механизма резонансного действия облучения, как и других особенностей облучения, представляет огромный интерес. Пока еще мы не имеем строгих научных объяснений действия электромагнитного поля миллиметрового диапазона длин волн. Есть только некоторые попытки создать приближенные

гипотезы для объяснения резонансного воздействия, и они требуют еще дополнительных экспериментальных и теоретических подтверждений.

Было бы желательно, чтобы для научного обоснования наблюдаемых явлений были привлечены научные силы институтов Отделения биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений АН СССР.



Рис. 2.

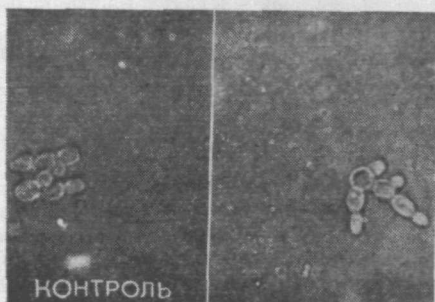


Рис. 3.

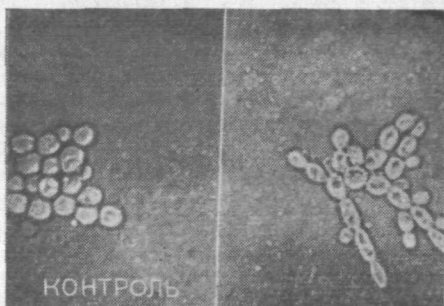


Рис. 4.

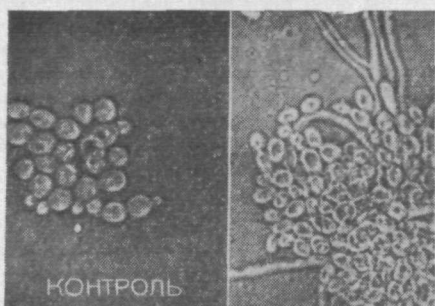


Рис. 5.

Кроме научных обоснований, необходимо более активно искать области практического использования воздействия облучения миллиметровыми волнами. В этом деле мы тоже надеемся на помощь соответствующих специалистов институтов Академии наук СССР.

612.014.12(048)

Э. Б. Базанова, А. К. Брюхова, Р. Л. Виленская, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант, Н. С. Ландау, В. М. Мельникова, Н. П. Микаэлян, Г. М. Охохонина, Л. А. Севастьянова, А. З. Смолянская, Н. А. Сычева (под общим руководством Н. Д. Девяткова). Некоторые вопросы методики и результаты экспериментального исследования воздействия СВЧ на микроорганизмы и животных.

1. Вопросы методики исследования и общие закономерности

Начав впервые работать в миллиметровом диапазоне длин волн, мы прежде всего уделили серьезное внимание вопросам методики эксперимента. Схема эксперимента приведена на рисунке. Детально исследовалось и фиксировалось влияние частоты колебаний, плотности потока мощности, времени воздействия окружающей температуры, идентичности биологических условий. Поляризация поддерживалась одинаковой во всех экспериментах. Все опыты проводились при непрерывном облучении.

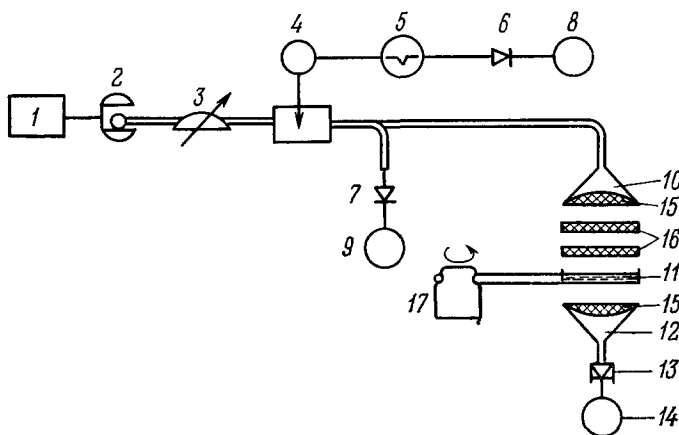


Схема эксперимента.

1 — блок питания, 2 — ЛОВ ОВ-612, 3 — аттенуатор, 4 — измерительная линия, 5 — волномер, 6, 7 — детекторные головки, 8 — стрелочный прибор, 9 — измеритель падающей мощности, 10, 12 — рупор, 11 — объект, 13 — термисторная головка, 14 — измеритель проходящей мощности, 15 — корректирующая линза, 16 — трансформатор, 17 — электромотор, вращающий и перемешивающий среду.

В ходе экспериментов выяснилось, что наблюдаемые эффекты не очень критичны к плотности падающего потока мощности. В частности, для самых разных микроорганизмов и тестов было установлено, что начиная с некоторой пороговой плотности потока мощности, составляющей около $0,01 \text{ мвт/см}^2$, эффекты слабо изменяются в пределах нескольких (двух и пяти) порядков величины, когда уже начинает наблюдаться заметный тепловой эффект. Отметим, что воздействие нагрева другими источниками не приводило к эффектам, наблюдаемым при воздействии СВЧ малого уровня мощности. Аналогичные результаты наблюдаются и на животных, только пороговые плотности потоков мощности здесь много больше.

Иной характер носит влияние времени облучения. Чем больше это время, тем больше наблюдаемый эффект, хотя после нескольких часов и намечается насыщение. Таким образом, часто используемое применительно к ионизирующим излучениям понятие суммарной дозы (суммарная энергия облучения) в данном случае не дает однозначного ответа на вопрос о величине воздействия: изменение мощности и времени действуют различно.

Зависимость эффекта воздействия от частоты носит острорезонансный характер: ширина полос, соответствующих определенному эффекту воздействия, в зависимости от объекта и теста изменяется от долей процента до единиц процентов, что определило требования к стабильности источников питания и измерителям частоты в установках.

Индикация эффекта проводилась по биологическому действию. Исследование спектров поглощения или испускания обычно принятыми в радиотехнике и физике методами в данном случае ничего не давало. В изучавшихся биологических системах велики потери; к тому же при огромном числе степеней свободы полосы отдельных

резонансов могут перекрывать друг друга. Когда же рассматривается конкретный биологический тест, то на него влияет лишь очень ограниченное число из возможных резонансов в объекте, и если использовать его в качестве индикатора, можно получать очень чувствительный и к тому же единственно нужный при исследовании данного теста индикатор.

Разброс в результатах при разработанной методике был много меньше измеряемой величины.

2. Результаты воздействия облучения электромагнитными волнами миллиметрового диапазона на некоторые биологические объекты *

а) *Повышение образования протеаз с фибринолитическим действием, вырабатываемым грибом *Asp. niger* (штамм МГУ) под действием излучения.* Работа проводилась совместно с МГУ. Исходный штамм подвергался облучению на волне 6,6 мм. Плотность потока мощности — 0,1 мвт/см². Кратность облучения — 10 раз при разовой экспозиции 2 часа. В результате облучения происходит увеличение протеолитической активности аспергила в 1,5—2 раза. Эффект наследственно закреплен, что проверялось в течение 6 месяцев. Рост фибринолитической активности не сопровождается ростом биомассы.

б) *Воздействие облучения на стафилококк (штамм 209).* Работа проводилась совместно с ЦИТО в сотрудничестве с ЛИАИ и ЛХФИ. Облучение культуры было многократным — ежедневно по одному часу на волне 7,08 мм при плотности потока мощности 0,1 мвт/см². По ходу многократных облучений последовательно исчезала гемолитическая активность, способность коагулировать плазму, лецитиназная активность, пропадал золотистый пигмент. При переходе к экспериментам на животных (кроликах), которым наносились раны на спине размером 8 × 8 см, заражаемые стафилококком указанного штамма, установлено снижение высеваемости стафилококка после серии ежедневных облучений ран (по 20 минут в день). Время заживления ран по сравнению с контролем сократилось на 20%. При цитологическом исследовании отделяемого облученных ран отмечается обычный процесс регенерации. В периферической крови наблюдается умеренный лейкоцитоз нейтрофильного характера, моноцитоз

и лимфопения по сравнению с контролем, что свидетельствует о повышении защитной реакции организма.

Настоящая работа проводилась предприятием Министерства электронной промышленности совместно с ИЭКО, ЦИТО и биофаком МГУ.

612.014.42(048)

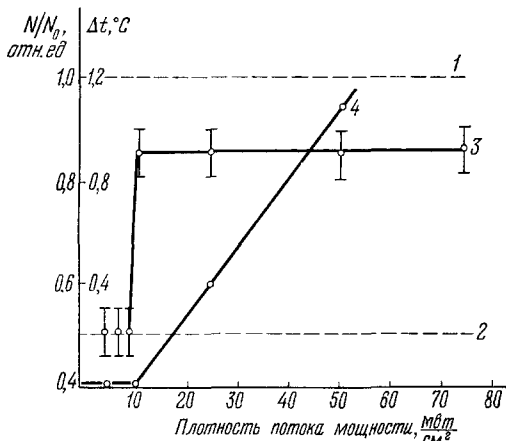


Рис. 1. Зависимость изменения количества клеток костного мозга (N/N_0) и температуры кожи облученного животного (Δt) от плотности потока мощности.

1 — количество клеток костного мозга — контроль
2 — воздействие рентгеновской радиации, 3 — комбинированное воздействие СВЧ и рентгеновского излучения, 4 — изменение температуры кожной поверхности.

рентгеновским излучением клеток костного мозга, если животное предварительно было экспонировано в поле СВЧ. Аналогичное явление было обнаружено при предвари-

Л. А. Севастьянова, Р. Л. Виленская. Исследование влияния радиоволн сверхвысокой частоты миллиметрового диапазона на костный мозг мышей. Ранее нами сообщались результаты исследований костного мозга животных, подвергшихся облучению электромагнитным излучением миллиметрового диапазона (СВЧ) и последующему облучению рентгеновскими лучами ^{1, 2}. Несмотря на то, что излучение СВЧ миллиметрового диапазона с длиной волны $\lambda = 7,1$ мм поглощается в поверхностном слое кожи животных на глубине примерно $3 \cdot 10^{-2}$ см, ³ было обнаружено уменьшение количества пораженных

* Биологические результаты воздействия, полученные в работах, проведенных совместно с ИЭКО, излагаются в отдельных сообщениях Л. А. Севастьяновой и Р. Л. Виленской, А. З. Смолянской и Р. Л. Виленской.

тельном облучении животных полем СВЧ перед введением в их организм токсичных противоопухолевых химиотерапевтических препаратов, также вызывающих разрушение клеток костного мозга, таких как хризомалин и сарколизин ⁴.

В данном сообщении приводятся результаты измерений числа оставшихся непораженными рентгеновским излучением клеток костного мозга мышей, предварительно облученных полем СВЧ, причем варьировалась длительность воздействия поля СВЧ, плотность мощности этого поля, а также длина волны.

Представлялось интересным исследовать зависимость защитного действия поля СВЧ при разных плотностях мощности. Измерения нормированного к контролю количества оставшихся непораженных клеток костного мозга (N/N_0) в зависимости от плотности потока мощности (P) проводились в диапазоне от 1 до 75 $вт/см^2$. Время облучения при этом было фиксированным и составляло 1 час. Доза рентгеновского излучения была равна 700 $рад$. Результаты этих измерений, а также повышение температуры кожи животного приводятся на рис. 1. Как видно из рисунка, до значения плотности потока мощности $P = 9 \text{ вт/см}^2$ никакого влияния на N/N_0 предварительное облучение животных полем СВЧ не оказывает. Таким образом, имеется некоторое пороговое значение плотности потока мощности, ниже которого поле СВЧ не оказывает воздействия. Затем при увеличении P число неразрушенных клеток возрастает практически скачком до величины 0,85. Дальнейший рост P не сопровождается увеличением N/N_0 . На этом же графике показан рост температуры кожи облучаемого животного в зависимости от P . До $P = 10 \text{ вт/см}^2$ температура не изменяется. Далее наблюдается ее медленный рост, причем угловой коэффициент наклона прямой. ΔT ($^{\circ}C$) составляет $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ град/вт} \cdot \text{см}^{-2}$. Как видно из сопоставления кривых 3 и 4 на рис. 1, величина биологического эффекта не коррелирует с изменением температуры кожного покрова животного.

Таким образом, оптимальное значение плотности потока мощности, при котором возможно наблюдать защитное действие СВЧ на костный мозг, но не вызывающее нагрева кожи, лежит вблизи 10 $вт/см^2$. Именно этим обстоятельством определяется выбор плотности мощности, равной 10 $вт/см^2$.

При варьировании времени облучения⁵ животных СВЧ радиацией оказалось, что до интервала времени $t = 30 \text{ мин}$ действие СВЧ вообще не проявляется (рис. 2). При возрастании времени облучения до 60 мин. наблюдается увеличение защитного эффекта, и N/N_0 достигает 0,8. Дальнейший рост экспозиции не сопровождается сколько-нибудь заметным увеличением числа оставшихся неразрушенных рентгеновскими лучами клеток. Таким образом, оптимальное время облучения было найдено равным 60 мин.

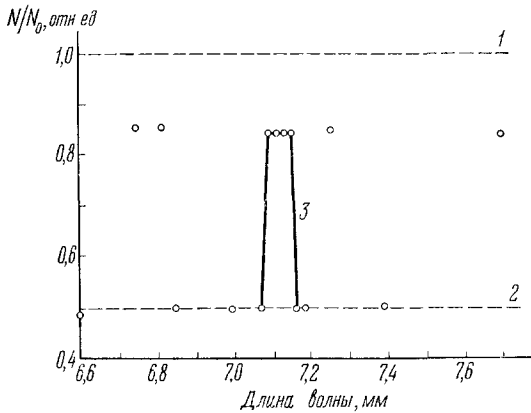


Рис. 3. Изменение количества клеток костного мозга в зависимости от длины волны. 1 — контроль (необлученные животные), 2 — рентгеновское облучение, 3 — поле СВЧ и рентгеновское излучение.

Наибольший интерес представляло исследовать зависимость N/N_0 от длины волны СВЧ излучения в экспериментах по комбинированному воздействию СВЧ + рентгеновское облучение. Длина волны СВЧ изменялась от 6,6 до 7,7 $мм$. Результаты этих измерений приводятся на рис. 3. Оказалось, что защитное действие

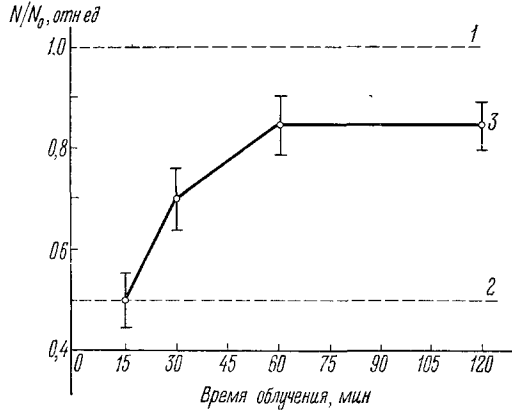


Рис. 2. Изменение количества клеток костного мозга в зависимости от времени облучения СВЧ. 1 — контроль (необлученные животные), 2 — рентгеновское облучение, 3 — поле СВЧ и рентгеновское излучение.

Результаты этих измерений приводятся на рис. 3. Оказалось, что защитное действие

предварительного облучения животных полем СВЧ имеет ярко выраженный избирательный характер. Так, число оставшихся клеток возрастает с 0,5 до 0,85 на длинах волн 6,7 и 6,82 мм; в диапазоне 7,09—7,16 мм, на длинах волн 7,26 и 7,7 мм, в то время как на других исследовавшихся длинах волн (6,6; 6,85; 7,0; 7,07; 7,17; 7,19; 7,4 мм) при той же плотности мощности поля СВЧ защитный эффект отсутствовал полностью. Такой характер зависимости $N/N_0(\lambda)$ наводит на мысль о резонансном механизме воздействия поля СВЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Севастьянова, С. Л. Потапов, В. Г. Адаменко, Р. Л. Виленская, Биол. науки, № 6, 46 (1969).
2. Л. А. Севастьянова, С. Л. Потапов, В. Г. Адаменко, Р. Л. Виленская, Изменение гемопоэза под влиянием сверхвысокочастотного и рентгеновского излучения. Морфологические и гематологические аспекты биологического действия ионизирующей радиации и цитостатических препаратов, V конференция ЦНИЛ, Томск, 1970.
3. Р. Л. Виленская, Л. А. Севастьянова, А. С. Фалеев, Исследование поглощения миллиметровых волн в коже экспериментальных животных, Электронная техника, сер. 1 (Электроника СВЧ), вып. 7, 97 (1971).
4. Л. А. Севастьянова, М. Б. Голант, В. Г. Адаменко, Р. Л. Виленская. Биол. науки, № 6, 58 (1971).
5. Р. Л. Виленская, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант, А. З. Смолянская. *ibid.*, № 7, 69 (1972).

612.014.42(048)

А. З. Смолянская, Р. Л. Виленская. Действие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на функциональную активность некоторых генетических элементов бактериальных клеток. Исследовано действие миллиметровых волн на внутриклеточные системы, обуславливающие летальный синтез у бактерий, т. е. синтез веществ, приводящий клетку к гибели. В качестве тест-объекта был выбран колициногенный фактор кишечной палочки. Кол-фактор представляет собой внехромосомный генетический элемент. Функциональная активность этого элемента обычно репрессирована. Депрессия кол-фактора приводит к синтезу особого белкового вещества, названного колицином; клетка при этом погибает. Выработанный ею колицин обладает антибактериальным действием по отношению к другим бактериям того же или близких видов.

Влияние миллиметровых волн на синтез колицина нами изучалось на колициногенном штамме *E. coli* С600 (E_1) и чувствительном к его колицину штамме *E. coli* К12S. Активность синтеза колицина определяли методом лакун¹, при котором производится подсчет числа отдельных синтезирующих колицин бактерий. Эффект оценивали с помощью так называемого коэффициента индукции, который определяется отношением частоты лакунообразования в опыте к частоте лакунообразования в контроле:

$$K_i = \frac{L_0 K_k}{K_0 L_k},$$

где L_0 — количество клеток, образующих колицин в опыте, K_0 — общее количество колициногенных клеток в опыте, L_k — количество клеток, образующих колицин в контроле, K_k — общее количество колициногенных клеток в контроле.

Оказалось, что количество синтезирующих колицин клеток резко увеличивалось при облучении колициногенного штамма миллиметровыми волнами определенной длины. Так, при облучении волнами 5,8; 6,5 и 7,1 мм количество синтезировавших колицин клеток возросло в среднем на 300%. Между тем близкие к этим длины волн — 6,15 и 6,57 мм — не оказывали такого действия. Полученные результаты повторялись с большой регулярностью.

Таким образом, было отмечено, что миллиметровые волны определенной длины способны индуцировать синтез колицина колициногенными бактериями. Это свидетельствует о способности этих колебаний влиять на регуляцию функциональной активности определенных (в данном случае внехромосомных) генетических элементов бактериальных клеток.

Более детально характер зависимости величины коэффициента индукции синтеза колицина у бактерий от длины волны был исследован нами в промежутке 6,50—6,59 мм, так как именно в этом узком диапазоне была выявлена «активная» волна — 6,50 мм и «неактивная» волна — 6,57 мм.

При исследовании 11 точек с помощью специально приспособленного волномера, позволявшего производить измерение длин волн с разрешающей способностью 0,01%,

была получена кривая на рис. 1. Из рисунка следует, что зависимость синтеза колицина от длины волны имеет резонансный характер. Необходимо также отметить высокую чувствительность биологической системы к изменению длины волны. При статистической обработке результатов повторных экспериментов (от 15 до 25 в каждой точке) была показана достоверность различий сравниваемых показателей в контрольной и опытной системах ($P \leq 0,001$). Эффект находился в прямой зависимости от времени облучения. Облучение в течение 30 мин при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ не оказывало никакого влияния на синтез колицина, после облучения в течение одного часа количество синтезированных колицинов клеток возросло в 1,5–2 раза, а после двух часов — было максимальным (рис. 2). При 37°C индукция синтеза колицина имела место даже при облучении в течение 30 мин. Это, по-видимому, следует связать с более высокой функциональной активностью всех систем клетки в этих условиях.

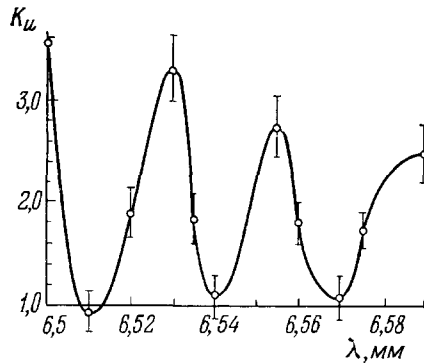


Рис. 1. Зависимость коэффициента индукции синтеза колицина K_i от длины волны.

Далее мы изучали влияние плотности потока мощности излучения на индукцию синтеза колицина. Изменение величины плотности потока мощности в 100 раз от 0,01 до 1,00 мвт/см^2 не влияло на коэффициент индукции и лишь дальнейшее уменьшение мощности до 0,01 мвт/см^2 привело к резкому снижению биологического эффекта (рисунок 3).

Таким образом, изменения времени облучения, потока мощности и температуры по-разному влияют на величину биологического эффекта. Если влияние времени

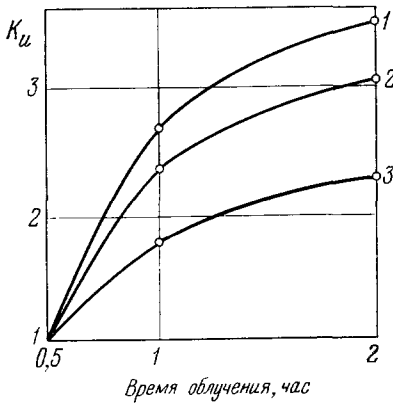


Рис. 2. Зависимость коэффициента индукции синтеза колицина от времени облучения.

λ (мм) = 6,5 (1), 5,8 (2) и 7,1 (3).

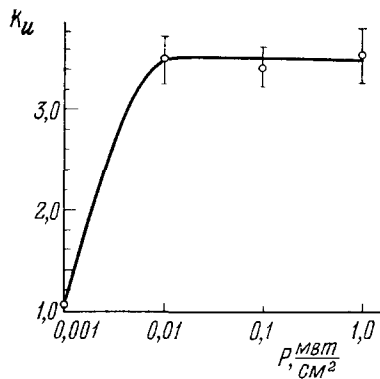


Рис. 3. Зависимость коэффициента индукции синтеза колицина от плотности потока мощности.

облучения весьма значительно, то изменение мощности излучения в широких пределах не меняет практически величины эффекта. Отсутствие зависимости эффекта от мощности является еще одним веским доводом в пользу нетеплового воздействия миллиметровых волн, так как любые тепловые эффекты зависят в первую очередь от интенсивности потока. Прямое измерение температуры с помощью термометра показало, что температуры бактериальной суспензии во время облучения в опытной и контрольной системах практически совпадают.

До настоящего времени способность различных агентов (как физических, так и химических) индуцировать летальный для бактериальной клетки синтез колицина связывали в основном со способностью этих агентов дезинтегрировать ДНК или блокировать ее синтез. Такими свойствами обладают классические индукторы синтеза колицина и других аналогичных генетических систем (например, умеренного фага): УФ облучение или митомицин C^2 . Оба агента, как известно, разрывают химические

связи в молекуле ДНК, при этом образуются димеры пиримидиновых оснований. С этой точки зрения миллиметровое излучение можно рассматривать как принципиально новый агент, который, не вызывая непосредственных повреждений в молекуле ДНК, приводит к нарушению механизма регуляции функции генетических элементов в клетке, в частности, экстрахромосомных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Ozeki, В. А. D. Stocker, Н. Margeri, Nature 184, 337 (1959).
2. В. Г. Лиходед, Микробиология, вып. 7, 116 (1963); P. A m a t i, J. Mol. Biol. 8, 239 (1964); W. de W i t t, D. H e l i n s k y, ibid. 13, 692 (1965); P. F r e d e r i c q, J. Theor. Biol. 4, 159 (1963).

612.014.42(048)

В. Ф. Кондратьева, Е. Н. Чистякова, И. Ф. Шмакова, Н. Б. Иванова, А. А. Трескунов. Влияние радиоволн миллиметрового диапазона на некоторые свойства бактерий. Начиная с 1965 г. на протяжении ряда лет нами исследовалось влияние радиоволн миллиметрового диапазона на некоторые свойства бактерий. В качестве объектов были взяты три штамма *Cl. sporogenes* (спорогенес), два штамма *Cl. histolyticum* (гистолитикум) — споровые бактерии-анаэробы с резко выраженными протеолитическими свойствами, и три штамма *Bact. prodigiosum* (продигиозум) — аэроб, в значительной степени отличающийся по ряду свойств от первых двух.

Каждый штамм облучался 20 раз волной 7,20 мм в течение трех часов. После облучения исследовали морфологию, спорообразование (у анаэробов), характер роста на средах, сахаролитические, протеолитические, антигенные свойства, а у гистолитикума также и патогенность.

Облученные бактерии спорогенес и гистолитикум после облучения стали мельче в два раза, чем контрольные, и редко располагались парами и цепочками. Отмечено закономерное значительное снижение способности спорообразования у обоих анаэробов. Особенно это выражено у спорогенес: необлученные культуры при росте на среде Китт — Тароцци через сутки на 100 клеток имели 50—54 клетки со спорой, в то же время у облученных на 100 было только 5—20 спорных. Две культуры совсем потеряли способность образовывать споры. Она не восстановилась после года хранения культур и при 20-кратных пересевах.

Рост на плотных питательных средах изменился. Среди колоний спорогенес встречались более круглые с малоизвилистым краем и более гладкой поверхностью колонии. Культуры продигиозум, начиная с 8—10 облучения, стали расти в виде бледно-розовых колоний, не краснеющих на свету. Взвеси, приготовленные из суточного роста облученных культур, были бесцветными или слегка розовыми, а из контрольных — интенсивно розовыми или ярко-красными.

Антигенные свойства бактерий изменились. Облученные культуры спорогенес и гистолитикум стали агглютинироваться в 2—4 раза меньших титрах, чем контрольные. В реакции преципитации, поставленной в агаровом геле, антигены из облученных культур давали положительный результат в меньших на 1—3 разведениях, чем контрольные. Интенсивность реакции была также слабее. При взаимодействии неразведенных и разведенных в отношении 1 : 2 сывороток и антигенов контрольные культуры образовывали три линии преципитации, а с такими же концентрациями антигенов облученных культур редко было по две линии, чаще только одна.

Сахаролитическая способность бактерий не изменилась, протеолитическая — снизилась. Облученные бактерии стали пептонизировать молоко на 2—6 дней позже, чем контрольные. Облученные культуры спорогенес медленнее разлагали кусочки мяса среды Китт — Тароцци. Обычно кусочки полностью исчезают через 20—30 дней, при росте облученных культур это происходило через 35—52 дня.

Снижение способности пептонизировать молоко, разлагать мясо указывает на изменение в белковом обмене.

С целью исследования вирулентности гистолитикум выращенными в течение четырех суток культурами заражали кроликов и белых мышей. Культуры вводили неразведенными и в разведениях, кратных двум, до 1 : 32 внутримышечно мышам — по 0,5 мл, кроликам — по 1 мл. В эксперимент было взято 8 облученных и 3 необлученные культуры. Наблюдение за животными проводилось 6 дней.

Животные, зараженные необлученными культурами, погибали в первые четверо суток от предельного разведения 1 : 8.

У кроликов, которым было введено разведение 1 : 16, наблюдались местные явления; они отмечены также у одного из животных при введении ему разведения 1 : 32.

Из восьми кроликов, зараженных облученными культурами, один погиб от разведения 1 : 8, остальные погибли при введении неразведенных или разведенных в два раза культур. У трех кроликов были местные явления от разведения 1 : 4, а у одного и от 1 : 8.

Исследовано влияние микрорадиоволн на выживаемость бактерий. Вначале было установлено, что наиболее губительное действие оказывает волна длиной 7,2 м. Для определения более узкого диапазона длины волны между 7,1 и 7,2 м были исследованы влияния волн длиной $\lambda = 7,1; 7,15; 7,16; 7,17; 7,18; 7,19$ и 7,20 м.

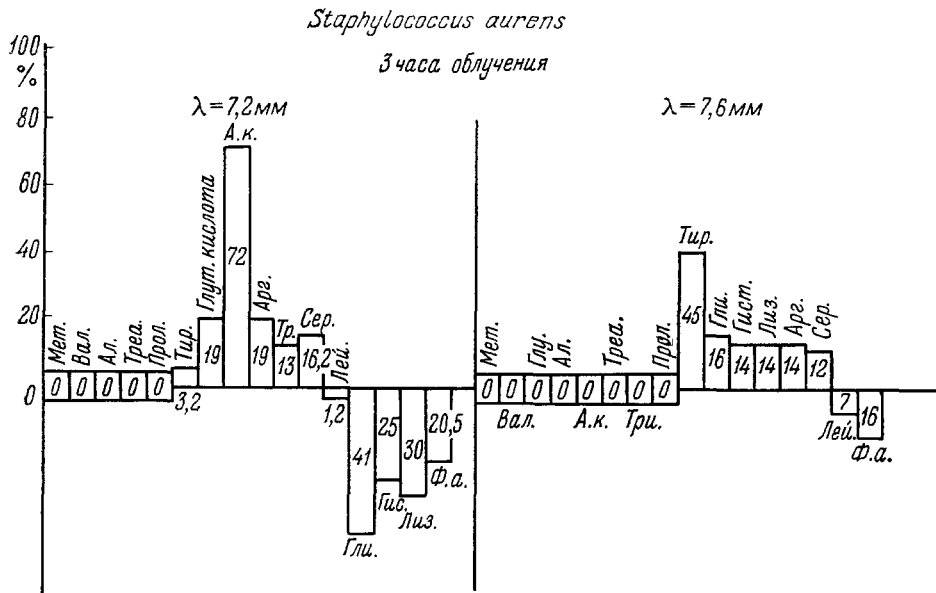
Во всех опытах количество микробов после воздействия волн было меньше, чем в контрольных; наибольшее влияние оказала длина волны 7,15 м.

Таким образом, миллиметровые волны обладают значительным губительным действием на бактерии. Показана зависимость выживаемости от длины волны. Изменяются под их воздействием спорообразование, антигенные, протеолитические свойства и вирулентность.

612.014.42(048)

С. Е. Манойлов, Е. Н. Чистякова, В. Ф. Кондратьева, М. А. Стрелкова. Влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона на некоторые стороны белкового метаболизма бактерий. В ранее сделанных работах было показано, что этот тип радиации весьма существенным образом влияет на функции как биологически активных веществ — гемоглобина, цитохромов и т. д.^{1,2}, так и на микроорганизмы³. В данной работе представлен материал по изучению воздействия радиоволн миллиметрового диапазона на некоторые стороны белкового обмена анаэробных и аэробных бактерий и на грибы, имеющие качественные различия в белковом метаболизме.

Объектами исследований были следующие виды: *Cl. sporogenes*, *Cl. histolyticum* (анаэробы), *B. prodigiosum*, *Staphylococcus aureus* (аэробы), *Act. norsei*, *Pen. nigricans* (грибы). Облучение микробов проводилось на волнах 7,2 и 7,6 м источником типа ЛОВ при средней плотности потока мощности в падающем на объект излучении 4—5 мет/см². Облученные и необлученные микробы в одинаковом количестве вводили в питательную среду, и после суточного роста в этой среде определяли содержание свободных аминокислот по методу Боде.



Все данные рассчитывались в процентах по отношению к содержанию аминокислот в питательной среде после роста на ней необлученных микробов. Содержание аминокислот для всех исследуемых бактерий в питательной среде можно разделить на три группы: первая группа — разницы между количеством аминокислот в питательной среде при росте облученных и необлученных бактерий нет; вторая группа — количество аминокислот в питательной среде при росте облученных микробов больше, чем при росте необлученных; третья группа — количество аминокислот в питательной среде при росте облученных микробов меньше, чем у необлученных.

Было поставлено несколько серий опытов. В одной серии изучалось действие различных длин волн (7,2 и 7,6 м) на аэробный микроб — стафилококк. Во второй серии исследовался обмен веществ отдельных аминокислот у различных микробов при облучении на одной длине волны (7,2 м). Полученные данные обрабатывались статистически. В качестве примера представляем данные (см. рисунок) действия

различных длин волн на стафилококк. Как видно из рисунка, при облучении волнами длиной 7,2 мкм к первой группе относятся аминокислоты: метионин, валин, аланин, треонин и пролин (пять аминокислот); при облучении 7,6 мкм к первой группе относятся: метионин, валин, аланин, пролин, триптофан, глутаминовая и аскорбиновая кислоты (7 аминокислот). Ко второй группе при облучении 7,2 мкм относятся: глутаминовая кислота — 19%, аспарагиновая кислота — 72%, аргинин — 19%, триптофан — 13%, серин — 16%, тирозин — 3,2%. При облучении 7,6 мкм — аргинин — 14%, серин — 12%, тирозин — 45%, глицин — 16%, гистидин — 14%, лизин — 14%, треонин — 50%. К третьей группе — при облучении 7,2 мкм относятся: лейцин — 1,2%, глицин — 41%, лизин — 30%, фенилаланин — 20,5%, гистидин — 25%. При облучении 7,6 мкм — лейцин — 7%, фенилаланин — 15%. Следовательно, имеются качественные и количественные различия в действии разных длин волн — 7,2 и 7,6 мкм.

При анализе фактического материала обращают на себя внимание две группы аминокислот: аминокислоты, обладающие кислыми свойствами — глутаминовая и аспарагиновая кислоты, и обладающие щелочными свойствами — гистидин, лизин и аргинин. Если при облучении 7,2 мкм количество «кислых» аминокислот в питательной среде после роста облученных микробов увеличивается, то при облучении волнами 7,6 мкм разницы в содержании их в питательной среде не обнаружено.

Что касается «щелочных» аминокислот, то при росте облученных бактерий волнами длиной 7,2 мкм их меньше (3-я группа), а при росте облученных бактерий волнами длиной 7,6 мкм их больше. При облучении аэробов, анаэробов и грибов волнами длиной 7,2 мкм наблюдается также изменение в содержании «кислот» и «щелочных» аминокислот. Обмен других аминокислот качественно и количественно подвергается существенным изменениям. Как же можно объяснить полученные факты? Мы считаем, что электромагнитное излучение миллиметрового диапазона оказывает определенное влияние на белковый обмен бактерий. Это проявляется либо в виде активации или инактивации протеолитических ферментов либо в изменении активности ферментов, участвующих в обмене отдельных аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Манойлов и др., Сб. Трудов ЛХФИ № 20 1, 78 (1967).
2. Н. Д. Девятков, Электронная техника СВЧ, ч. 4, М., «Сов. радио», 1970, стр. 190.
3. В. Ф. Кондратьева, Е. Н. Чистякова, сборник ¹, стр. 1 и 83.

612.014.42(048)

Н. П. Залюбовская. Реакции живых организмов на воздействие электромагнитных волн миллиметрового диапазона. Исследования влияния электромагнитных волн миллиметрового диапазона на целостные организмы, изолированные клетки и клеточные структуры проводятся нами с 1966 г. С целью выявления биологического действия миллиметрового излучения изучалась реакция организмов, находящихся на различных этапах эволюционного развития (вирусы, микробы, насекомые, птицы, млекопитающие).

В результате воздействия миллиметровых волн на микроорганизмы (стафилококк, стрептококк, кишечная палочка, брюшнотифозная палочка) отмечалось снижение выживаемости на 60 и более процентов, изменение морфологических, культуральных и биохимических свойств, повышение чувствительности к антибиотикам, изменение их антигенных свойств. У облученных вирусов снижалась инфекционная активность.

Биологический эффект миллиметровых волн зависел от длины волны и времени воздействия. Наиболее выражено бактерицидное действие миллиметровых волн на длине волны 6,5 мкм. Проведенные исследования позволили заключить, что электромагнитные волны миллиметрового диапазона оказывают влияние на жизнеспособность микроорганизмов.

В экспериментах с облучением насекомых (дрозофила) изучалось влияние миллиметровых волн на выживаемость облученных особей, их способность к воспроизведению, а также исследовалось влияние такого облучения на потомство, полученное в первом и втором поколениях.

После облучения (15—60 мин.) взрослые мужские и женские особи дрозophilы не погибали, внешне не было отмечено никаких изменений, а после скрещивания такие насекомые, как правило, давали нормальное потомство. Однако число потомков у облученных родителей уменьшилось, плодовитость насекомых зависела от длины волны, на которой проводилось облучение (рис. 1) и времени воздействия (рис. 2).

Длительное воздействие миллиметровыми волнами (3, 4, 5 часов) приводило к значительным изменениям в первом и втором поколениях дрозophilы. Мужские особи во втором поколении, полученные от облученных родителей, характеризовались пони-

женной жизнеспособностью, многие гибли на 3—6 сутки после скрещивания. Женские особи в большинстве случаев не откладывали яиц.

В первом поколении мутанты появлялись редко, наибольшее число мутантов отмечали во втором поколении после длительного воздействия излучения с длиной волны 6,5 м.м.

Таким образом, в экспериментах, проведенных на насекомых, подвергнутых воздействию миллиметровых волн, были отмечены генетические изменения, которые проявлялись в снижении плодовитости и жизнеспособности потомства. Обнаруженные изменения, по-видимому, возникали в зародышевых клетках, так как наследовались в потомстве. Определенную чувствительность к миллиметровым волнам, очевидно, проявляли отдельные гены, на что указывали неоднократно возникавшие мутации в поколениях облученных дрозофил.

С целью изучения влияния микроволн миллиметрового диапазона на формирование, рост и развитие живых организмов, стоящих на более высокой ступени эволюционного развития, облучению подвергали куриные эмбрионы и затем прослеживали эмбриональное и постэмбриональное состояние.

Куриные эмбрионы, начиная с 7-дневного возраста, 5-кратно, в течение 30 мин. облучали миллиметровыми волнами. Гибели эмбрионов после облучения не происходило, в период инкубации не отмечалось снижения веса эмбрионов по сравнению с контролем, но происходило удлинение инкубационного периода на 2—3 дня.

У цыплят, развившихся из облученных эмбрионов, отмечали некоторую задержку в развитии, особенно после облучения с длиной волны 6,5 м.м. Такие цыплята долго не становились на ноги, позже начинали клевать корм, у всех облученных цыплят плохо отрастали перья.

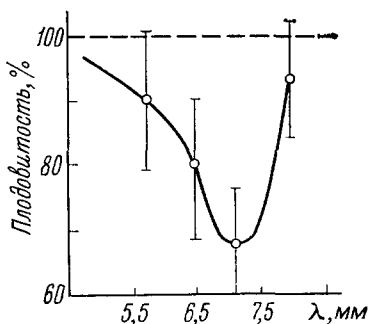


Рис. 1. Влияние различных длин миллиметровых волн на плодовитость дрозофилы во втором поколении.

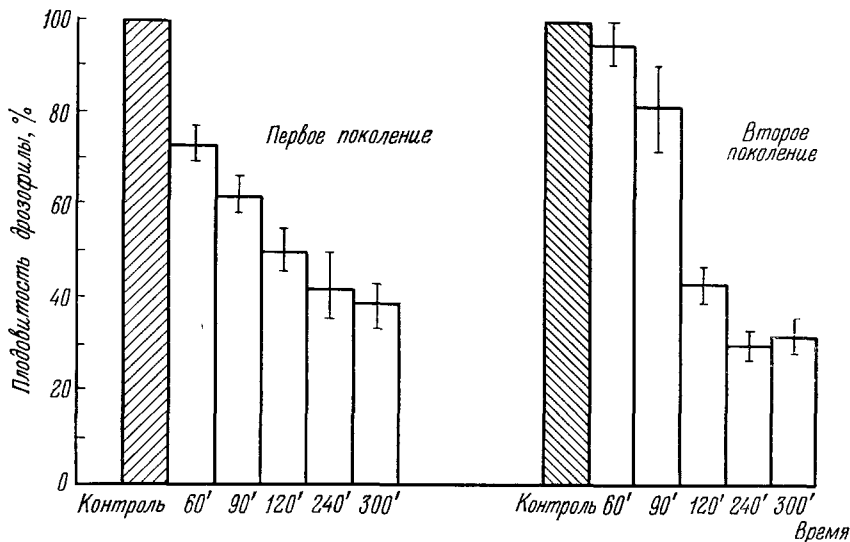


Рис. 2. Изменение плодовитости дрозофилы первого и второго поколений после облучения с длиной волны 6,5 м.м при разном времени воздействия.

Наблюдения за цыплятами, развившимися из облученных эмбрионов, проводили на протяжении 50 дней. До 7-го дня вес цыплят мало отличался от контрольных, начиная с 10—12 дня наблюдали снижение веса. Такое снижение веса происходило вплоть до последнего, 50-го дня (рис. 3).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о выраженном действии миллиметровых волн на процессы жизнедеятельности цыплят, развившихся из облученных эмбрионов. При этом степень влияния на постэмбриональное развитие зависела от длины волны.

В формировании ответных реакций на действие миллиметровых волн в многоклеточном организме принимают участие процессы, протекающие на всех уровнях организации данного организма.

В экспериментах на млекопитающих представляли интерес ответные реакции, связанные с функциональными изменениями организма, обусловленные нарушением в той или иной комплексной функциональной системе. Проведенные исследования показали, что облучение экспериментальных животных (белых крыс и мышей) в течение 40—50 дней по 10—15 мин. не приводило к летальному исходу. Однако у таких животных отмечали вялость, взъерошенность шерсти, отказ от пищи и питья в течение некоторого времени. На облученных участках кожи (при локальном облучении) бритый волосяной покров не отрастал на протяжении облучения. Биопсия облученных участков кожи показала атрофию мальпигиева слоя, склероз дермы, явления ожирения с проникновением жировых вакуолей в дерму, т. е. после облучения отмечали нарушения в наружных слоях кожи и прилегающем мышечном слое.

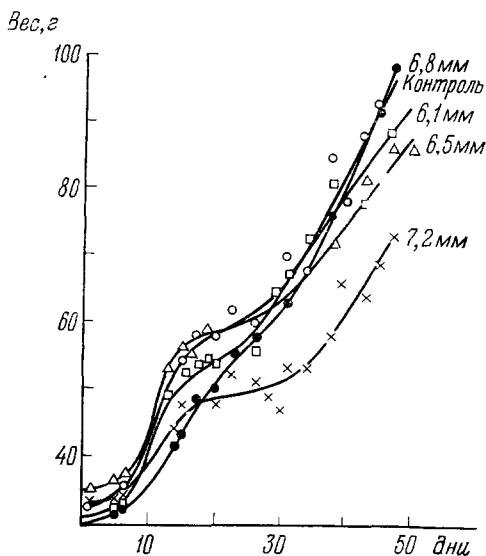


Рис. 3. Динамика веса цыплят, развившихся из эмбрионов, облученных миллиметровыми волнами.

О степени чувствительности гуморальной системы организма к миллиметровому облучению судили по показателям крови. После облучения возрастала скорость свертывания крови (в контроле — $68,2 \pm 1,5$ сек, облученные на длине волны $6,5$ мм — $35,0 \pm 1,3$ сек; $p < 0,01$), снижалось содержание гемоглобина до $11,0$ % по сравнению с $16,0$ % у необлученных животных. Концентрация белка в сыворотке крови облученных животных снижалась на 30 и более процентов по сравнению с интактными.

В кроветворных органах (печени и селезенке) облученных животных отмечали снижение общих нуклеиновых кислот и белка. Так, если в контроле содержание общих нуклеиновых кислот составляло: $312 \pm 8,24$ мкг, РНК — $94,8 \pm 3,3$ мкг, ДНК — $217,3 \pm 7,2$ мкг, белка — $51,76 \pm 1,1$ мкг, то после облучения с длиной волны $6,5$ мм концентрация снижалась соответственно у общих нуклеиновых кислот на $250,0 \pm 6,4$ мкг, РНК — $109,0 \pm 6,0$ мкг, ДНК — $140,0 \pm 7,6$ мкг и белка — $38,0 \pm 2,2$ мкг; $p < 0,05$. У облученных животных снижалась резистентность организма к инфекциям. У таких животных уровень антител (агглютининов) и лизоцима в крови был вдвое ниже, чем у интактных. Облучение иммунизированных животных не отражалось на состоянии специфической резистентности; такие животные оставались устойчивыми к инфекциям.

Следовательно, проведенные исследования показали, что к электромагнитным волнам миллиметрового диапазона оказались чувствительными простейшие и высокоорганизованные животные. Это указывает на то, что действие волн миллиметрового диапазона является общебиологическими и не ограничено филогенетическим различием организмов. Действие миллиметровых волн на живой организм проявлялось в изменении функций и систем, но в реакции различных организмов были отмечены некоторые особенности. Биологическое действие миллиметровых волн зависело от длины волны и времени воздействия. В диапазоне $5-8$ мм большей биологической эффективностью характеризовались микроволны с длиной волны $6,5$ мм.

Эффект биологического действия миллиметровых волн проявлялся в изменении многих процессов жизнедеятельности. Сам факт многообразия биологического действия миллиметровых волн делает изучение их влияния одной из проблем, решение которой может облегчить понимание других общебиологических процессов, связанных с проявлением конечных эффектов облучения.

612.014.42(048)

Р. И. Киселев, Н. П. Залубовская. Воздействия электромагнитных волн миллиметрового диапазона на клетку и некоторые структурные элементы клетки. Для использования электромагнитных волн миллиметрового диапазона в биологии и медицине существенное

значение приобретают исследования механизма действия этого вида излучения на биологические объекты. В последние годы нами проводятся исследования по изучению влияния миллиметрового диапазона на изолированные клетки человека и животных. Такие клетки явились удобной моделью, позволяющей экспериментатору получать в виде монослоя отдельные клетки, легко доступные воздействию на них микроволнами и последующему изучению эффекта действия. Кроме того, облучению микроволнами подвергались структурные элементы клеток, вирусов и микробов. В качестве основных критериев оценки действия миллиметровых волн служили морфологические и биохимические показатели, выживаемость, а также изменение антигенных, культуральных и инфекционных свойств облучаемых объектов.

Проведенные исследования показали, что облучение электромагнитными волнами миллиметрового диапазона изолированных клеток приводило к нарушению клеточной оболочки, дегенерации протоплазмы, увеличению размеров клеток (контроль — $5904 \pm 183 \text{ мкм}^3$, облучение на $6,5 \text{ мм}$ — $6985 \pm 185 \text{ мкм}^3$; $p < 0,01$) и ядер (контроль — $492 \pm 62 \text{ мкм}^3$, облученные $6,5 \text{ мм}$ — $590 \pm 43 \text{ мкм}^3$; $p < 0,01$).

В облученных на длине волны $6,50 \text{ мм}$ клетках повышалось содержание общих нуклеиновых кислот и белка. Если в контроле РНК — $74,9 \pm 5,1 \text{ мкг}$, ДНК — $96,8 \pm 9,4 \text{ мкг}$, белок — $109,8 \pm 6,7 \text{ мг}$, то после облучения РНК — $97,3 \pm 3,6 \text{ мкг}$, ДНК — $137,7 \pm 6,2 \text{ мкг}$, белок — $130 \pm 8,6 \text{ мг}$; $p < 0,01$. Возможно, миллиметровые волны, воздействуя на клеточный метаболизм, оказывают влияние на синтетические процессы.

После облучения клеток на различных длинах волн отмечали снижение числа жизнеспособных клеток. В диапазоне $5,90\text{--}7,50 \text{ мм}$ более выраженной биологической активностью характеризовалась длина волны $6,50 \text{ мм}$ (рис. 1 и 2).

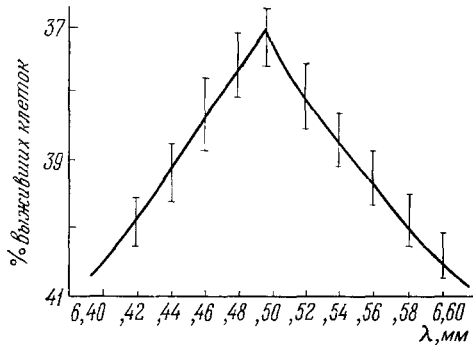


Рис. 2. Влияние облучения микроволнами миллиметрового диапазона на выживаемость культуры ткани.

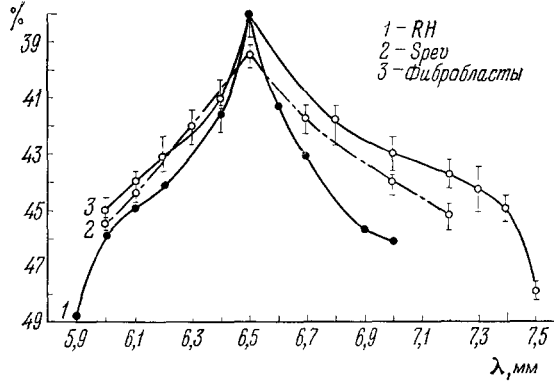


Рис. 1. Характер воздействия микроволн миллиметрового диапазона на различные виды культур ткани.

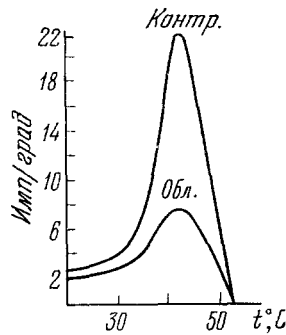


Рис. 3. Скорость нарастания интенсивности хемилюминесценции клеточных ядер после облучения миллиметровыми волнами.

После облучения клеток красной крови (эритроцитов) на длине волны $6,50 \text{ мм}$ отмечали достоверные изменения гемолитической стойкости, что свидетельствует об их чувствительности к такому излучению и указывает на функциональные и структурные сдвиги, наступающие под влиянием облучения.

После облучения в ядрах и митохондриях, выделенных из клеток печени, происходили изменения в концентрации нуклеиновых кислот и белка. Значительно снижалась интенсивность сверхслабого свечения облученных органовидов по сравнению с контролем, происходило резкое снижение скорости нарастания интенсивности хемилюминесценции при нагревании (рис. 3).

Облучение миллиметровыми волнами различных вирусов (аденовирусы, вирус кори, вирус ветряночного стоматита и др.) приводило к количественному уменьшению вирусных частиц (при облучении полного вируса) в 2—3 раза. Снижение инфекционной активности облученных аденовирусов и вируса кори проявлялось в более позднем цитопатогенном эффекте на культуре ткани.

После облучения препаратов вирусной ДНК (выделенной из аденовирусов) отмечали снижение инфекционной активности по сравнению с необлученными. Если в культурах ткани, обработанных необлученной ДНК цитопатогенный эффект отмечался на 10-й день и морфологически был сходным с проявлением аденовирусной инфекции клетки, то в культурах ткани, обработанных ДНК, облученной на длине волны 6,50 мм, инфекционная активность проявлялась между 15—16 сутками и морфологически соответствовала проявлению полного вируса. По-видимому, в данном случае облучение вирусной ДНК микроволнами миллиметрового диапазона приводило к частичной потере инфекционной активности, однако при этом не была потеряна трансформирующая активность, что и проявилось в более позднем появлении цитопатогенного эффекта.

О влиянии микроволнового облучения на клеточный геном судили по увеличению активности выхода латентного фага и колицина после облучения лизогенных и колициногенных штаммов микробов. После облучения колициногенных штаммов микробов на длине волны 6,50 мм титр колицина повышался до 320 условных единиц. Увеличение выхода фаговых частиц после облучения микроволнами миллиметрового диапазона по сравнению с контролем отмечали у лизогенных штаммов микробов. Так, если в контроле число фаговых частиц составляло $1471 \pm 152,0$, то после облучения на длине волны 5,9 мм — $2934 \pm 64,0$, на длине волны 6,1 мм — $4042 \pm 152,0$, на длине волны 6,50 мм — $5725 \pm 129,2$, 7,5 мм — $1296 \pm 60,4$, при $p < 0,01$.

Таким образом, проведенные исследования показали, что электромагнитные волны миллиметрового диапазона оказывают влияние как на клетки, так и на клеточные структуры.

Полученные данные могут послужить основанием для использования электромагнитных волн миллиметрового диапазона в экспериментах по направленной изменчивости вирусов и микробов.

612.014.42(048)

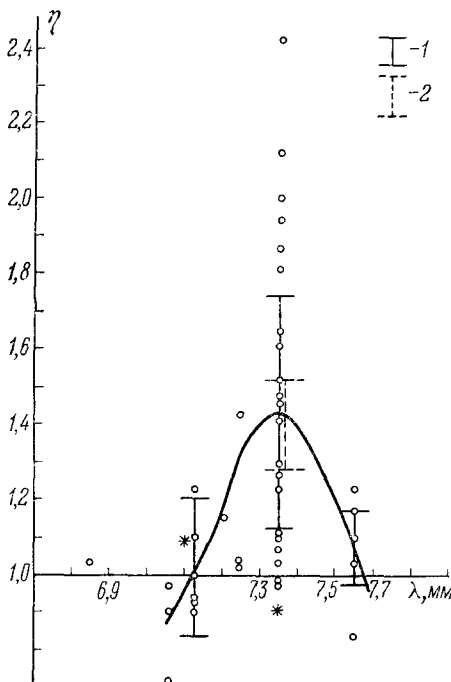


Рис. 1. Зависимость коэффициента η увеличения стойкости Нб к кислотному расщеплению от длины волны облучения (по данным 3).

$\eta = \frac{x_{\text{контр}}}{x_{\text{облуч}}}$, где глубина расщепления $X = 1 - \frac{C_{\text{гидр}}}{C_{\text{исх}}}$, C — концентрация белка в исходном состоянии ($C_{\text{исх}}$) и концентрация оставшегося нерасщепленным белка после гидролиза ($C_{\text{гидр}}$). Точки на графике обозначают разброс данных отдельных экспериментов, 1 — величина среднеквадратичного разброса, 2 — величина разброса после обработки опытных данных в рамках модели, учитывающей влияние СВЧ на кинетику перехода окси-мет; * — значения коэффициента η , полученные нами для лиофильно высушенных препаратов Нб.

водных растворов нативного Нб, полученного из эритроцитов крови человека. Облучение проводилось в окрестности длины волны 7,35 мм в течение 5 часов при интенсивности излучения порядка 1 мвт/см^2 и температуре 37—40 °С. После прекращения

В. И. Гайдук, Ю. И. Хургин, В. А. Кудряшова. Перспективы изучения механизмов нетеплового воздействия электромагнитного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на биологически активные соединения.

1. Нами проводилось облучение водных растворов гемоглобина (Нб) в миллиметровом диапазоне. Для этого белка известна ¹ полная молекулярная структура и, кроме того, ранее Комовым, Чистяковой, Манойловым был получен эффект необратимого нетеплового СВЧ-воздействия на высушенные препараты Нб (см. ²). Мы обнаружили ³ изменение химических свойств 5%-ных

облучения глубина кислотного гидролиза Hb (отщепление гема) уменьшается по сравнению с контролем (рис. 1), т. е. действие СВЧ-колебаний приводит к увеличению прочности связи между гемом и белком. Это можно истолковать как повышение устойчивости Hb к переходу (во время облучения) из активной *окси*-формы в неактивную *мет*-форму, так как скорость кислотного гидролиза *окси*-Hb существенно меньше, чем для *мет*-Hb⁴. Учет³ кинетики этого процесса позволяет улучшить достоверность данных опыта.

2. По гипотезе⁵ за происходящие изменения можно считать ответственной одну молекулярную группу в активном центре — существенный для функции Hb дистальный гистидин E7¹ (рис. 2). Он может совершать вращательные качания с частотами порядка нескольких см⁻¹. Под действием СВЧ-поля может измениться энергия качания гистидина и его среднее положение по отношению к атому железа. Молекула кислорода в Hb образует⁶ при некоторых условиях мостик между атомом железа и водородом гистидина E7, по которому происходит отрыв электрона от атома Fe и переход Hb в *мет*-форму. Возбуждение качаний гистидина E7 может затруднять образование такого мостика и тем самым препятствовать инактивации Hb. Однако действие СВЧ-излучения может происходить не только на сам гистидин E7, но и, в принципе, может передаваться на него из-за возбуждения колебаний макромолекулы как сплошного тела. Этот механизм опирается на гипотезу⁷ о белке-машине. Пока нельзя сделать выбор между обеими гипотезами или провести их синтез, и вообще еще не доказано, что именно изменения в расположении гистидина E7 отвечают за наблюдаемые эффекты. Кроме того, в условиях наших опытов $kT/h\nu \approx 150$, т. е. имеют место слабые воздействия на химическое поведение молекулярных систем (см., например,⁸); следует принять во внимание, что стенки «пюлости», внутри которой находится гистидин E7, могут флуктуировать. Частота и амплитуда этих флуктуаций (точнее, их спектральное распределение) определяются не только температурой, но и физико-механическими свойствами макромолекулы, которая своеобразным путем трансформирует энергию случайных ударов молекул водной среды о поверхность Hb. Можно надеяться, что с помощью СВЧ-облучения будут найдены те степени свободы, по которым преимущественно «передается» энергия, и будет установлена роль нелинейности^{9, 10} дивольей (из-за зависимости частоты их качаний от энергии), взаимодействующих с СВЧ-полем.

3. В принципе представляется интересным использовать СВЧ-излучение для резонансного управления биохимическими процессами, например, присоединением кислорода к Hb, для регулирования ферментативных реакций, а также для изучения свойств самих биополимеров, например, каталитической активности. Перспективно также использование физико-химических методов для индикации СВЧ-воздействия. Избирательность поглощения биополимеров в водных средах в СВЧ-диапазоне пока не выявлена. Наличие плавной дисперсии и влияние природы растворителя на поглощение указывают на преимущественно релаксационный характер взаимодействия СВЧ-излучения с веществом при уменьшении длины волны вплоть до $\lambda \approx 0,1$ мм. В субмиллиметровом диапазоне уже начинает сказываться инерционность молекул при их осцилляциях вокруг временных положений равновесия¹¹. Тем не менее уже сейчас изучение поглощения микроволн дает большую информацию. Например, в родственных соединениях

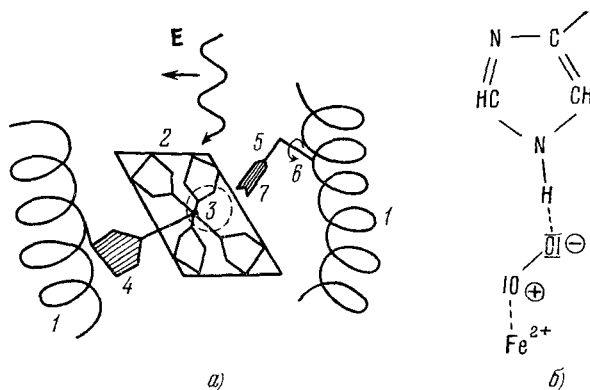
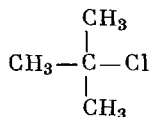


Рис. 2. Схематическое изображение строения активного центра одной из четырех цепей молекулы гемоглобина (а) и мостика O—O между железом гема и водородом дистального гистидина (б).

1 — спиральные участки белковой части макромолекулы 2 — гем; 3 — ион железа в центре гема; 4 — проксимальный гистидин F8, скрепляющий гем с белковой частью молекулы; 5 — дистальный гистидин E7, вращательные качания которого относительно «оси» 6 инициируются микроволновым излучением; 7 — условные границы области, где осуществляется взаимодействие дистального гистидина с железом гема.



(третбутилхлорид; $\mu \approx 2,14 D$) и $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—Cl}$ (*n*-бутилхлорид; $\mu \approx$

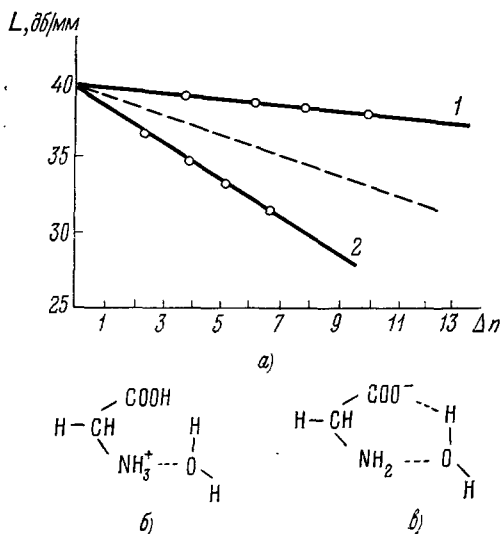


Рис. 3. Зависимость поглощения водного раствора глицина в кислой (1) и щелочной (2) средах в функции от содержания воды в растворе (а) и схематическая интерпретация представленных данных (б, в).

а) Штриховой линией показано уменьшение величины поглощения чистой воды при соответствующем уменьшении ее количества ($\Delta n = 55,5 - n_1$, где n_1 — содержание воды (моль/л) в растворе, Δn — убыль содержания воды в растворе за счет растворения аминокислоты); б) катионная форма (кислый раствор аминокислоты); молекула воды прочно не связана и обладает свободой перемещения относительно водородной связи; в) анионная форма (щелочной раствор аминокислоты); несколько молекул воды прочно связаны и потеряли свободу перемещения; на схеме для простоты изображена одна прочно связанная молекула воды.

способности органических соединений в жидкой фазе, как и некоторых специфических свойств макромолекул, определяемых их взаимодействием с водной средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Р е г у т з et al., *Nature* **219** (5150), 131 (1968).
2. Н. Д. Д е в я т к о в, *Электронная техника*, сер. 1 (Электроника СВЧ), № 4, 130 (1970).
3. В. А. К у д р я ш о в а, С. А. И л ь и н а, А. С. Ф а л е е в, В. И. Г а й д у к, В. В. Д е м е н т и е н к о, сборник «Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот», М., 1972; Препринт ИРЭ АН СССР № 115, Москва, 1972.
4. В. П. К о м о в, Автореферат канд. диссертации (Ленинград, 1966).
5. Л. Г. К о р е н е в а, В. И. Г а й д у к, *ДАН СССР* **193**, 465 (1970).
6. Структура и связь, М., «Мир», стр. 318.
7. Д. С. Ч е р н а в с к и й, Ю. И. Х у р г и н, С. Э. Ш н о л ь, *Мол. биол.* **1**, 419 (1967).
8. Л. А. Б л ю м е н ф е л ь д, В. И. Г о л ь д а н с к и й, М. И. П о д г о р е ц к и й, Д. С. Ч е р н а в с к и й, *Ж. структ. хим.* **8**, 854 (1967).
9. В. И. Г а й д у к, Р. Ф. М а т в е е в, А. Т. Ф и а л к о в с к и й, В. В. Д е м е н т и е н к о, *Радиотех. и электрон.* **12**, 749 (1973).
10. В. И. Г а й д у к, Препринт ИРЭ АН СССР, № 97, Москва, 1972.
11. N. E. H i l l, *Proc. Phys. Soc.* **5** (529), 723 (1963).
12. Н. Г. О р л о в, В. С. М а р к и н, Ю. В. М о и с е е в, Ю. И. Х у р г и н, *Ж. структ. хим.* **8**, 854 (1967).

Д. С. Чернавский. Мне хотелось бы сделать несколько замечаний о двух возможных механизмах действия СВЧ на гемоглобин.

Один из них связан с непосредственным действием СВЧ на гистидин, другой связан с действием на молекулу в целом и возбуждением упругих колебаний всего белкового тела. Мне кажется, что эти механизмы следует рассматривать не как альтернативные, а скорее, как дополняющие друг друга, т. е. как две стороны единого механизма. Для пояснения уместно напомнить гипотезу о роли упругих деформаций в ферментативном катализе. Согласно ей энергия, необходимая для снижения активационного барьера, запасается в белковом теле в виде упругих деформаций и выделяется (или переходит в иную форму) в момент ферментативного акта. Важно подчеркнуть, что деформации должны быть упругими, в противном случае запасаемая энергия диссипирует. Образно выражаясь, — белок-фермент работает как машина: в нем имеется напряженная область («пружина»); в нужный момент энергия по системе рычагов транспортируется в область активного центра, где расположена молекула субстрата. В результате определенная связь в молекуле субстрата разрывается и происходит желаемая реакция.

Оценки показали ¹, что размеры пружины должны быть порядка десятков ангстрем, т. е. того же порядка величины, что и размеры всей белковой глобулы. Частота собственных колебаний системы таких размеров согласно оценкам ² равна $\omega = 10^{11}$ гц, т. е. имеет тот же порядок величины, что и резонансная частота в спектре действия СВЧ. Сами упругие колебания в ферментативном акте, по-видимому, существенной роли не играют. Вывод о существовании выделенной частоты — следствие предположения об упругом характере деформаций.

С другой стороны, сама концепция «белок-машина» означает, что в макромолекуле должна быть выделена одна обобщенная степень свободы, охватывающая всю молекулу и характеризующаяся общей частотой. Поэтому неудивительно, что частота колебаний отдельных частей машины, принимающих участие в ферментативном акте (в частности, гистидинового остатка), совпадает с общей частотой.

С этой точки зрения непосредственное действие СВЧ на гистидин в гемоглобине должно вызывать раскачку всей «машины». При этом оба обсуждавшихся механизма представляются различными аспектами единого механизма.

Специальный и очень важный вопрос о влиянии температуры на процесс раскачки требует особого обсуждения. Мне, однако, кажется, что это влияние может быть и не особенно сильным. В классической физике мы имеем много примеров возбуждения и выживания низкочастотных колебаний на фоне более высокочастотных тепловых колебаний. Следует отметить, что макромолекула белка достаточно массивна и «классична».

В заключение нужно отметить, что концепция «белок-машина» возникла и развивалась независимо от экспериментов по действию СВЧ. То обстоятельство, что эксперименты с СВЧ оказались связанными с ней, следует рассматривать как подарок природы.

Мне кажется, что это экспериментальное направление весьма перспективно и может прояснить многие принципиальные вопросы ферментативного катализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Хургин, Д. С. Чернавский, С. Э. Шноль, сборник «Колебательные процессы в биологических и химических системах», М., «Наука», 1967; Молек. биол. 1, 419 (1967); Д. С. Чернавский, Физические модели биологического катализа, М., «Знание», 1972.
2. В. П. Комов, Ю. И. Шмелев, Д. С. Чернавский, Кр. сообщ. физ. (ФИАН АН СССР), № 9, 38 (1972).

[521+1](061.3)

О СИМПОЗИУМЕ ПО ФИЛОСОФСКИМ ВОПРОСАМ АСТРОНОМИИ В АКАДЕМИИ НАУК СССР

12—15 декабря 1972 г. Научным советом по философским вопросам естествознания при Президиуме АН СССР и Институтом философии АН СССР был проведен симпозиум по философским вопросам современной астрономии, посвященный 500-летию со дня рождения Н. Коперника.

На симпозиуме были заслушаны доклады В. А. Амбарцумяна и В. В. Казютинского «Философские проблемы изучения Вселенной», В. Л. Гинзбурга «Новые физические законы и астрофизика», Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Проблемы совре-

менной космологии», А. Л. Зельманова «Гносеологические аспекты космологии», Г. И. Наана «Философские проблемы космологии» и И. С. Шкловского «Философские проблемы, связанные с разумными цивилизациями во Вселенной».

Основной темой доклада В. А. Амбарцумяна и В. В. Казютинского явились новые космогонические представления о мощных взрывных процессах во Вселенной (как закономерных фазах космической эволюции), об образовании звезд и звездных систем в результате расчленения плотного и даже сверхплотного протовещества. Эти представления, развиваемые Бюраканской школой астрономов, противопоставлены представлениям «классического направления» в астрономии, согласно которым космические объекты образуются в результате конденсации разреженного вещества.

Идеи Бюраканской школы подробно изложены в недавно (1972 г.) вышедшем в издательстве «Наука» (Гл. ред. физ.-матем. л-ры) втором переработанном и дополненном издании сборника «Проблемы современной космогонии», под редакцией В. А. Амбарцумяна. В сборнике помещены статьи: В. А. Амбарцумян, Нестационарные объекты во Вселенной и их значение для исследования происхождения и эволюции небесных тел; Л. В. Мирзоян, Космогония звезд и галактик; Г. С. Саакян, Теория сверхплотных небесных тел; С. К. Вострицкий, Космогония Солнечной системы; В. В. Казютинский, Современное состояние космогонической теории.

В докладе на симпозиуме В. А. Амбарцумян и В. В. Казютинский поставили вопрос о том, что наблюдаемые во Вселенной сложные нестационарные явления, в ходе которых плотность меняется в миллионы раз, а напряженность гравитационного поля может достигать неслыханных величин, приводит к таким трудностям теоретического истолкования, которые, возможно, могут перерасти в противоречие с известными до сих пор законами теоретической физики и привести к формулировке новых законов.

Оба физика — В. Л. Гинзбург и Я. Б. Зельдович — в своих докладах не отрицали принципиальной возможности перехода от известных физических теорий к более обобщенным, справедливым в некоторых экстремальных условиях. Как сформулировал В. Л. Гинзбург, новая физика «бесспорно, нужна в области релятивистской квантовой теории, теории элементарных частиц и т. п.». В астрономии «представляется несомненной ограниченность применимости ОТО вблизи сингулярностей». Однако, поскольку «теория галактических ядер недостаточно развита и далеко не все в этой области ясно даже в принципе», физики «не видят никакой необходимости уже сегодня привлекать новые физические представления для объяснения процессов в скоплениях галактик и галактических ядрах».

Тематика двух докладов симпозиума, в известной мере связанная с физикой, за последние годы освещалась на страницах «Успехов физических наук» (см., например, доклад В. А. Амбарцумяна «Современное естествознание и философия» (УФН, т. 96, вып. 1), статью Я. Б. Зельдовича «Горячая» модель Вселенной» (УФН, т. 89, вып. 4)). Доклад В. Л. Гинзбурга опубликован в «Вопросах философии» (ноябрьский выпуск 1972 г.).

Предполагается, что материалы симпозиума будут полностью опубликованы в отдельном издании.

С. С.